

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPONENTES
AGRONÔMICOS NA CULTURA DA SOJA PELO USO DA
ROCHAGEM

Nayra Thaís Ferreira Batista
Bióloga

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL
Setembro de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CÂMPUS DE JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPONENTES
AGRONÔMICOS NA CULTURA DA SOJA PELO USO DA
ROCHAGEM

Nayra Thaís Ferreira Batista

Orientador: Prof. Dr. Vilmar Antonio Ragagnin
Co-orientador: Prof. Dr. Éder de Souza Martins

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Câmpus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Setembro de 2013

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

NAYRA THAÍS FERREIRA BATISTA – Filha de Marcio Ferreira Batista e Rosena Ferreira Bento. Nascida em Jataí, Goiás, cidade onde concluiu as séries iniciais no Instituto São José e ensino fundamental e médio no Colégio Estadual João Roberto Moreira. Em março de 2006 ingressou na Universidade Federal de Goiás – UFG, Câmpus Jataí graduando-se em Ciências Biológicas modalidade Licenciatura em março de 2010. Em agosto de 2011 entrou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) na mesma instituição da graduação.

“Para pesquisar a verdade é preciso duvidar, quanto seja possível, de todas as coisas, uma vez na vida.”

René Descartes

Ao meu pai Marcio e Mãe Rosena.

As minhas irmãs Kely e Graciane.

Ao meu amor Josimar.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força e iluminação durante toda minha trajetória de vida. Meus pais por todo exemplo de vida, apoio e muito amor. Minha família por está sempre próxima e me acalantar. Meu namorado Josimar Moraes de Souza por todo apoio dedicação e carinho.

Minha amiga Karine Padilha por sempre me fazer sentir importante. Meus amigos e ex-colegas de graduação Paulo Bernardo, Luciele Farias, Henrique Carvalho, Maiara Ribeiro e Vaneça Flores por me apoiar e fazer sorrir, mesmo com toda distancia e dificuldade.

Aos meus incansáveis colegas de trabalho e Amigos que fizeram de tudo por mim durante esse mestrado: Claudia Adriana Görden pelos incontáveis ensinamentos, pela paciência em me escutar sempre e todo socorro prestado nos momentos de desespero; Andréa Luiza Görden Marques por todo apoio, ajuda e companheirismo; Eduardo Hack por toda ajuda sempre muito necessária e eterna sinceridade sem meias palavras; Antonio Alexandre Bizão por todo aprendizado de campo.

Ao Dr. Éder de Souza Martins por todo ensinamento e confiar em minha capacidade de trabalho.

Ao professor Vilmar que me ensinou com exemplo o grande valor e beleza de um trabalho simples e bem feito. Por me ajudar a manter o foco e colocar a humildade em primeiro lugar. E sempre estar presente em todas as etapas do trabalho.

Aos professores: Edésio, Antonio Paulino, Paulo Timossi, José Hortêncio, Vera Banys, Darly, Simério por toda ajuda e disponibilidade.

Aos queridos colegas do Mestrado Aurilene, Uadson, Josilene, Ariadna, João, e Geanderson.

Ao bolsista e amigo Lucas Ferreira de Moraes pela parceria e apoio em todo trabalho. Aos estagiários Danilo, Jessica e Wesley. A Raquel Carvalho por toda ajuda.

Ao Dr. Antonio Azevedo pelas análises mineralógicas e disposição.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Aos Projetos Demonstrativos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKBIOCOM), Projetos Pilotos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKAPL) por todo custeio de análises. Sociedade Ecológica de Jataí (SEJA) e Universidade Federal de Goiás-Câmpus Jataí. Pedreira Araguaia, Laboratório Exata.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
SUMMARY	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. A cultura da soja e sua importância para o sudoeste goiano	2
2.2. Principais formações geológicas do Sudoeste Goiano	4
2.3. A importância do solo como um sistema dinâmico	4
2.4. Avaliação agrônômica da rochagem	6
2.5. Basalto como fonte de nutrientes e condicionador de solo	8
3. MATERIAL E METODOS	9
3.1. Caracterização da soja	9
3.2. Caracterização do pó de rocha e calcário dolomítico	10
3.3. Caracterização do solo	19
3.4. Avaliações desenvolvidas	24
3.5. Estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Teor de nutrientes disponíveis no solo	25
4.2. Teor de nutrientes acumulado na parte aérea da planta de soja	32
4.3. Componentes de produção agrônômica da soja	36
5. CONCLUSÕES	38
6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	39

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPONENTES AGRONÔMICOS NA CULTURA DA SOJA PELO USO DA ROCHAGEM

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da rochagem sobre os atributos químicos do solo e da planta e componentes agronômicos da cultura da soja. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Goiás – Câmpus Jataí, com Latossolo Vermelho-Amarelo, representativo de solo formado a partir de Cobertura Detrito-Laterítica do Terciário-Quaternário, localizada no município de Montividiu – GO, oriundo de uma pastagem degradada. O delineamento foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições no esquema fatorial $2 \times 6 + 1$: Sendo 2 doses de calcário (zero e 1.600 kg ha^{-1}) e 6 doses de pó de rocha basáltica (0.0, 960, 1.920, 3.840, 5.760 e 7.680 kg ha^{-1}) e uma testemunha com adubação (adubação convencional). As avaliações foram iniciadas no período de florescimento da cultura, onde foram realizadas: análise química de solo e planta, altura da planta, massa seca da parte aérea e raiz, massa seca de nodulação e teor de clorofila, e produção no período da colheita. Houve efeito da rochagem sobre a acidez do solo, e teor de Al trocável do solo. O pó de basalto também proporcionou aumento nos teores de macro e micronutrientes do solo e contribuindo para aumento da produção de grãos, massa seca e altura de planta.

Palavras-chave: Basalto toleítico, *Glycine max*, pó de rocha.

ATTRIBUTES OF SOIL AND CHEMICAL COMPONENTS AGRONOMIC SOYBEAN CROP AFFECTED BY STONEMEAL

SUMMARY - The objective of this study is to evaluate the use of powdered basalt derived from mining byproducts in the production of soybean agronomic viability for stonemeal. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Goiás - Campus Jataí with Oxisol representative of soil formed from lateritic cover Tertiary-Quaternary, located in the municipality of Montividiu - GO, comes from a degraded pasture. The design experiment was completely randomized with four replicates in a factorial $2 \times 6 + 1: 2$ with limestone (zero and 1.600 kg ha^{-1}) and 6 doses of powdered basaltic rock (0.0, 960, 1.920, 3.840, 5.760 e 7.680 kg ha^{-1}) and a control with fertilizer (conventional fertilization). The evaluations were conducted during the flowering period of the crop, which were evaluated chemical analysis of soil and plant, plant height, dry weight of shoot and root dry mass of nodulation and chlorophyll content, as was done in the period of production harvesting. A significant stonemeal on soil acidity and exchangeable Al content of the soil. The basalt powder also provided increased levels of macronutrients and micronutrients from the soil and contributing to increased production of grains, dry weight and plant height.

Keywords: Tholeiitic basalt, *Glycine max*, rock dust.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Balota et al. (1998), práticas agrícolas que objetivam menor degradação do solo e maior sustentabilidade da agricultura têm recebido atenção crescente, tanto por parte dos pesquisadores como dos agricultores. Dessa forma estudos e análises químicas, físicas e biológicas do solo vêm sendo utilizado para mensurar a interação entre os sistemas culturais e o solo.

Historicamente, os estudos científicos relativos à necessidade nutricional das plantas cultivadas priorizaram os fertilizantes e corretivos de alta solubilidade em detrimento ao bom funcionamento do solo e do ecossistema como um todo. Desta forma, é comum observar a redução de produtividade em áreas "naturalmente férteis". Considerando ainda as áreas cuja fertilidade natural é baixa, a aplicação de corretivos e fertilizantes, por si só, sem a adição e manutenção adequada de matéria orgânica pode, com o passar do tempo, não só reduzir a produtividade pela exaustão de nutrientes, como ocasionar perdas por erosão.

No Brasil, o maior consumo de fertilizantes e corretivos ocorre nas grandes e médias propriedades agrícolas de soja, milho, sorgo, cana-de-açúcar, citros, café e pecuária. Todavia, 70% do total dos fertilizantes produzidos e consumidos no país são derivados de fontes convencionais de nutrientes importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK, de elevada concentração e alta solubilidade (Martins e Theodoro, 2010). Tais características permitem o transporte em distâncias intercontinentais, com isso os adubos solúveis são utilizados como principal fonte de adubação no Brasil e no mundo. Contudo, nosso país passa por uma expansão agrícola com o incentivo governamental para a produção de biocombustíveis em substituição ao uso de combustíveis fósseis. Dessa forma a produção de biocombustível compete com a produção de alimentos pelos fertilizantes solúveis (Martins et al., 2008).

Outra limitação importante das fontes solúveis é a ausência de outros nutrientes minerais em sua composição (Leonardos et al., 1987). Várias culturas apresentam desequilíbrios nutricionais e maior sensibilidade ao ataque de pragas e doenças por este motivo. Aliado aos desequilíbrios nutricionais pode ocorrer o "consumo de luxo" das culturas, pois neste modelo de fertilização pode ocorrer o

acúmulo dos nutrientes na planta sem refletir em aumento de produção (Resende et al., 2006).

Uma alternativa sustentável para reposição de nutrientes removidos pela cultura ao solo e pelo resgate da fertilidade é o uso de rochas moídas (rochagem), um produto obtido pelo beneficiamento simples de matérias minerais e pode ser proveniente de rejeito de mineração, de solubilidade mais lenta, disponibilizando os nutrientes para as plantas por um período maior do que o de fertilizantes convencionais (Martins e Theodoro, 2010). Além disso, este processo apresenta uma conotação regional, dada a necessidade de proximidade das mineradoras até as áreas de cultivo agrícola.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da rochagem sobre os atributos químicos do solo e planta e componentes agronômicos da cultura da soja. Avaliar o efeito de diferentes doses de pó de basalto nas características químicas do solo e na presença e ausência de calcário. Analisar o comportamento vegetal diante da utilização de diferentes doses de pó de basalto e presença e ausência de calcário. Relacionar os efeitos obtidos no solo e na planta a partir do uso do pó de rocha e estudar a viabilidade de seu uso na região de ocorrência do solo estudado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da soja e sua importância para o sudoeste goiano

A soja é produzida no mundo todo, sendo que no Brasil sua produção e ocupação de destaque para região Centro-Oeste. De acordo com Görgen et al. (2011) essa ocupação foi proporcionada por vários planos governamentais de incentivo a agricultura, sendo que a soja teve papel fundamental neste processo de ocupação e expansão das áreas cultivadas.

Atualmente é a principal oleaginosa cultivada no Brasil e ocupa uma área de aproximadamente 27,7 milhões de hectares, representando 41% da área plantada com culturas anuais no país e distribuídos nas principais regiões agrícolas do Brasil (IBGE, 2013). Os solos do cerrado brasileiro, onde se localizam as áreas de maior potencial de expansão da soja brasileira, são muito pobres em fósforo (P) e potássio

(K). Lopes (1984) observou em amostras representativas de área de 600.000 km², nos Estados de Minas Gerais e Goiás, que 92% das amostras apresentavam teores menores que 2 ppm de P (Mehlich-1) e 85% menores que 0,15 meq/100 g de K, ou 60 ppm de K. Assim, a rotina de abertura de novas áreas é fazer calagem em seguida da correção de P e K e micronutrientes. As doses corretivas de P e de K são calculadas de acordo com o teor original no solo e o teor de argila do solo. De maneira geral, variam de 100 a 240 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 50-100 kg de K₂O ha⁻¹. O consumo de fertilizantes para o cultivo da soja, principalmente fósforo e potássio destacam-se como os dois principais macronutrientes comercializados para a cultura (Oliveira et al., 2006).

A importância do complexo de soja para o Brasil pode ser dimensionada tanto pelo crescimento da produção desta leguminosa quanto pela arrecadação com as exportações de soja em grão e derivados (óleo e farelo de soja). A soja por ser fonte de proteínas na alimentação humana e de grande parte dos animais que produzem carne, leite e ovos, oferece atualmente, uma variedade de produtos (Oliveira et al., 2006).

Segundo Pedroso et al. (2004) o Sudoeste Goiano é uma microrregião composta por 26 municípios que conta com condições edafoclimáticas favoráveis, sendo a agricultura a base de sustentação econômica. Com destaque dessa base está na produção de grãos. A cultura da soja teve papel fundamental neste processo de ocupação e expansão das áreas cultivadas. Possui boa tolerância a solos ácidos característicos da região de cerrados, apresenta capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, todas as operações agrícolas para seu cultivo são completamente mecanizadas, e ainda, apresenta valor comercial elevado por ser *commodity* agrícola internacional. Numa segunda fase já se percebe a diversificação das atividades agrícolas (soja, milho, sorgo, feijão, etc.), a aceleração das atividades urbanas e de dinamização das atividades econômicas. Ainda assim, os municípios de Rio Verde e Jataí respondem juntos por mais de 20% de toda a soja goiana. Entretanto, a fronteira agrícola em Goiás ainda não está plenamente ocupada, pois a área colhida de soja ainda apresenta expansão (Görgen et al., 2011).

Desta forma, a produção de soja e milho atraiu complexos industriais, especialmente as agroindústrias de processamento de carne de aves e suínos,

dada a importância do milho e do farelo de soja na produção de ração (Görger et al., 2011).

2.2. Principais formações geológicas do Sudoeste Goiano

As principais formações geológicas presentes no Sudoeste Goiano pertencem à Bacia do Paraná, que corresponde a uma bacia sedimentar intracratônica do tipo sinéclise, de idade paleo-mesozóica. Nesta bacia sedimentar, desenvolveram-se sequências continentais em ambientes flúvio-lacustres e eólicos, submetidas tardiamente a intensa atividade ígnea fissural com derrames de basaltos e injeções de diabásios (Silva et al., 2003).

No Sudoeste Goiano, a bacia do Paraná (Silva et al., 2003) está representada pelos grupos Rio Ivaí (Formação Vila Maria), Paraná (Formações Furnas e Ponta Grossa) e Itararé (Formação Aquidauana) do Paleozóico. O Grupo São Bento (Formação Serra Geral e Formação Botucatu) e o Grupo Bauru são os representantes do Mesozóico. A Formação Cachoeirinha, é oriunda da era Cenozóica período Terciário (Brasil, 1983). Porém, a área mais expressiva do cultivo da soja no Sudoeste Goiano ocorre em solos argilosos, de relevo plano, originados pelo elevado intemperismo de uma Cobertura Arenosa Indiferenciada caracterizada pela presença de areia fina a grossa, localmente síltico-argilosa e mais raramente conglomerática (Formação Superficial do Cenozóico) (Lacerda Filho et al., 2000).

2.3. A importância do solo como um sistema dinâmico

O solo é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas envolvendo o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes a produção e decomposição da biomassa (Lapido Loureiro et al., 2009). Possui natureza heterogênea complexa e dinâmica, apresenta peculiaridades que, quando avaliadas separadamente, podem comprometer uma avaliação agrônômica (Ker e Novais, 2003).

A estratificação do conhecimento pode gerar conclusões parciais e limitadas, cujos resultados não conferem com as inter-relações originalmente ocorridas no

solo em questão (Ker e Novais, 2003). Partindo deste princípio, a atividade agrícola, especialmente a produção de alimentos e culturas bioenergéticas, desafia o conhecimento sobre as tecnologias de correção e manutenção da capacidade produtiva dos agroecossistemas.

Vários são os mecanismos diretos e indiretos influenciados pelos microrganismos do solo, dentre eles destacam-se a mobilização, a imobilização, a produção de metabólitos, a produção de enzimas, a alteração no pH, a oxi-redução, a alteração da solubilidade, a redução bioquímica, a produção de toxinas e as simbioses radiculares. No sistema solo-planta a atividade dos microrganismos é transformadora. Processos biogeoquímicos atuam sobre elementos como H, O, C, N, P, S, K, Ca, Si, Mg, Fe, Mn, Cr, Cl, As, Se, Zn, Cd e Hg (Moreira e Siqueira, 2006), tornando possível inclusive a biodegradação de xenobióticos.

Desde o início da formação do solo, a disponibilização e o fluxo dos elementos ocorre em ciclos constantes e ininterruptos. Na gênese do solo, o carbono e o nitrogênio são elementos deficientes, desse modo, espécies fotossintéticas e fixadoras de nitrogênio são importantes colonizadoras primárias das rochas. Processos como agregação, reações de liberação de prótons, nutrientes inorgânicos e ácidos orgânicos estão envolvidos no processo de intemperismo. Com o passar do tempo, propriedades como capacidade de troca de cátions e tipo dominante de carga superficial (positiva, negativa ou neutra), são importantes fatores da sobrevivência, sucessão e interação com e/ou entre os microrganismos. Os agregados e suas argilas influenciam também a interação das enzimas com seus substratos (Moreira e Siqueira, 2006).

De forma específica, os solos tropicais profundamente intemperizados, que ocorrem no Sudoeste Goiano, apresentam-se empobrecidos em nutrientes e com baixo conteúdo de matéria orgânica (Calegari, 2006). Os minerais destes solos, especialmente os óxidos e hidróxidos de Fe e Al, geralmente promovem uma carga superficial positiva em determinadas condições de pH (Lima, 2004). A matéria orgânica, é a principal mantenedora das cargas negativas superficiais (Novais et al., 2007) e que garantem uma capacidade de troca dos cátions e, por consequência, dos principais nutrientes aos agroecossistemas.

Desta forma, o manejo agrônômico eficiente de solos tropicais depende da manutenção e adição de matéria orgânica, como são as práticas difundidas no

Sistema de Plantio Direto (SPD) e no Sistema Santa Fé (Görge et al., 2009, 2010). Para recuperar as características físico-químicas destes solos para a produção agrícola é o manejo da fertilidade a partir da adição de condicionadores de solo, como é o caso de rochas silicáticas moídas (Leonardos et al., 1987; Martins et al., 2008; Martins e Theodoro, 2010). A possibilidade de gerar novos minerais no solo (Andrade et al., 2002), com elevada CTC e carga superficial negativa não dependente do pH, a partir do intemperismo das rochas silicáticas moídas, pode ser uma forma eficiente de manejo sustentável da fertilidade de solos agrícolas.

2.4. Avaliação agrônômica da rochagem

A reposição de nutrientes ao solo, removidos pelas culturas, pode ser realizada pela rochagem. Os produtos são obtidos a partir do beneficiamento simples de matérias minerais, aplicados "in natura" que apresentam solubilidade mais lenta, disponibilizando os nutrientes para as plantas por um período maior do que o de fertilizantes convencionais (Martins e Theodoro, 2010). Este processo apresenta uma conotação regional, necessitando que as áreas de cultivo agrícola estejam próximas as mineradoras.

Estudos em casa-de-vegetação utilizando brecha vulcânica alcalina, biotita xisto, flogopita xisto e ultramáfica alcalina como fontes de potássio (K) para o milho evidenciaram que a aplicação de tais rochas, simplesmente moídas, apresentaram algum efeito condicionador do solo e liberam prontamente parte do K suficiente para atender a demanda das plantas de milho (Resende et al., 2006). Castro et al. (2006) conduziram estudos em casa-de-vegetação, com girassol e verificaram que as rochas ultramáfica alcalina e biotita xisto apresentaram eficiência comparável à do KCl já no primeiro ano de cultivo.

Segundo Moreira et al. (2006) a aplicação de altas quantidades de biotita xisto, carbonatito e ultramáfica alcalina resultou em alta solubilização de K no cultivo do girassol e da soja. De modo geral, as rochas com concentração modal acima de 30% de biotita ou flogopita foram as rochas selecionadas para estudos como fontes alternativas de K. A principal conclusão desse experimento é que o carbonatito constitui-se numa fonte de K em curto prazo e que essa rocha possui um potencial de neutralização de acidez razoável podendo ser aproveitada como fonte de K

alternativa, especialmente em solos das regiões de cerrado (Melamed e Gaspar, 2005). O uso do flogopitito na proporção de 40 e 20% associado ao KCl demonstrou ser eficiente (Silva et. al., 2006).

As rochas ultramáfica alcalina e biotita xisto apresentaram os maiores índices de eficiência agrônômica residual para a produção de matéria seca da parte aérea de soja. As rochas diferem na capacidade de disponibilização de nutrientes para as culturas e apresentam características de fertilizantes multinutrientes que devem ser consideradas no cálculo de balanço da adubação (Oliveira et al., 2006).

O arroz de terras altas respondeu significativamente e positivamente à aplicação de K na forma de rocha silicática quanto à produtividade de grãos e de produção de massa de matéria seca. Entre as rochas silicáticas estudadas, a ultramáfica alcalina se mostrou nos dois experimentos superior à brecha alcalina e o flogopitito, não se diferenciando do KCl comercial como fonte de K para o arroz de terras altas. As produtividades de grãos e de massa de matéria seca aumentaram com a quantidade de KCl adicionada na mistura com as rochas silicáticas, entretanto, a proporção de perfilhos produtivos não foi influenciada pelos tratamentos e interações (Barbosa Filho et al., 2000).

Leite et al. (2008), estudando os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de silicato de cálcio na cultura da cana-de-açúcar, verificaram que a aplicação de silicato de cálcio proporcionou aumento no teor de fibra na cana.

Algumas rochas podem fornecer outros nutrientes e apresentam efeito alcalinizante, atuando como condicionadores de solo (Andrade et al., 2002; Machado et al., 2005). Segundo Martins et al. (2007) a natureza dos minerais constituintes presentes nestas rochas é complexa, sendo necessário definir procedimentos que permitam caracterizar satisfatoriamente a composição e biodisponibilidade dos elementos presentes nas rochas, uma vez que as respostas das culturas podem estar associadas não apenas ao K proveniente das rochas, mas a fatores e efeitos conjugados, decorrentes de sua composição.

Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são nutrientes relativamente abundantes nessas rochas, assim como o silício (Si), considerado elemento útil para desenvolvimento de diversas culturas, aumentando a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (Anderson et al., 1991; Datnoff et al., 1991; Barbosa Filho et al., 2000). A presença de micronutrientes, mesmo que em baixas concentrações, pode contribuir

significativamente para o atendimento da demanda das culturas, uma vez que estes são exigidos em pequenas quantidades pelas plantas (Malavolta, 2008). Efeitos benéficos para a fertilidade do solo e a nutrição das plantas podem ampliar o potencial de uso das rochas como corretivo ou fertilizante para diversas situações de solo, cultura e manejo, agregando valor aos insumos derivados dessas rochas em virtude de seu efeito multinutriente ou condicionador do solo (Martins et al., 2007).

As rochas poderão ser mais vantajosas, sobretudo para atender aos cultivos conduzidos em solos arenosos, onde a lixiviação de K e os desequilíbrios nutricionais são problemas mais frequentes. Essas fontes alternativas poderão, também, cobrir a lacuna do fornecimento de K atendendo aos critérios de adubação preconizados na agricultura orgânica, pelos quais é vetado o uso do cloreto de potássio (Resende et al., 2006).

2.5. Basalto como fonte de nutrientes e condicionador de solo

Basaltos toleíticos constituem cerca de 90% das litologias existentes no Grupo Serra Geral, seguido de aproximadamente 7% do volume total de andesitos – toleíticos e 3% de riocacitos e riolitos (Michelin, 2007). De acordo com Bellieni et al. (1983) a formação do basalto toleítico na Bacia do Paraná, que é relativamente rico em sílica e pobre em Na, teve uma importante relação com a separação continental da América do Sul e África. É constituído principalmente por microfenocristais de plagioclásios (An_{80-50}), augita (Wo_{43-35}), pigeonita (Wo_{12-7}), e em menor quantidade de magnetita e escassos cristais alterados de olivina.

Esses basaltos toleíticos por vezes podem apresentar em sua estrutura vesículas e cavidades contendo diversos minerais, tais como argilas, carbonatos, zeólitas e sílica, que podem conter diversos elementos. Isso acontece devido a eventos hidrotermais e metamorfismo de baixo grau. A formação de vesículas à resposta da desgazeificação do magma ainda durante o resfriamento e consequente preenchimento das cavidades está relacionada aos fluidos hidrotermais (Michelin, 2007).

De acordo com Oliveira (2012) essas vesículas contendo argilominerais possuem maior capacidade de retenção de água, ou seja, possuem um alto poder

expansivo, causando assim a microfissuração dos minerais nesse basalto. Os plagioclásios por sua vez são facilmente modificados na presença de água, sendo que, sua modificação também é expansiva.

Essas características apresentam vantagens significativas para a destinação desse material para a agricultura. Oliveira (2012) observou na maioria das amostras de basalto argilominerais 2:1 e plagioclásios, sendo que o ultimo possui alta capacidade de modificação liberando para o meio Ca e Si e possuindo altos valores de pH. Essas características fazem do basalto um potencial corretivo do solo.

Melo et al. (2012) em um experimento de incubação em vaso por um ano, com diferentes doses de basalto moído, observaram que os valores de pH em água aumentaram com o acréscimo das doses de pó de basalto, sendo que, a máxima neutralização da acidez ativa ocorreu com 50 t ha⁻¹. Escosteguy e Klant (1998) também observaram aumento no pH pelo uso de basalto moído e aumentos nas concentrações de K, Ca e Mg dos solos estudados. Knapik (2005) observou maiores valores de N, P, K, Ca, Mg, B, Fe e Mn nas folhas de mudas de *Prunus sellowii* usando o pó de basalto como ingrediente do substrato.

No processo de exploração mineral na produção de brita pelas mineradoras localizadas no município de Jataí, o pó produzido é considerada um rejeito desta atividade. Este rejeito tem potencial de utilização na agricultura como fonte de nutrientes e como condicionador de solo.

3. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí, com Latossolo vermelho amarelo, da formação Superficial do Cenozóico, coletado na fazenda Estreita Ponte de Pedra espolio de Santiel Cruvinel localizada no município de Montividiu-GO, nas coordenadas geográficas latitude: -17^o 01' 14" Sul e longitude: -51^o 05' 21" Oeste; altitude de 800 m, coletado em uma pastagem degradada.

3.1. Caracterização da soja

O ensaio foi desenvolvido com um cultivo de soja, da variedade Msoy 7639 RR que apresenta super-precocidade produtiva com resistência ao nematoide de cistos para o plantio no cedo. As sementes foram tratadas com Imidacloprido 65 g 100 kg⁻¹ sementes, Thiodicarb 385 ml 100 kg⁻¹ sementes, Apron (Fludioxonil + Metalaxil) 100 ml 100 kg⁻¹ sementes. Inoculante 200 ml 100 kg⁻¹ sementes e Stimussed 150 ml 100 kg⁻¹ sementes. A semeadura ocorreu no dia 31 de janeiro de 2012. No dia 07 abril de foram realizadas coletas de solo e tecido vegetal, enquanto os grãos de soja foram coletados e pesados no dia 14 de maio do mesmo ano.

3.2. Caracterização do pó de rocha e calcário dolomítico

O pó de rocha utilizado no experimento foi um basalto toleítico vesicular encontrado no município de Jataí da Formação Serra Geral. Essa formação é caracterizada por rochas de natureza vulcânica, que estão inseridas na sequência Gondwana III da Bacia do Paraná sobre a Formação Botucatu, ou então, diretamente sobre o embasamento cristalino da Faixa Brasília ao sul de Goiás e sudoeste de Minas Gerais. As rochas sedimentares da Bacia Bauru (grupos Bauru e Caiuá) ou depósitos sedimentares inconsolidados do Cenozóico cobrem a Formação Serra Geral. As rochas vulcânicas observadas parecem estar vinculadas a um processo de extravasamento fissural caracterizado por uma série de episódios magmáticos, fortemente vinculados aos campos tensoriais, e fenômenos endógenos que culminaram na desagregação do continente Gondwana (Machado et al., 2009).

O calcário utilizado foi da formação Irati localizado no município de Montividiu-GO. A Formação Irati constitui a base da sequência Permiano Superior – Triássico Inferior e é constituída por folhelhos e argilitos cinza-escuros, folhelhos pirobetuminosos, arenitos, margas e calcários associados, sobrepostos à Formação Palermo e sotopostos às formações Serra Alta e Corumbataí (Schneider et al., 1974). Observa-se que na tabela 3.1 são apresentados os valores (%) de elementos maiores do calcário. A principal estrutura sedimentar é a laminação plano-paralela. A faciologia apresentada pela formação reflete uma complexa geometria de bacia durante a fase de deposição, quando esta era constituída por golfos e baías de profundidades e salinidades variáveis em condições de um mar restrito (Milani et al., 1994) que cobriu o sul do Gondwana; é correlata à Formação Whitehill da Bacia do

Karoo, ao sul do continente africano, e à Formação Mangrullo, no Uruguai. Em seus estratos ocorrem fósseis de répteis mesossaurídeos, crustáceos, insetos, poríferos, bivalves e possivelmente braquiópodes (Silva et al., 2003).

Tabela 3.1. Composição química total dos elementos maiores do basalto e do calcário.

Elemento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	*PF	Total
Basalto	50,07	12,32	14,9	8,21	4,73	2,39	1,43	0,3	0,2	2,63	2,57	99,75
Calcário	20,82	0,92	0,85	22,43	17,93	0,04	0,09	0,06	0,16	0,07	36,5	99,87

*conteúdo total de voláteis

A Tabela 3.1 mostra as composições químicas totais do basalto e calcário selecionados obtidos em análise no laboratório ACME-Canadá. A escolha desta rocha (basalto) para estudo como fonte de nutrientes e condicionador de solo na agricultura se deu pela proximidade da mineração com áreas de produção agrícola, além das características mineralógicas. O calcário foi escolhido devido à necessidade do solo por um calcário dolomítico e por também ser uma fonte regional.

Foram realizadas análise granulométrica de acordo com a IN 28/2007, sendo empregada as peneiras ABNT 10 (abertura de 2.0 mm), ABNT 20 (abertura 0.84 mm), ABNT 50 (abertura 0.30 mm). Dessa forma, o calcário apresentou granulometria menor que a do basalto, assim como maior Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Análise granulométrica e Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) do basalto e calcário selecionados

	% passante nas peneiras			PN	PRNT
	10	20	50		
Basalto	100	88,7	41,3	8,7	6,3
Calcário	100	97,7	77,2	82,2	74

Na Tabela 3.3 são apresentados todos os elementos traços, sendo que em relação ao atendimento à IN 27/2006, considerando o critério mais restritivo dos limites máximos de metais pesados tóxicos presentes em fertilizantes, observa-se que os valores encontrados dos elementos potencialmente tóxicos no basalto e

calcário usados no experimento são muito baixos em comparação aos limites estabelecidos.

Tabela 3.3. Teores de elementos (traços) encontrados na análise química do calcário e basalto.

Elemento	Sigla	Unidade	CALCÁRIO	BASALTO
Ouro	Au	ppb	<0,5	2,2
Mercúrio	Hg	ppm	0,02	0,02
Lutécio	Lu	ppm	0,13	0,43
Túlio	Tm	ppm	0,13	0,44
Tébio	Tb	ppm	0,25	1,01
Césio	Cs	ppm	0,3	0,2
Európio	Eu	ppm	0,30	1,93
Hólmio	Ho	ppm	0,31	1,21
Háfnio	Hf	ppm	0,5	5,4
Ítérbio	Yb	ppm	0,77	2,87
Tório	Th	ppm	0,9	2,8
Érbio	Er	ppm	0,91	3,20
Escândio	Sc	ppm	1	31
Samário	Sm	ppm	1,50	6,54
Disprósio	Dy	ppm	1,52	5,84
Gadolínio	Gd	ppm	1,69	6,60
Nióbio	Nb	ppm	1,7	16,7
Praseodímio	Pr	ppm	1,91	7,06
Paládio	Pb	ppm	2,2	1,4
Cromo	Cr	ppm	0,12	0,09
Gálio	Ga	ppm	2,5	19,5
Cobalto	Co	ppm	3,2	37,7
Molibdênio	Mo	ppm	3,9	1,2
Urânio	U	ppm	4,5	0,6
Rubídio	Rb	ppm	4,8	30,4
Níquel	Ni	ppm	5,8	22,7
Arsênio	As	ppm	6,2	<0,5
Neodímio	Nd	ppm	7,5	28,1
Lantânio	La	ppm	9,9	25,1
Ítrio	Y	ppm	11,0	32,7
Cério	Ce	ppm	15,9	55,6
Zircônio	Zr	ppm	20,2	201,8
Níquel	Ni	ppm	23	39
Vanádio	V	ppm	36	438
Bário	Ba	ppm	42	355
Estrôncio	Sr	ppm	395,7	344,1
Cádmio	Cd	ppm	<0,1	0,1
Tântalo	Ta	ppm	<0,1	1,0
Prata	Ag	ppm	<0,1	<0,1
Bismuto	Bi	ppm	<0,1	<0,1
Antimônio	Sb	ppm	<0,1	<0,1
Tálio	Tl	ppm	<0,1	<0,1
Tungstênio	W	ppm	<0,5	<0,5
Selênio	Se	ppm	<0,5	<0,5
Estanho	Sn	ppm	<1	1

Na Tabela 3.4 são apresentados os minerais constituintes do basalto, sendo que o plagioclásio constitui 36,3% da rocha, seguido pela clinopiroxênio 15,7%,

quartzo 12,9%, pigeonita 11,1%, magnetita 9,6%, ortoclásio 7,9%, ilmenita 5,1%, e apatita 0,8%. Essa análise foi feita a partir das observações realizadas por Bellieni et al. (1983) sobre as características mineralógicas dos basaltos da Bacia do Paraná e a análise química da rocha. Foi utilizado o software MoDan desenvolvido por Paktunc (2001).

Tabela 3.4. Estimativa realizada no software MoDan da proporção dos minerais no basalto estudado.

Minerais	teores (%)
Plagioclásio An60	36,3
Clinopiroxênio	15,7
Quartzo	12,9
Pigeonita	11,1
Magnetita	9,6
Ortoclásio	7,9
Ilmenita	5,1
Apatita	0,8
Total	99,4

De acordo com Leinz e Amaral (1975) o plagioclásio trata-se de uma série de substituição isomórfica contínua entre os termos extremos de composição química variável pelo fato de formar cristais mistos de albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) e de anortita ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), que podem ocorrer em diversas proporções. Sua cor é branca, amarela, cinza, até rósea. Translúcido a opaco: dureza 6, densidade 2,6 a 2,75. Cliva-se segundo 2 planos oblíquos, mas quando perpendiculares. Na rocha estudada possui 53,05% de Si, 30,01 de Al, 12,38% de Ca e 4,56% de Na (Tabela 3.5).

O clinopiroxênio é comum em rochas ígneas máficas, mais frequentemente associados com olivina, ortopiroxênio e plagioclásios. É um mineral do sub grupo dos Piroxênios, que possuem uma composição variável. São silicatos de Mg, Ca e Fe, com ou sem Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Conforme sua composição designa-se as diversas variedades. A cor é de preta a verde escura, e o brilho, vítreo. Dureza 5 a 6, densidade 3,0 a 3,6. Clivagem boa, formando prismas quase retangulares. Forma prisma de seção ortogonal e agregados granulares nas rochas magmáticas, principalmente nas escuras. Um dos piroxênios comuns é designado augita (Leinz e

Amaral et al., 1975). Na rocha estudada possui 52,54% de Si, 2,23 de Al, 12,56% de Fe, 19,62% de Ca e 14,10% de Mg (Tabela 3.5).

O quartzo possui cor branca ou incolor, mas também em inúmeras outras variedades, como roxo, amarelo, vermelho, preto, etc. Brilho vítreo, transparente ou opaco. Dureza 7. Densidade 2,65, fratura concoidal. Ocorre como diversas variedades, sob diferentes nomes. Trata-se de um mineral bastante comum no Brasil. Ocorre como mineral mais comum na superfície do globo terrestre, entre as rochas sedimentares, graças à sua alta resistência química e física. Nas rochas graníticas o quartzo é um mineral de fácil reconhecimento, pois se assemelha ao vidro quebrado. Como não tem clivagem, quebra-se com uma superfície irregular, abaulada. Caracteriza-se também pela sua dureza elevada (dureza 7). Ocorre também em rochas metamórficas, magmáticas e em veios (Leinz e Amaral et al., 1975). É formado 100% de Si como é visto na tabela 3.5.

A pigeonita é um mineral mal definido, do grupo do Piroxênio, sub grupo Clinopiroxênio que pode ser considerado como uma clinostatita rica em cálcio e / ou clinoferrosilita. Sua fórmula é $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Si}_2\text{O}_6$, Sistema Monoclinico, cor preta, marrom ou esverdeada, dureza 6 (Leinz e Amaral et al., 1975). Possui 53,42% de Si, 23,77% de Mg, 17,92% de Fe, 3,82% de Ca, 0,93% de Al (Tabela 3.5).

A magnetita é constituída por óxido de ferro, possui 93,09% desse elemento (Tabela 3.5), sendo sua cor preta, brilho metálico, traço preto, dureza 6, densidade 5,1, fortemente magnética, granular ou octaédrica. Frequentemente alterada em hematita (martita). Ocorre como acessório comum em rochas magmáticas básicas, podendo formar corpos volumosos, até mesmo jazidas, graças a concentração gravitativa após a segregação magmática. Pode ocorrer também nos itabiritos (Leinz e Amaral et al., 1975).

O ortoclásio é um mineral potássico de cor pode ser branca, rósea, ou amarelada, de brilho vítreo, dureza 6, densidade 2,56, clivagem boa segundo 2 planos ortogonais. O microclínio é de feldspato potássio triclinico. Ocorre em rochas cristalinas, principalmente na magmática de coloração clara, e também em pegmatitos (Leinz e Amaral et al., 1975).

A Ilmenita é um mineral acessório comum em rochas ígneas, com brilho metálico a sub metálico, transparência opaca. Dureza 5-6, cor preta à marrom

avermelhada, tenacidade quebradiça. Fratura concoidal, sub concoidal (Arculus et al., 1984). Possui 52,42% de Ti e 47,34% de Fe (Tabela 3.5).

A apatita é um mineral de sistema hexagonal que pode ser facilmente confundido com outros minerais. Possui dureza 5. Pode formar leitões de rochas em grandes extensões, como concreções nodulares em argilas e folhelhos, e como acessório em rochas ígneas (Kirwan, 1794). Esse mineral é constituído por 55,82% de Ca e 42,38% de P (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Teores dos óxidos constituintes dos minerais do basalto.

Óxidos	Plagioclásio	Clinopiroxênio	Quartzo	Pigeonita	Magnetita	Ortoclásio	Ilmenita	Apatita
SiO ₂	53,05	52,54	100,00	53,42	0,00	64,76	0,00	0,00
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,42	0,00
Al ₂ O ₃	30,01	2,23	0,00	0,93	0,00	18,32	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	12,56	0,00	17,92	93,09	0,00	47,34	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	14,10	0,00	23,77	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	12,38	19,62	0,00	3,82	0,00	0,00	0,00	55,82
Na ₂ O	4,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,92	0,00	0,00
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,38

Esta mineralogia também foi reconhecida por difratometria de raios-X (Figura 3.1). Pode-se observar que ocorre pico com elevada intensidade em torno de 15 angstroms, que pode ser interpretado pela presença de mineral 2:1, conforme observado por outros autores em basaltos vesiculares (Michelin, 2007; Oliveira, 2012). Mas é necessário confirmar esta presença a partir de análises complementares. De qualquer forma, o processo de formação destes minerais dentro das vesículas não deve ter modificado a química total da rocha, pois a estimativa obtidas pelo software MoDan (Paktunc, 2001) a partir da mineralogia típica destes basaltos (Bellieni et al., 1983) apresentou resultado excelente, com somatório total de 99,4% (Tabela 3.4).

As unidades experimentais foram de vasos plásticos com aproximadamente 3,5 kg de solo seco ao ar. O delineamento foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições por tratamento. O delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 2 x 7: Sendo 2 doses de calcário e 6 doses de pó de rocha a partir do

potássio presente na rocha de acordo com a recomendação (Tabela 3.6) e uma testemunha com adubação altamente solúvel (adubação convencional). De acordo com a recomendação os tratamentos com calcário receberam o equivalente 1,6 t ha⁻¹ do calcário.

Tabela 3.6. Doses de pó de rocha de acordo com a recomendação de K₂O.

Doses Recomendação %	Basalto	
g dm ⁻³kg ha ⁻¹
0	0	0
50	1,92	960
100	3,84	1920
200	7,68	3840
300	11,52	5760
400	15,36	7680

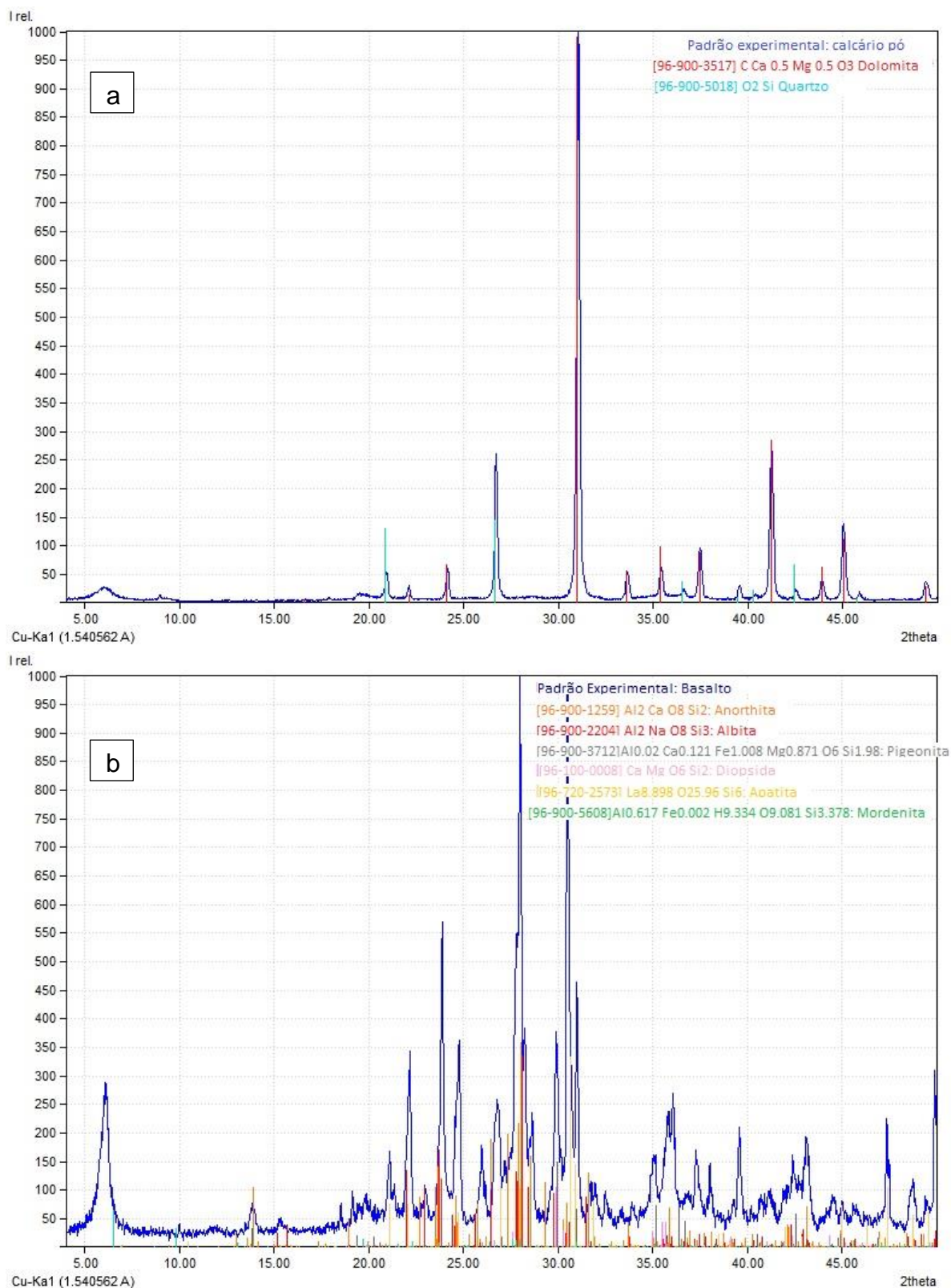


Figura 3.1. Difractogramas de Raio-X (DRX) do calcário (a) e Basalto(b).

3.3. Caracterização do solo

Foi avaliado na área de coleta de solo o perfil do solo, através de observação visual e uso de caderno de identificação. Foram coletadas amostras de solo do perfil para análise química de rotina. Também foi avaliado no primeiro perfil (0-20 cm) a mineralogia (Figura 3.3).

O Latossolo Vermelho-Amarelo possui a maior e mais ampla distribuição geográfica no Brasil dentre os Latossolos, aqueles de coloração amarelada, refletindo o amplo predomínio de goethita em relação à hematita, apresentando teores de Fe_2O_3 entre 7 e 11%, quando de textura argilosa ou muito argilosa ou com relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 3,14$ quando de textura média (Ker, 1997).

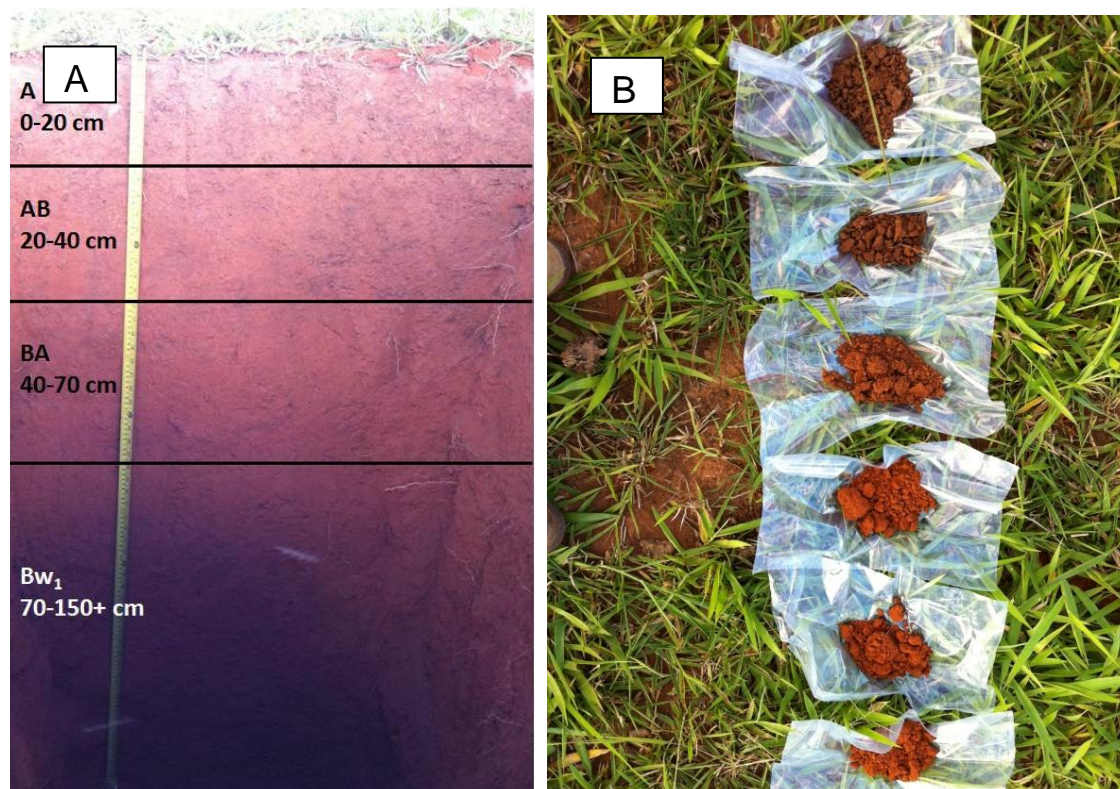


Figura 3.2. A) Trincheira para avaliação do perfil do solo. B) Amostras de solo de cada horizonte.

- 0 – 20 cm: Horizonte A; blocos médios a pequenos angulares frequentes, forte a muito forte, que se desfazem em granular pequena a muito pequena muito abundante, forte a muito forte. Pouco plástico e pegajoso.

Consistência firme a muito firme. Cor úmida natural 5YR4/4, e cor amassada 5YR4,5/3.

- 20 – 40 cm: Horizonte AB; Agregados laminares médios frequentes e blocos médios abundantes subangulares fortes a muito fortes que se desfazem em granular pequena a muito pequena muito abundantes, forte a muito forte, Pouco plástico e pegajoso. Consistência pouco firme. Cor úmida natural 5YR4/4, e cor amassada 5YR5/4.

- 40 – 70 cm: Horizonte BA; Blocos médios subangulares abundantes fracos que se desfazem em blocos pequenos a muito pequenos muito abundantes fracos que se desfazem em granular muito abundantes pequena a muito pequena forte a muito forte. Plástico e pegajoso. Consistência friável. Cor úmida natural 5YR4/4 e cor amassada 5YR5/6.

- 70 – 150+ cm: Horizonte BW1; Blocos grandes a médios frequentes muito fracos que se desfazem em blocos pequenos a muito pequenos muito abundantes fracos que se desfazem em granular muito abundantes pequena a muito pequena forte a muito forte. Plástico e pegajoso. Consistência muito friável. Cor úmida natural 2,5YR4/6 e cor amassada 5YR4/6.

A posição da trincheira na paisagem ocorre no terço superior da encosta entre o Córrego e o topo da chapada. A forma da vertente é retilínea-convexa, formando rampas muito longas entre o topo e a base das vertentes.

O material de origem é formado por uma Cobertura Arenosa Indiferenciada caracterizada pela presença de areia fina a grossa, localmente síltico-argilosa e mais raramente conglomerática, e classificado pela convenção geológica como Formação Superficial do Cenozoico (Lacerda Filho et al., 2000).

As transições entre os horizontes são planas e difusas. Os horizontes AB e A possui textura mais pegajosa e a plasticidade um pouco menor que os outros horizontes. Aparenta um maior teor de silte nos horizontes A e AB em relação aos horizontes BA e Bw.

O critério de cor para a classificação de Latossolo no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos indica que este solo seria um Latossolo Vermelho (matiz 2,5YR). No entanto, a cor amassada mostra matiz mais amarelo (5YR), típico de Latossolo Vermelho-Amarelo. Estas diferenças no horizonte diagnóstico e o matiz 5YR para os outros horizontes descritos indicam que a cor vermelha (2,5YR) refere-

se apenas a uma película sobre os agregados granulares pequenos. No interior dos agregados domina a cor vermelho-amarela (5YR). Estes fatos mostram que este solo está em transformação de um matiz mais amarelado para um mais vermelho. Mostra que o perfil está numa situação de maior eficiência de drenagem, o que permite a formação da hematita (película vermelha, 2,5YR) sobre matriz mais amarelada da situação ambiental anterior. Isto pode estar relacionado com a mudança progressiva do nível de base regional e um maior aprofundamento do lençol freático.

A caracterização físico-química do solo está apresentada na Tabela 3.7. A fertilidade é muito baixa e típica de solos muito intemperizados, como são os Latossolos (Ker, 1997).

Tabela 3.7. Análise química para caracterização de macro nutrientes no Latossolo Vermelho-Amarelo em função dos horizontes do solo.

Horizontes cm	pH H ₂ O	P-Mehlich	H+Al	Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	MO	H ⁺
	mg dm ⁻³	 cmol _c dm ⁻³%.....				
A 0-20	5,16	0,37	3,97	39,36	0,42	0,29	0,07	0,77	4,74	16,3	2,3	3,47
AB 20-40	4,93	0,06	2,66	32,14	0,17	0,05	0,01	0,23	2,89	7,94	1,32	2,33
BA 40-70	4,97	0,29	3,77	58,98	0,25	0,08	0,03	0,36	4,13	8,69	1,70	3,17
Bw 70-150+	5,13	ALD*	1,98	0,00	0,17	0,02	0,01	0,21	2,19	9,47	0,86	1,98

* ALD = Abaixo do Limite de Detecção

Tabela 3.9. Análise física dos teores de Argila, Silte e Areia no Latossolo Vermelho-Amarelo em função dos horizontes do solo.

Horizontes	Argila	Silte	Areia
	%		
A 0-20 cm	61,25	3,75	35,00
AB 20-40 cm	60,00	3,75	36,25
BA 40-70 cm	58,75	2,50	38,75
Bw 70-150+ cm	62,50	2,50	35,00

Tabela 3.10. Análise química para caracterização de micronutrientes no Latossolo Vermelho-Amarelo em função dos horizontes do solo.

Horizontes	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Si
mg dm ⁻³						
A 0-20 cm	5,22	0,91	0,33	72,99	3,69	0,18	7,67
AB 20-40 cm	4,78	0,69	0,05	27,5	ALD*	0,17	7,3
BA 40-70 cm	4,92	0,82	0,17	55,35	0,09	0,19	6,50

Bw 70-150+ cm	5,66	0,58	0,01	15,96	ALD	0,15	6,28
---------------	------	------	------	-------	-----	------	------

*ALD = Abaixo do Limite de Detecção

A fertilidade do solo é apenas um entre vários fatores que determinam a magnitude do rendimento da cultura, interferindo no rendimento da produtividade agrícola. Um solo fértil é aquele que contém em quantidades suficientes e balanceadas, todos os nutrientes essenciais de forma assimilável (Ronquim, 2010).

Diante da análise mineralógica do solo estudado através da DRX, observou-se que o mineral predominante é a caulinita (Figura 3.3). Os reflexos mais intensos em 0,712nm (12,42 graus 2 theta) e 0,358 nm (24,85 graus 2 theta) que desapareceram após aquecimento a 500°C, confirmam a caulinita. Por outro lado, o segundo mineral mais importante é a gibbsita, determinada pelo reflexo a 0,48 nm (18,42 graus 2 theta), confirmando pelo desaparecimento após aquecimento a 300°C. Dessa forma, esses são os dois minerais principais do solo. O reflexo de anatásio pode ser identificado após a eliminação do reflexo da caulinita, (500°C) em 0,35 nm (25,35 graus 2 theta) e em 0,237 nm (37,78 graus 2 theta). Um pequeno reflexo de quartzo em 0,33 nm (27,47 graus 2theta) também pode ser identificado após a eliminação das fases principais (caulinita e gibbsita), assim como o rutilo em 0,323 nm (27,53 graus 2 theta). Embora os óxidos de Fe tenham sido eliminados da amostra com DCB, uma pequena quantidade pode ter resistido ao tratamento, pois quando as principais fases, caulinita e gibbsita, são eliminadas, pode-se identificar reflexos residuais de goethita em 0,269 nm (33,25 graus 2 theta) e 0,247 nm (36,36 graus 2 theta).

A estimativa da composição mineralógica das amostras dos horizontes do solo seguiu o procedimento definido em Reatto et al. (2000). Segundo este procedimento, considera-se que o extraído pelo ataque sulfúrico está preferencialmente concentrado na fração argila de Latossolos, especialmente na forma de caulinita, gibbsita, goethita, hematita e anatásio. Estes minerais foram identificados na difratometria de raios-X, o que aumenta a segurança em relação à composição mineralógica estimada.

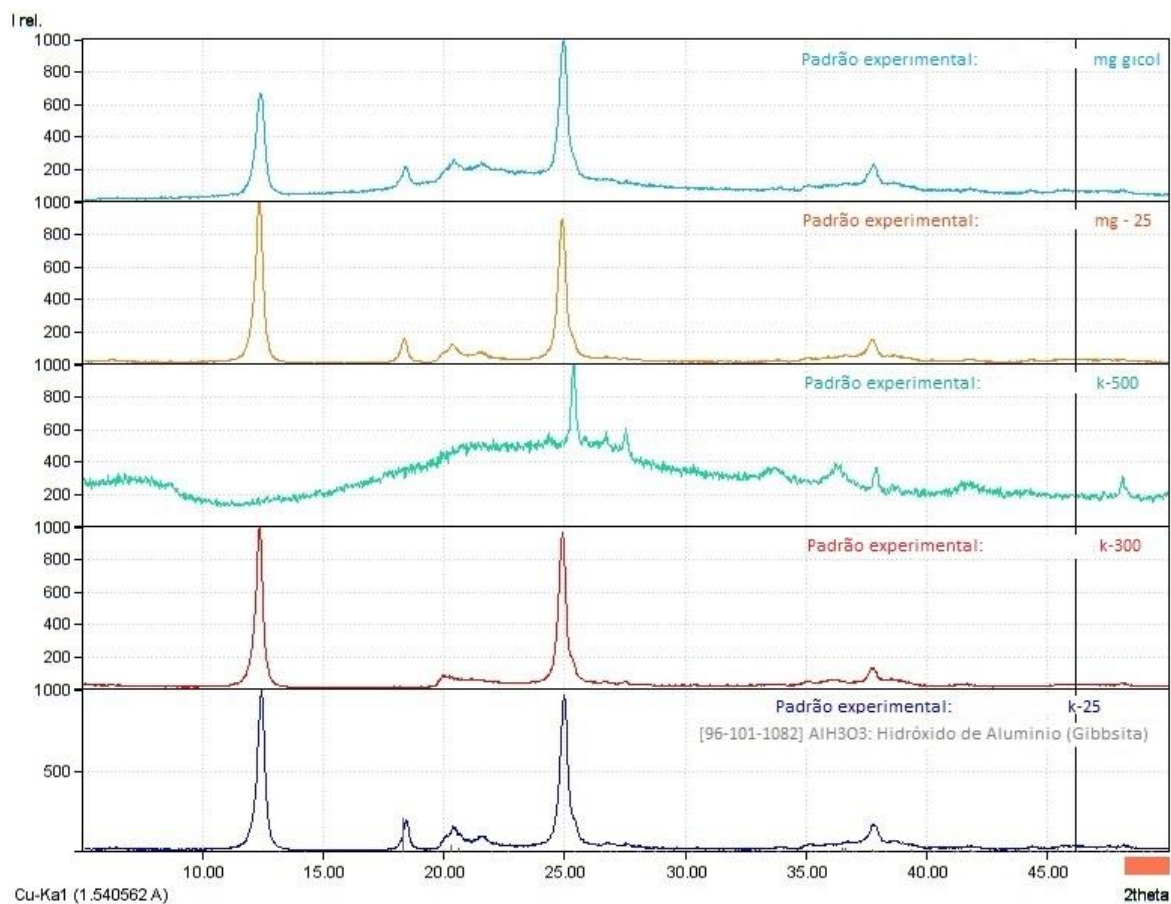


Figura 3.3. Difratoograma de Raio-X (DRX) do Latossolo Vermelho Amarelo.

Os resultados de ataque sulfúrico e da estimativa da composição mineralógica estão apresentados na Tabela 3.11. O mineral mais importante é a caulinita, seguido pela gibbsita, goethita e hematita. Os índices K_i e K_r são maiores que 0,75 e menores que 1, o que classifica este solo como caulinitico (Resende e Santana, 1998), confirmada pelos dados de DRX. Por outro lado, seguindo os critérios utilizados por Reatto et al. (2000), a proporção do ferro total mais a gibbsita em relação ao teor total de argila apresenta valores superiores a 0,2, o que classifica este solo também como oxídico. Desta forma, o solo pode ser classificado como caulinitico-oxídico. A razão caulinita/(caulinita + gibbsita) (RCGb), entre 0,54 e 0,62, apresenta ligeiro aumento entre o topo e a base do perfil, o que indica um processo de dessilicatação mais intensa nos horizontes mais superficiais. Por outro lado, a razão hematita/(hematita + goethita) também apresenta ligeiro aumento em profundidade, conforme o observado na descrição morfológica do perfil a campo. Tudo indica que existe um aumento da eficiência de drenagem mais recentemente,

ou um maior aprofundamento do lençol freático e a tendência de aumentar o teor de hematita em profundidade.

Tabela 3.11. Análise por extração com ataque sulfúrico e estimativa da composição mineralógica.

Horiz. cm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Ki	Kr	Caul	Gibb	Goet	Hema	Anat	RCGb	RHG	Argila	Caráter oxidico
	g kg ⁻¹						g kg ⁻¹					%			
0-20	109,5	224,6	31,7	15,4	0,83	0,76	235,2	201,4	23,88	10,24	15,40	0,54	0,30	61,25	0,38
20-40	113,5	221,7	32,10	15,8	0,87	0,80	243,7	191,8	24,18	10,37	15,80	0,56	0,30	60,00	0,37
40-70	122,6	230,5	33,70	16,7	0,90	0,83	263,3	193,5	24,45	11,72	16,70	0,58	0,32	58,75	0,39
70-150	130,2	224,9	34,10	15,9	0,98	0,90	279,6	175,0	23,33	13,13	15,90	0,62	0,36	62,50	0,33

Caulinita(Caul), Gibbsita(Gibb), Goethita(Geot), Hematita(Hema), Anatásio(Anat)

3.4. Avaliações desenvolvidas

A avaliação foi realizada no período de pleno florescimento da soja de acordo com Souza e Carvalho, (1985); Raij, (1997); Bataglia et al., (1996) e CFSEMG, (1999), por ser o período de maior atividade metabólica vegetativa. Nesse período foram avaliadas altura da planta, massa seca da parte aérea e raiz, estudo de nodulação (número e massa seca), foram coletadas amostras de solo e planta para análise química em laboratório, assim como a parte aérea foi encaminhada para análise química.

Nas amostras de solo, coletadas em cada vaso, foram feitas análises para determinação dos teores de fósforo mehlich e resina (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), acidez potencial (H+Al) e acidez ativa (pH em água), alumínio (Al), Hidrogênio (H) e micronutrientes: zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B) e ferro (Fe), conforme preconizada por Embrapa (1997) e silício (Si) de acordo com Korndörfer et al. (2004). Com base nessas análises, calcularam-se a soma de cátions básicos (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por cátions básicos (V%).

Nas amostras de plantas foram realizadas as determinações dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B) e ferro (Fe) segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1989) e silício (Si) de acordo com Korndörfer et al. (2004). No período de colheita foram avaliados o número de grãos, número de vagens e produção.

3.5. Estatística

O experimento foi desenvolvido em Delineamento Inteiramente casualizado, Esquema Fatorial, sendo as testemunhas comparadas em Contrastes. Os dados foram analisados pela ANOVA, as médias entre doses foram estudadas por análise de regressão e médias com e sem calcário foram comparadas pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade e análise de regressão. Para análise estatística foi usado o programa ESTAT (Barbosa et al., 1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teor de nutrientes disponíveis no solo

As características químicas do solo apresentaram interações significativas entre as doses de pó de rocha e calcário para os valores de pH em água, Hidrogênio mais Alumínio (H+Al), Alumínio (Al), Hidrogênio (H+), Magnésio (Mg), Saturação de bases (V%), para micronutrientes como o Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Boro (B) (Tabela 4.1). Teores de Fósforo mehlich (P-mehlich), Cálcio (Ca), Soma de bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Silício (Si) e Fósforo resina (P-res) tiveram diferença significativa para o fator doses de pó de rocha (Tabela 4.1). Para Potássio só houve diferença para o fator calcário, onde os teores de potássio foram maiores na presença do mesmo.

A média da testemunha com adubação convencional (altamente solúvel) com e sem calcário apresentou diferença significativa quando comparada com a média das doses de pó de rocha, sendo superiores as mesmas, isso para todos os elementos analisados exceto a Matéria Orgânica (MO) que não obteve diferença (Figura 4.1). Quanto a comparação entre testemunhas (adubação convencional) com e sem calcário, a com calcário foi superior.

Tabela 4.1. Resumo da análise de variância das variáveis de análise química do solo em cultivo de soja

Variáveis	FV					CV%
	Testemunha vs Fatorial	Entre Testemunhas	Calcário (C)	Rocha (R)	C x R	
pH H ₂ O	63,54**	164,38**	1494,10**	1,84ns	10,33**	2,43
H+Al	29,28**	169,64**	1371,71**	3,80**	6,90**	7,75
Al	22,45**	542,26**	1980,67**	34,91**	34,91**	14,97
H ⁺	22,12**	89,48**	918,06**	1,82ns	3,08*	8,37
P-Mehlich	39,65**	2,22ns	2,58ns	45,05**	1,13ns	31,03
MO	3,07ns	0,01ns	34,77**	1,78ns	0,71ns	4,75
Ca	21,54**	56,02**	645,86**	12,86**	0,34ns	15,18
Mg	70,58**	179,23**	2249,19**	3,30*	7,63**	10,37
K	356,74**	44,80**	11,69**	1,06ns	1,53ns	14,50
SB	39,40**	126,54**	1474,06**	6,66**	1,87ns	11,06
CTC	6,93*	6,46*	182,94**	2,54*	1,09ns	5,77
V%	69,86**	412,46**	3578,28**	11,47**	13,41**	6,11
CTCef	33,36**	77,82**	1137,26**	4,12**	1,14ns	10,29
S	233,87**	55,97**	5,15*	0,03ns	0,06ns	21,14
Cu	134,98**	0,05ns	0,96ns	153,46**	3,33*	15,70
Zn	20,15**	15,21**	0,18ns	0,34ns	0,21ns	37,23
Fe	92,16**	0,02ns	3,32ns	93,05**	3,58**	16,68
Mn	30,41**	68,81**	599,82**	6,02**	4,04**	14,07
B	17,90**	6,45*	36,03**	1,42ns	3,70**	28,92
Si	12,31**	0,22ns	287,30**	40,99**	1,29ns	7,57
P-res	89,46**	0,05ns	1,79ns	33,18**	0,64ns	26,36

^{ns}, *, ** não significativo, significativo 5% e 1 % respectivamente, pelo teste F.

Na Figura 4.1 são apresentadas as regressões os valores de pH em água, H+Al, H⁺ e Al em função das doses de pó de rocha. Para os valores de pH as doses de pó de rocha na presença de calcário foram maiores quando comparado com os tratamentos sem calcário, no entanto, a correlação entre o pH do solo e as doses de pó de rocha foi baixa (0,64), enquanto a regressão dos tratamentos sem calcário foi linear positiva significativa, ou seja, houve aumento do pH com o aumento da dose de pó de rocha.

Para os teores de H+Al e H⁺ no solo os resultados foram maiores para os tratamentos sem a calagem em valores decrescentes, sendo explicados por uma regressão linear negativa significativa, sendo minimizados de acordo com o aumento da dose de pó de rocha (Figura 4.1). O Al não foi observado nos tratamentos com calcário não sendo representados por nenhuma regressão, enquanto nos tratamentos sem calcário é observado uma regressão linear negativa, ou seja, de acordo que ocorreu o aumento da dose de pó de basalto o Alumínio trocável diminuiu.

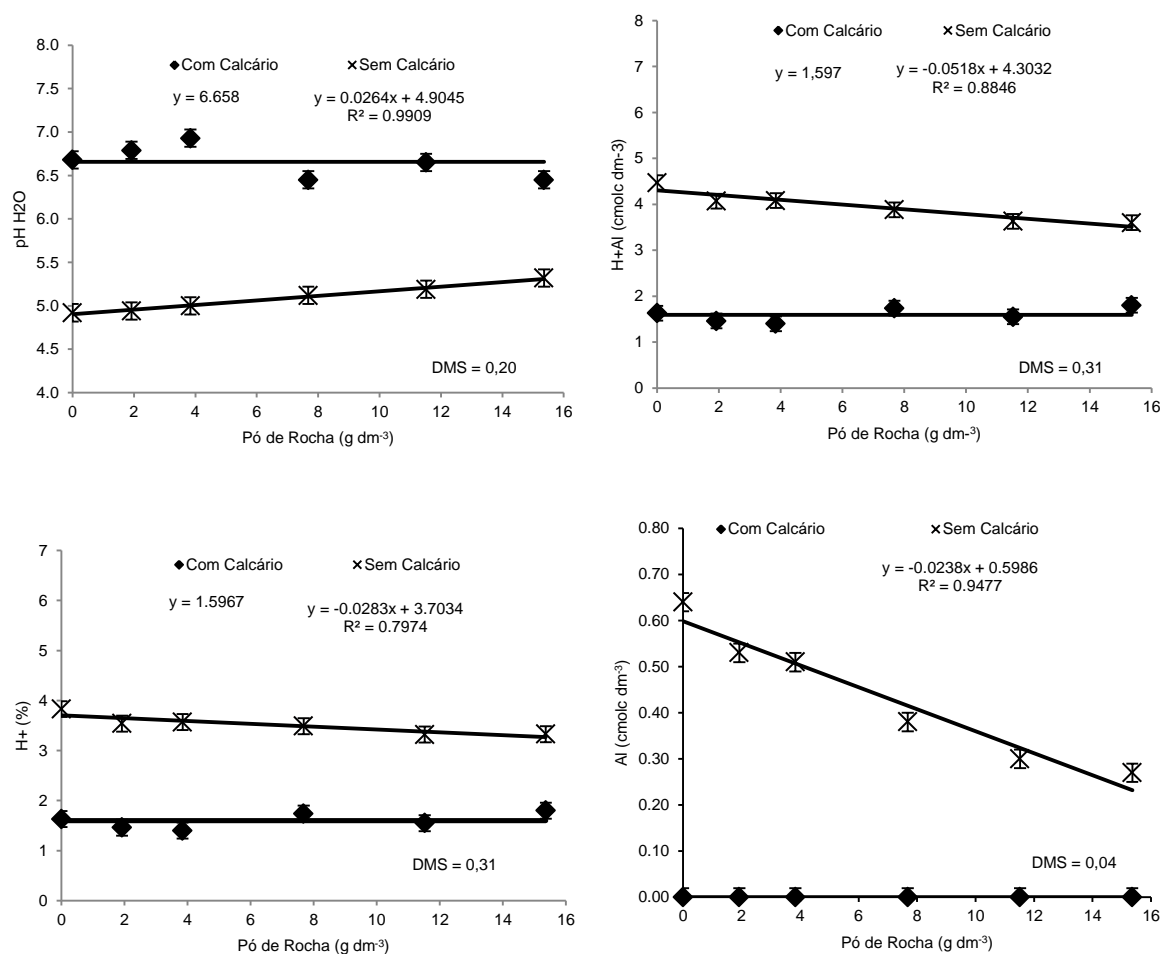


Figura 4.1. Análise de regressão para teores de pH H₂O, H+Al, H⁺ e Al no solo em função das doses de pó de rocha e presença e ausência de calcário (Barras verticais representam a DMS).

O pH do solo mede a acidez ativa do solo, que é a quantidade de H⁺ presente na solução do solo, ele representa o grau de dissociação dos compostos que liberam ácidos, mas não indica o tipo desses compostos (Souza et al., 2007). Dessa forma, o pH é uma das propriedades químicas mais importantes na determinação da disponibilidade de nutrientes para as plantas (Fageria, 1998). Escosteguy e Klant (1998) observaram em experimento com basaltos moídos que para todos os tipos houve acréscimo nos valores de pH e diminuição do Al. De acordo com Melo et al. (2012) o efeito da adição das doses de basalto também apresentou maior eficiência para a neutralização da acidez potencial.

Na Figura 4.2 são mostradas as regressões dos teores de Mg e Saturação de Bases no solo em função da presença e ausência de calcário em diferentes doses de pó de basalto. Observa-se que há um maior teor de Mg nos tratamentos com

calcário independente da dose usada, isso se deve ao fato do calcário usado ser dolomítico e ter uma liberação maior desse nutriente que o basalto. Os valores de Saturação de Bases foram significativamente superiores para os tratamentos com calcário e os mesmos não apresentaram diferença para as diferentes doses de pó de basalto. Apesar dos tratamentos sem calcário estarem bem abaixo dos níveis ideais recomendados, eles foram explicados por uma regressão linear positiva, sendo que a dose máxima de pó de basalto mostrou resultado estatisticamente diferente das demais doses. Isso mostra que o basalto foi reativo no solo ao ponto de aumentar os níveis de Saturação de Bases de acordo que aumentou a dose de pó de basalto.

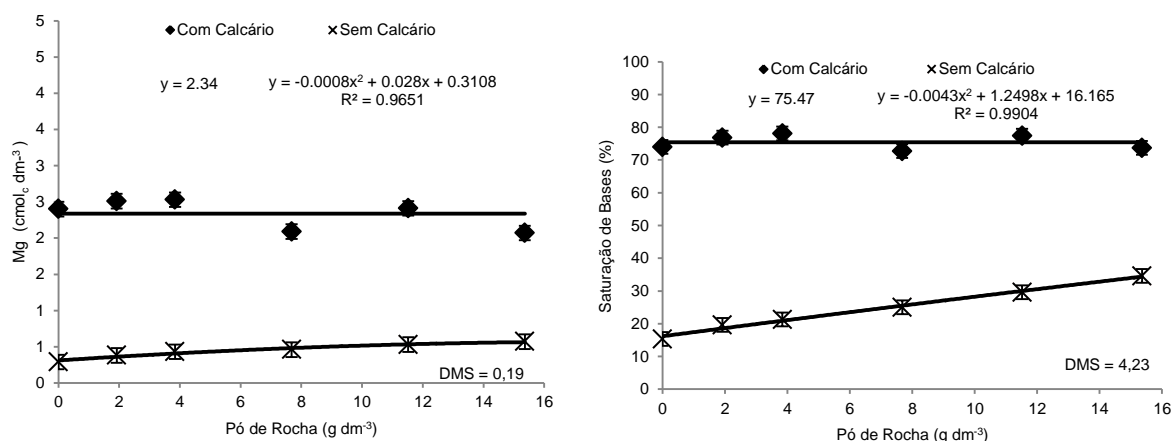


Figura 4.2. Análise de regressão para teor Magnésio (Mg) e Saturação de bases no solo em função das doses de pó de rocha e presença e ausência de calcário (Barras verticais representam a DMS).

Observa-se na figura 4.3 que no solo tanto pra teores de Cu como de Fe ocorreu uma regressão linear positiva de acordo com o aumento da dose de pó de basalto, havendo diferença significativa apenas para as doses de 7,68 e 15,36 g dm⁻³ de basalto, sendo que na presença de calcário os valores foram maiores. Para teores de Mn houve maior teor para os tratamentos com calcário (Figura 4.3), sendo que na ausência de calcário os valores foram menores, mas apresentaram tendência crescente de acordo do aumento de dose do pó de basalto. Esses resultados corroboram com o trabalho de Melo et al. (2012), onde o uso do pó de basalto promoveu aumento nos teores de Ca, Mg, Zn, Fe e Cu no solo. Os teores de

B apresentaram valores mais elevados nos tratamentos sem calcário diminuindo com o aumento da dose do pó de basalto (Figura 4.3).

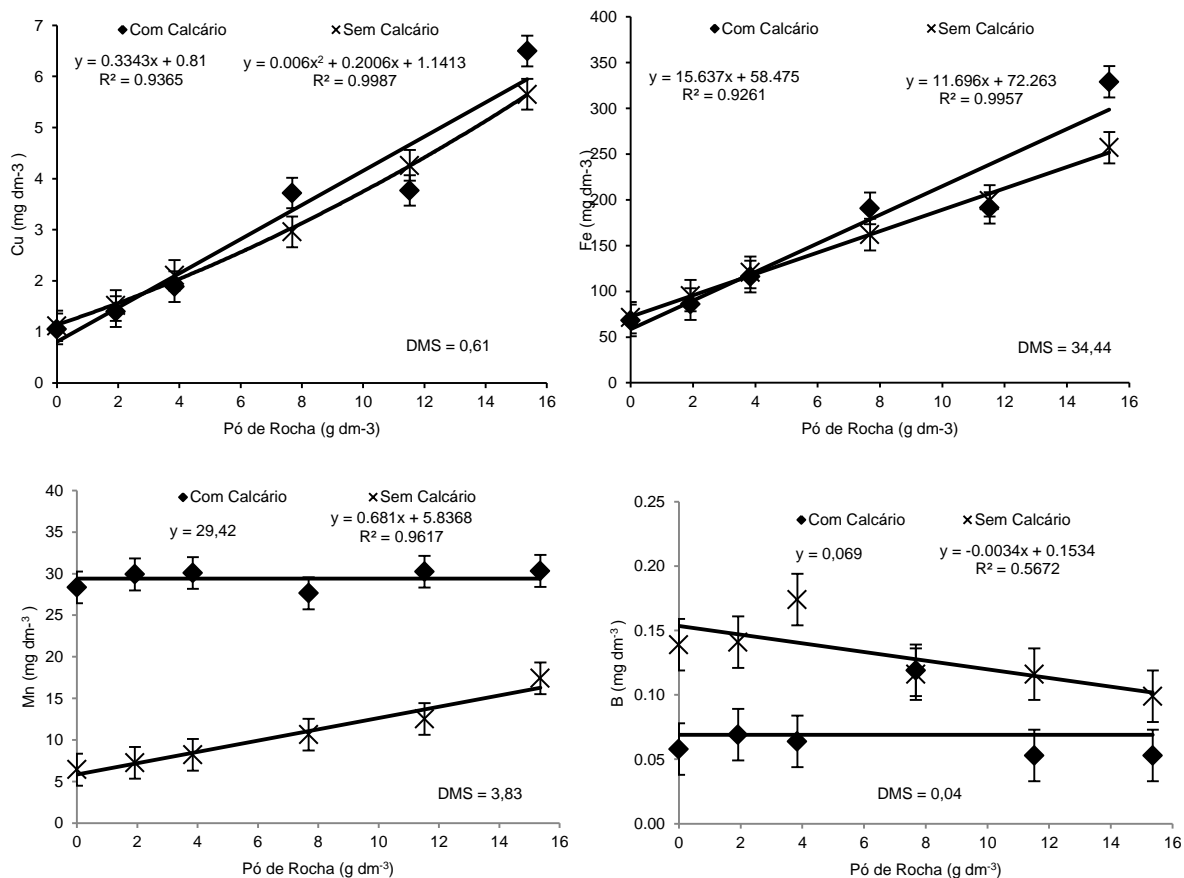


Figura 4.3. Análise de regressão para teores de Cu, Fe, Mn, B no solo em função das doses de pó de rocha e presença e ausência de calcário (Barras verticais representam a DMS).

Assim como mencionado anteriormente não houve interação entre o fator doses de basalto e presença ausência de calcário para teores de Ca, SB, CTC, Si e P-resina e P-mehlich. Os teores de cálcio foram maiores no solo para as maiores doses de pó de rocha, assim como para CTC e soma de bases, sendo que todas as regressões apresentadas na Figura 4.4 foram lineares positivas significativas.

O Ca contribui com a redução da acidez do solo. É absorvido pela planta na forma iônica Ca^{2+} da solução do solo, sendo que sua absorção está associada as relações de equilíbrio com Mg e K (Souza et al., 2007). É um elemento estrutural, sendo integrante da parede celular e sua deficiência afeta principalmente o crescimento das raízes (Souza et al., 2007). Possivelmente os valores de Ca e Si devem-se ao intemperismo dos minerais constituintes da rocha especialmente

plagioclásio, que neste caso compõe 36,3% do basalto estudado. Segundo Harley e Gilkes (2000) plagioclásios são importantes fontes de cálcio e podem liberar esse elemento a médio e longo prazo. O silício liberado no solo também pode ser oriundo dos minerais ortoclásio (64,76% de Si), pigeonita (53,42% de Si), e clinopiroxênio (52,54% de Si), que representam 7,9, 11,1 e 15,7% do Basalto estudado.

Como observado na mineralogia do basalto ele possui 0,8% de apatita que é um mineral rico em P e Ca. Possivelmente esse mineral que em sua formulação possui 42,38% de P e 56,82% de Ca, seja responsável pela grande liberação de fósforo no solo. De acordo com a regressão apresentada na Figura 4.4 para P-mehlich e resina houve correlação de 0,98 e 0,99 respectivamente, sendo que para cada grama de basalto aplicada no solo ocorreu um aumento de 0,92 e 1,41 mg dm⁻³ de P no solo respectivamente. No experimento de Escosteguy e Klamt (1998) os teores de fósforo também foram altos nas doses de basalto, contudo ele atribuíram esse efeito ao extrator do método Mehlich-1, pois os extratores ácidos podem dissolver certos minerais presentes em baixas quantidades (traços) no basalto, mas ricos em P, como a apatita. No entanto, para o presente trabalho foi observado a mesma liberação de fósforo para P-Mehlich-1 e P-resina, o que não corrobora com essa possibilidade atribuída aos resultados desses autores. Oliveira (2012) também conclui que diversos minerais, inclusive os minerais traços, podem ser reativos na presença de água, sendo que nesse caso podemos observar que a apatita da rocha de basalto moída foi bastante solúvel. Essa solubilidade relativamente alta pode ter relação com o pH ácido do solo, que contribui para a liberação desse nutriente.

Outra possibilidade para essa grande quantidade de P liberado no solo é a quantidade de silício liberado pela rocha. De acordo com Brait (2008) o silício tem a capacidade de causar dessorção do Fósforo no solo, e promover a competição pelos mesmos sítios de ligação melhorando a disponibilidade de fósforo para as plantas.

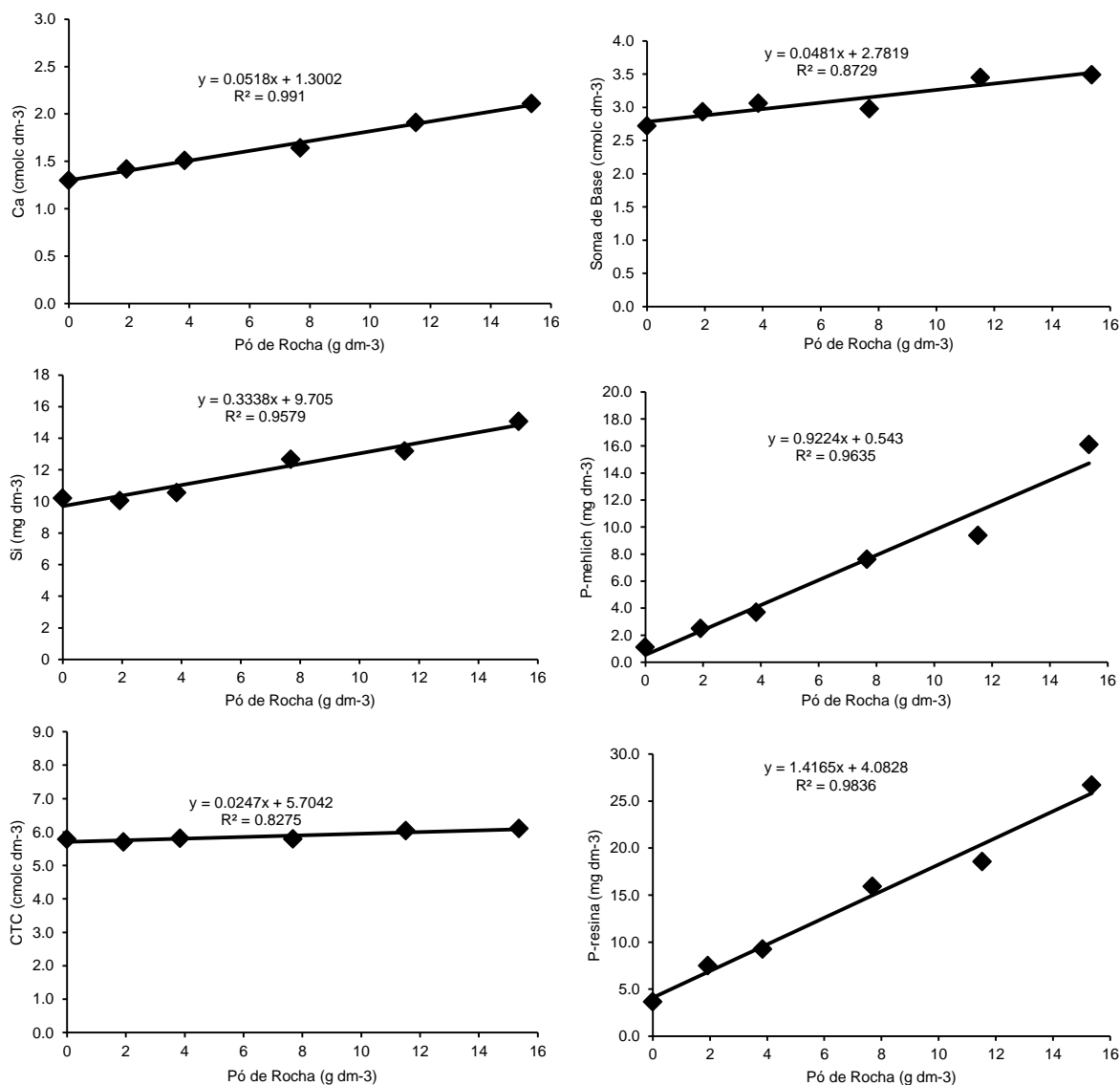


Figura 4.4. Análise de regressão para teores de Ca, SB, CTC, Si, P-res e P-mehlich no solo em função das doses de pó de rocha.

Segundo Van Straaten (2006), a razão para esses resultados positivos sobre solos ácidos, altamente intemperizados e empobrecidos em nutrientes nas regiões tropicais, são provavelmente a maior dissolução de minerais silicatados, ricos em nutrientes, presentes no pó de rocha sob as condições de altas temperaturas e umidade, além dos efeitos neutralizantes do produto da dissolução sobre a acidez do solo. Grãos finos de rocha contêm altas proporções de piroxênios, anfibólios e plagioclásio rico em cálcio, bem como baixas concentrações de quartzo livre, os quais têm alta taxa de intemperização natural. Esses materiais contêm bases trocáveis, silicatos, fósforo e micronutrientes necessários para a nutrição das

plantas, os quais são progressivamente disponibilizados com o incremento das doses aplicadas e do tempo de sua incorporação ao solo.

4.2. Teor de nutrientes acumulado na parte aérea da planta de soja

Para os teores de nutrientes acumulados em plantas de soja em função doses do pó de basalto e presença e ausência de calcário foi observado interação entre fatores apenas para Ca. O acúmulo de K, B, Fe, Zn e Si pelas plantas tiveram diferença significativa para os dois fatores isoladamente. Enquanto os elementos Mg e S apresentaram diferenças significativas apenas para o fator doses de pó de rocha e P, Cu e Mn para o fator presença e ausência de calcário. Nitrogênio não apresentou diferença significativa para nenhum fator avaliado.

A média da testemunha com adubação convencional (altamente solúvel) com e sem calcário apresentou diferença significativa quando comparada com a média das doses de pó de rocha, sendo superiores as mesmas, isso para todos os elementos analisados.

Tabela 4.2. Resumo da análise de variância das variáveis de valores e nutrientes acumulados pelas plantas em cultivo de soja

Variáveis	FV					CV%
	Testemunha vs Fatorial	Entre Testemunhas	Calcário (C)	Rocha (R)	C x R	
N	463,99**	0,10ns	0,31ns	0,60ns	0,28ns	23,50
P	720,42**	4,73*	11,69**	0,98ns	0,18ns	33,27
K	4159,24**	8,15**	98,40**	6,93**	2,07ns	14,39
Ca	1416,87**	59,35**	0,10ns	16,30**	3,21*	15,48
Mg	1174,43**	48,27**	2,34ns	9,59**	1,64ns	13,59
S	3931,92**	0,33ns	1,84ns	5,17**	1,30ns	13,65
B	562,83**	0,33ns	59,41**	2,27*	0,75ns	19,21
Cu	4,07*	1,77ns	15,04**	0,11ns	1,01ns	48,98
Fe	295,99**	11,86**	4,72*	2,55*	0,34ns	31,02
Mn	1169,67**	435,27**	101,51**	1,84ns	1,17ns	20,78
Zn	1024,78**	118,57**	95,58**	3,40*	0,60ns	15,73
Si	971,39**	107,08**	81,80**	9,16**	2,36ns	20,63

^{ns}, *, ** não significativo, significativo 5% e 1 % respectivamente, pelo teste F.

A parte aérea da planta apresentou maior acúmulo de P nos tratamentos sem calcário, não havendo diferença estatística entre as doses, ou seja, a presença de calcário diminuiu a assimilação de P pela planta, da mesma forma que o Mn. Isso se deve provavelmente a maior liberação de P no solo para os tratamentos sem

calcário. Em contrapartida os valores de Cu foram superiores nos tratamentos com calcário.

Na Figura 4.5 são apresentadas as regressões para K, Ca, Mg e S. O K apresentou diferença significativa nos fatores isoladamente, sendo que os tratamentos sem calcário apresentaram maior acúmulo do nutriente, sendo que para o fator doses de basalto a regressão foi significativa e positiva. Dessa forma, pode-se observar que para cada g de basalto aumentou 1,32 mg de K. Esse nutriente tem inúmeras funções na planta, destacando-se, principalmente, a ativação de vários sistemas enzimáticos muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração. Além de participar na síntese de proteínas, carboidratos e de adenosina trifosfato (ATP), o K atua também na relação osmótica, manutenção de água na planta por meio do controle de abertura e fechamento dos estômatos (Ernani, et al., 2007).

O Ca foi o único elemento que teve interação entre os fatores (Figura 4.5). Houve diferença significativa apenas na dose zero e máxima de pó de rocha, onde inicialmente o tratamento com calcário possui maior acúmulo de Ca e nas últimas doses o tratamento sem calcário foi superior estatisticamente. O Ca funciona na planta como “cimento” entre células adjacentes. Participa do crescimento da parte aérea e das pontas das raízes. Considerado mensageiro secundário de estímulos mecânicos, ambientais, elétricos (Malavolta, 2008).

Como visto anteriormente, o Mg apresentou diferença significativa apenas para o fator doses de pó de basalto, sendo representado por uma regressão quadrática significativa. Ele é absorvido pela planta na forma iônica Mg^{2+} da solução do solo acessado pelas raízes principalmente pelos mecanismos de interceptação radicular e fluxo de massa. A absorção de Mg está associada, também, as suas relações de equilíbrio com Ca e K na solução do solo. Dentre as suas funções de importância, uma das principais é a sua participação na composição estrutural da clorofila. O Mg é também ativador de grande número de enzimas (Souza et al., 2007).

Os elementos químicos Ca, Mg, e K utilizam as mesmas vias de absorção pela planta (Malavolta, 2008), a resposta quadrática apresentada pelo Mg e Ca na presença de calcário possivelmente estão relacionadas à resposta linear do K.

O S é significativo apenas para o fator dose de basalto (Figura 4.5). Ele apresenta maior quantidade extraída pela parte aérea da planta nas doses máximas (15,36 g dm⁻³).

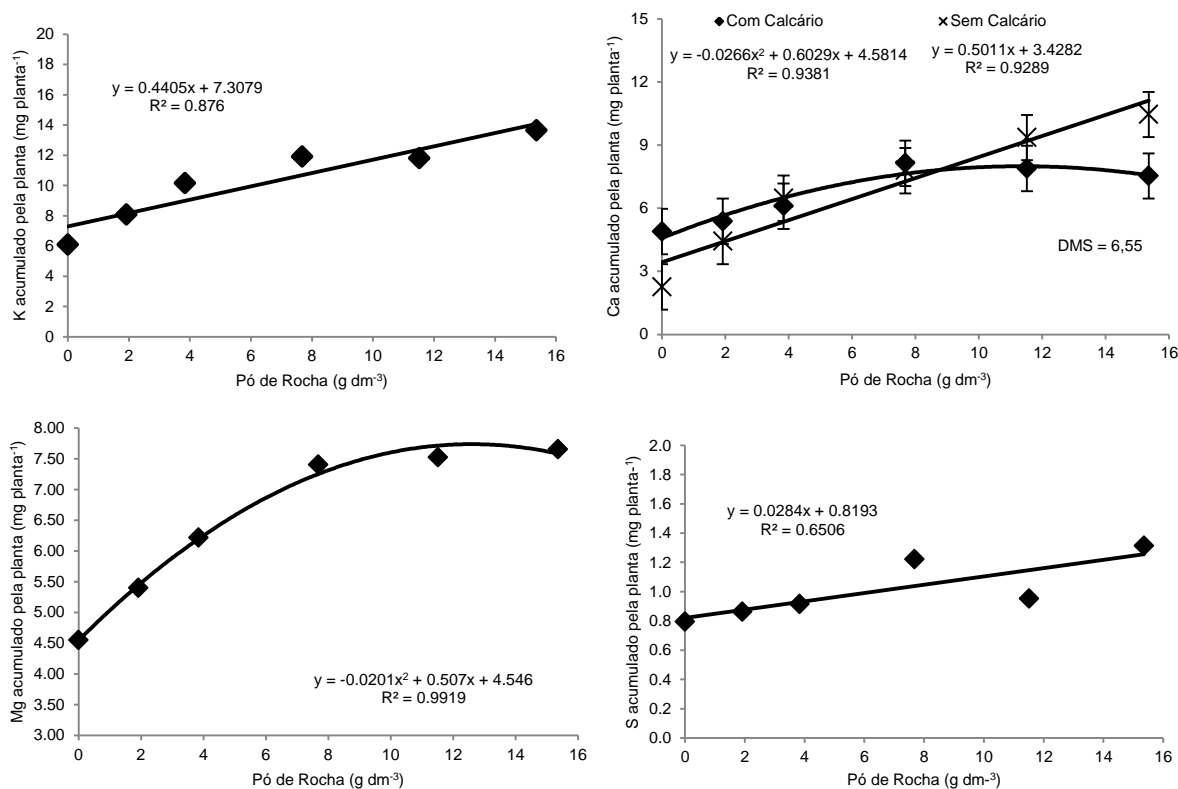


Figura 4.5. Análise de regressão para os nutrientes: K, Ca, Mg e S acumulados pela planta em função das doses de pó de rocha e presença e ausência de calcário.

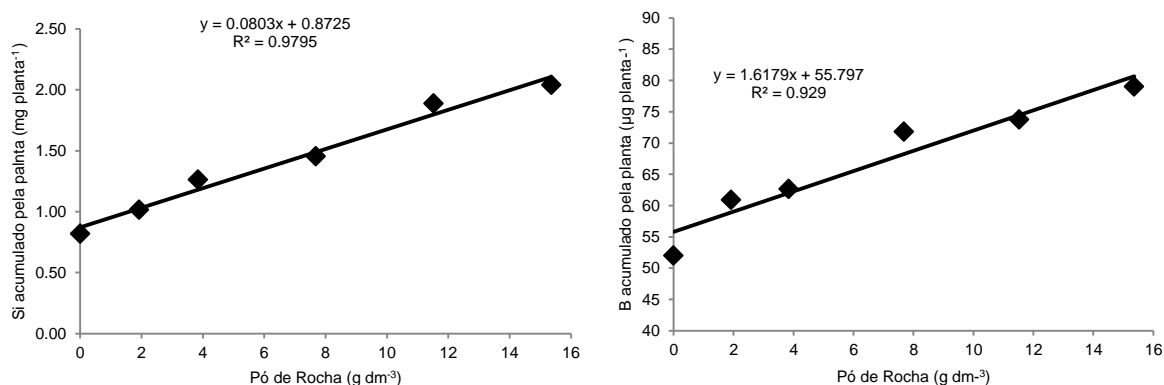
Os valores de Si, B, Fe e Zn acumulados pela parte aérea da planta são apresentados pela análise de regressão na Figura 4.6. Os tratamentos sem calcário apresentaram valores superiores para acúmulo de Si pela planta. Os valores de Si para o fator dose de pó de rocha é explicado por uma regressão linear positiva, onde o aumento da dose coincide com o aumento do Si acumulado. O Si é um elemento benéfico para a produção de várias culturas como: soja, milho, trigo, algodão, arroz, cana-de-açúcar. Sua utilização no Brasil tem sido difundida nos últimos anos, principalmente após sua inclusão como micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura (Camargo et al., 2007). O Si liberado pela rocha de basalto deve ser provavelmente dos minerais plagioclásio,

clinopiroxênio e pigeonita que são os mais abundantes na rocha e os de cinética de intemperismo mais elevada.

O acúmulo de B pela parte aérea da planta foi maior para dose máxima de pó de basalto (Figura 4.6). O B é um não metal, caracterizado por seu comportamento aniônico. Na solução do solo, o ácido bórico (H_3BO_3) é a forma dominante. Os teores de B no solo são variados e este elemento não se encontra uniformemente distribuído na crosta terrestre. Grande parte do B total em solos encontra-se no mineral turmalina. O B é adsorvido às partículas do solo como ácido bórico, com mais intensidade em óxidos hidratados de ferro e alumínio (Souza, 2012).

O Fe apresentou tendência quadrática, sendo o seu maior acúmulo pelas plantas para a dose $7,68 \text{ g dm}^{-3}$ (Figura 4.6). O Fe é o elemento metálico mais comum na crosta terrestre. A geoquímica do Fe é complexa e determinada pela facilidade de mudança de valência (Fe^{2+} e Fe^{3+}) em resposta a alterações nas condições físico-químicas do meio. O comportamento do Fe está intimamente ligado às ciclagens de oxigênio, enxofre e carbono. Nos solos, ocorre principalmente na forma de óxidos e hidróxidos. Os teores totais de Fe nos vários solos do mundo estão comumente entre 5 e 50 g/kg. A solubilidade do Fe atinge um mínimo em valores de pH mais altos. Em solos bem aerados, a forma Fe^{2+} contribui pouco para a disponibilidade de Fe, exceto em condições de pH baixo (Souza, 2012).

Da mesma forma que o Fe o Zn apresenta tendência quadrática tendo maior acúmulo na dose $7,68 \text{ g dm}^{-3}$ (Figura 4.6). Para efeito da liberação de Zn na solução do solo deve-se observar os valores do pH. Como observado anteriormente



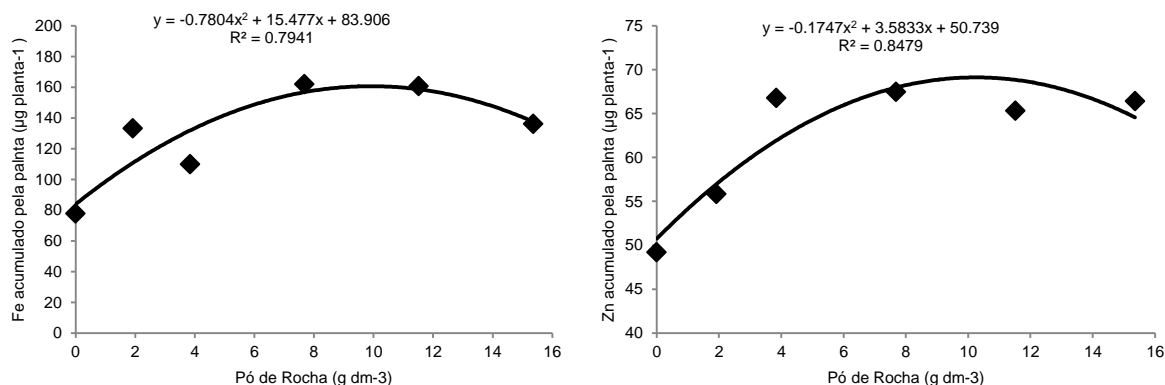


Figura 4.6. Análise de regressão para Si, B, Fe e Zn acumulados pela planta em função das doses de pó de rocha.

4.3. Componentes de produção agrônômica da soja

De acordo com a tabela 4.3 houve interação entre os fatores calagem e pó de rocha para o teor de clorofila, altura da planta, massa seca da planta e produção. Para o número de grãos e número de vagens não houve interação, contudo houve diferença entre os níveis de calagem e pó de rocha isoladamente.

Tabela 4.3. Resumo do quadro de análise de variância do esquema fatorial dos fatores Calagem (C) e Pó de Rocha (PR), para as variáveis teor de clorofila (CLOROF), altura da planta (ALTP), massa seca da planta (MSPL), número de grãos (NGRA), número de vagens (NVAG) e produção (PROD).

FV	GL	CLOROF	ALTP	MSPL	NGRA	NVAG	PROD
Test vs Fat	1	4,13*	644,08**	1958,84**	19,02**	1474,71**	25007,34**
Entre Test,	1	0,10 ns	5,42*	33,00**	0,00 ns	108,86**	3933,58**
Calagem (C)	1	4,22*	58,33**	57,53**	13,07**	44,09**	30,14**
Pó de Rocha (PR)	5	3,06*	11,56**	7,47**	3,75**	3,59**	57,09**
C X PR	5	8,74**	4,05**	2,56*	1,27 ns	1,18 ns	4,05**
CV%		4,89	7,33	15,56	12,46	10,70	3,38

^{ns}, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1 % respectivamente.

De acordo com o aumento da dosagem de pó de rocha ocorreu um acréscimo em relação ao teor de clorofila na presença de calcário, enquanto que nos vasos sem calcário houve um decréscimo (Figura 4.6). Observa-se que na altura de planta os tratamentos com calcário não diferiram em função das doses de pó de rocha, em contrapartida, o aumento da dosagem do pó de rocha influenciou positivamente a altura de planta nos tratamentos sem calcário. Esse mesmo resultado foi observado para massa seca de planta. Esse resultado difere do

trabalho de Bortolini et al. (2009) que não observou diferença significativa para massa seca de aveia de azevém.

Na presença de calcário houve maior produção nas doses de 7,68 à 11,52 g dm⁻³, sendo que a maior dose (15,36 g dm⁻³) foi inferior a esses valores apresentando uma regressão quadrática, contudo na ausência de calcário ocorreu maior produção nas doses de 7,68 à 15,36 g dm⁻³. Para Silva et al. (2012) a produtividade do feijão não apresentou diferença com as doses de pó de basalto. Enquanto Müller et al. (2009) que mesmo os valores de produção com NPK sendo maiores ainda observou incremento na produção do milho com pó de basalto. Observa-se assim que, os efeitos do pó de basalto dependem do tipo de solo que é usado, clima e cultura.

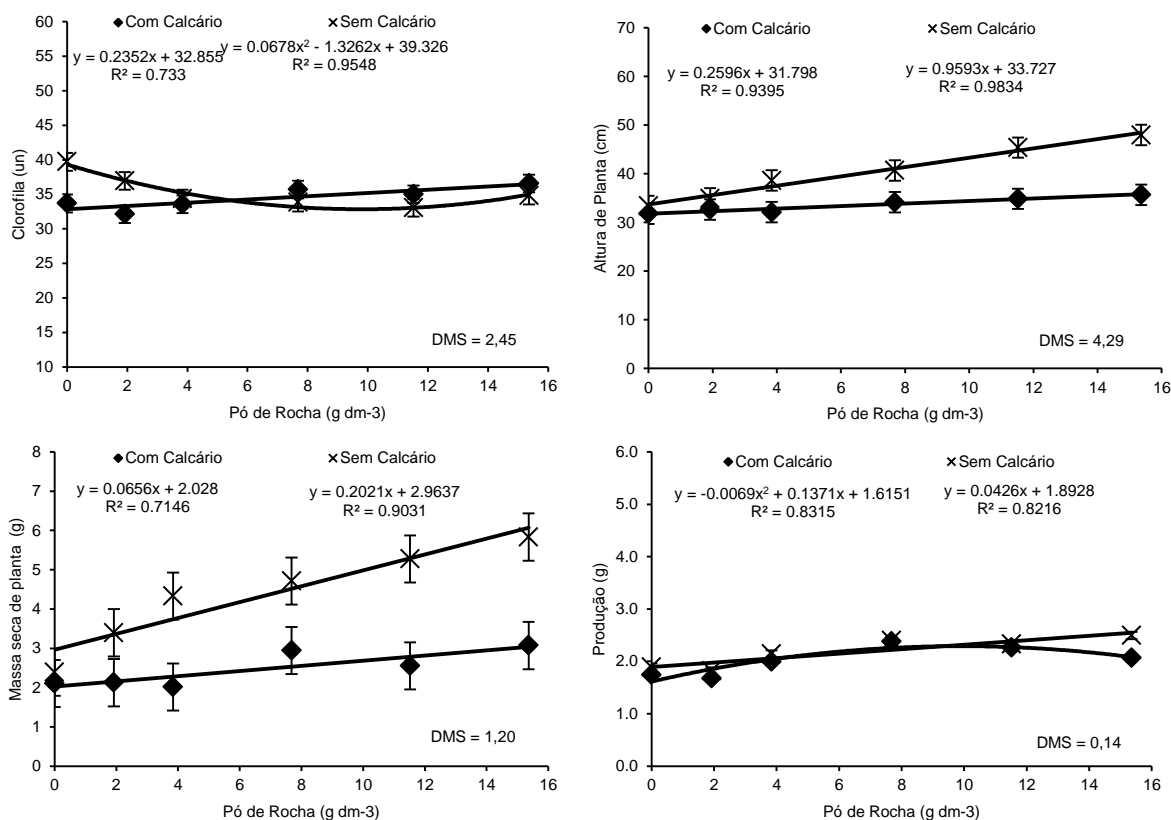


Figura 4.6. Análise de regressão para teor de clorofila, altura de planta, massa seca de planta e produção de grãos em função das doses de pó de rocha e presença e ausência de calcário (Barras verticais representam a DMS).

Como observado acima (Tabela 4.3) número de grãos e vagens não tiveram interação entre dose de pó de rocha e calagem, sendo assim os fatores foram avaliados separadamente. Dessa forma, o número de grãos em função da dose 11,52 g dm⁻³ de pó de rocha foi superior aos demais (Figura 4.7). Enquanto os

tratamentos com calcário foram superiores aos sem calcário, tanto no número de grãos quanto no de vagens. No número de vagens apenas a dose zero foi inferior às demais (Figura 4.7).

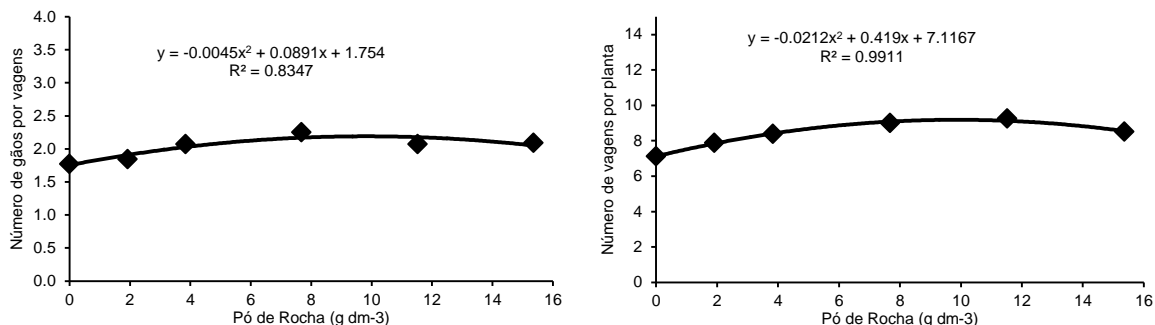


Figura 4.7. Análise de regressão para número de grãos por vagens e número de vagens por planta em função das doses de pó de rocha.

Para as variáveis massa seca de nódulos e número de nódulos não houve diferença significativa para nenhum fator, enquanto a massa seca de raiz foi maior significativamente para os tratamentos com calcário (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Resumo do quadro de análise de variância do esquema fatorial dos fatores Calagem (C) e Pó de Rocha (PR), para as variáveis massa seca de raiz (MSRA), número de nódulos (NNOD) e massa seca de nódulos (MSNO).

FV	GL	MSRA	NNOD	MSNO
Testemunhas vs Fatorial	1	735,26**	204,68**	432,43**
Entre Testemunhas	1	7,95**	86,74**	5,96*
Calagem (C)	1	4,65*	2,25 ^{ns}	1,71 ^{ns}
Pó de Rocha (PR)	5	1,56 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,33 ^{ns}
C X PR	5	1,42 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV%		16,91	71,49	73,74

^{ns}, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1 % respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem apoiar as seguintes conclusões. Os atributos químicos do solo e planta são influenciados significativamente pelo uso de basalto. O basalto apresenta efeito na acidez do solo e diminui o Al^{3+} . Proporciona liberação de macro e micronutriente no solo. Contribui para aumento da produção de grãos, massa seca e altura de planta.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, 8:870-874, 1991.

ANDRADE, L.R.M.; MARTINS, E.S.; MENDES, I.C. 2002. **Carbonatites as natural source of nutrients for Cerrados soils**. In: World Congress of Soil Science, 17, Bangkok. Proceedings. Bangkok: ISSS. (CD-rom).

ARCULUS, R.J.; DAWSON, J.B.; MITCHELL, R.H.; GUST, D.A.; HOLMES, R.D. Oxidation states of the upper mantle recorded by megacryst ilmenite in kimberlite and type A and B spinel lherzolites. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, 85: 85-94, 1984.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; D. S. ANDRADE, A. D. S.; HUNGRIA, M. **Biomassa Microbiana E Sua Atividade Em Solos Sob Diferentes Sistemas De Preparo E Sucessão De Culturas**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 22:641-649, 1998.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E. & KORNDÖRFER, G.H. A importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas**, 89. 8p. (Encarte Técnico), 2000.

BARBOSA, J. C.; MALHEIROS, E. B.; BANZATTO, D. A. **ESTAT**: um sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Versão 2.0. Jaboticabal: Unesp, 1992.

BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Princípios da diagnose foliar. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p. 647-660.

BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILO, E.M.; STOLFA, D. Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalts to rhyolite sequences of the Southern Paraná Basin (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 55:355-383, 1983.

BORTOLINI, P.C.; OLIVEIRA, C. D.; MARQUES, A. C. Produção de matéria seca de aveia e azevém em consórcio cultivados com diferentes doses de pó de basalto. **Revista de Estudos Vale do Iguaçu**, 01(14):123-138, 2009.

BRAIT, M. A. H. Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado. (Dissertação). Mestrado Em Produção Vegetal. **Universidade Federal de Goiás**, UFG, Jataí. 2008.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. RADAMBRASIL. **Folha SE.22**. Goiânia. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 31)

CALEGARI, A. **Sequestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo argiloso do Sul do Brasil**. 2006. 191p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CAMARGO, M. S.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, 66:637-647. 2007.

CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; MOREIRA, A.; SALINET, L. H.; VERONESI, C. O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol, **Espaço & Geografia**, 9: 179:193, 2006.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação. RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. ed. Viçosa, 1999. 359p.

DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, 75:729-732, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio In: **Fertilidade do Solo**. (Eds: NOVAIS, R. F.; A, V.; V.H. BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.). SBCS, Viçosa, 2007, p. 551-594.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 22:11-20, 1998.

GÖRGEN, C. A. ; CIVARDI, E. A. ; RAGAGNIN, V. A. ; SILVEIRA NETO, A. N. ; CARNEIRO, L. C. ; Lobo Jr., M. . Redução do inóculo inicial de *Sclerotinia sclerotiorum* em soja cultivada após uso do sistema Santa Fé. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1102-1108, 2010.

GÖRGEN, C.A.; BIZAO, A.A.; RAGAGNIN, V.A.; MARTINS, E.S.; BATISTA, N.T.F.; SILVA, F.S.; HACK, E. Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura. In: FERNANDES, F. R. C.; ENRÍQUEZ; M. R. S.; ALAMINO, R. C. J. (Org.). **Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011, v. 2, p. 45-68.

GÖRGEN, C.A.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA NETO, A.N.; CARNEIRO, L.C.; RAGAGNIN, V. A. Controle do mofo branco com palhada e *Trichoderma harzianum* 1306 em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1583-1590, 2009.

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

IBGE, **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro. V26. N7. P1-86. 2013.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte,- MG, 5:17-40, 1997.

KER, J. C.; NOVAIS, R. F. **Fundamentos da pedologia e relação com a fertilidade do solo**. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003, Ribeirão Preto, 2003.

KNAPIK, J.G. Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* (Benth) e *Prunus sellowii* (koehne).

2005. 163p. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2005.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: **GPSi-ICIAG-UFU**, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

LACERDA FILHO, J.V.; REZENDE, A.; SILVA, A. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB, 2ª edição. 2000, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (2009). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/ PETROBRAS, 656 p.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. Editora Nacional, 6ª. Edição, 1975.

LEITE, G. M. V.; ANDRADE, L. A. B.; GARCIA, J. C.; ANJOS, A. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-1816. **Ciência e Agrotecnologia**, 32: 1120-1125, 2008.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, 60:361-370. 1987.

LIMA, V.C. **Fundamentos de Pedologia**. UFPR/Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 2004. 233p.

MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. 2005. **Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes**. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/SBCS. (CDrom).

MACHADO, F. B.; NARDY, A. J. R.; ROCHA JÚNIOR, E. R. V.; MARQUES, L. S.; OLIVEIRA, M. A. F. Geologia e litogeoquímica da Formação Serra Geral nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Geociências**. 28: 523-540, 2009

MALAVOLTA, E. O Futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos econômicos e ambientais. International Plant Nutrition Institute. **Informações Agronômicas**, n.121, março/2008.

MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. Agrominerais – **Rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a Agricultura**. In: A. B. da Luz; F. A. Freitas Lins (Eds.), Rochas e Minerais Industriais, Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), 2008, p. 205-223.

MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. **Rochas e Minerais Industriais** – CETEM/2007.

MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. **Anais I congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

MELAMED, R.; GASPAR, J.C. **Eficiência de pó de rocha na bio-disponibilidade de potássio em sistemas de produção agrícola sustentáveis**. XXI ENTMMME – Natal-RN, novembro 2005.

MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; DIAS, F.U.; BARBOSA, G.F. Doses de basalto nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo Distrófico da Savana de Roraima. **Acta Amazônica**, 42: 471-476, 2012.

MICHELIN, C.R.L. **Sequência de formação das cavidades no basalto e seus preenchimentos com zeolitas, arenito, ágata e ametista, Derrame Miolo, São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul**. Brasil. 2007. 50p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociência. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 8:69-82. 1994.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; SALINET, L.H.; SFREDO, G.J. Efeito residual de rochas brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo. **Espaço & Geografia**, 9: 163:177, 2006.

MOREIRA, A.R.; FAGAN, E.B.; MARTINS, K.V. Resposta da cultura de soja à aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, 26: 413-423, 2010.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2ed. Lavras UFLA, 2006.

MÜLLER, M.M.L.; MEERT, L.; MICHALOVICZ, L.; KÖLLN, O.T.; BOTELHO, R.V. Estado nutricional de milho cultivado com fontes alternativas de nutrientes. **Synergismus Scientifica**, UTFPR, Pato Branco, 04 (1). 2009.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. SBCS, Viçosa, 2007. 1017p.

OLIVATTI, O.; RIBEIRO-FILHO, W. **Revisão da geologia do Centro-norte de Mato Grosso; Projeto Centro-Norte de Mato Grosso, Alto Guapó e Serra Azul. Goiânia**, DNPM/CPRM, 1976.

OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; MOREIRA, A.; ROSA, J.L. Eficiência da adubação residual com rochas brasileiras para a cultura da soja. **Espaço & Geografia**, 9: 231:246. 2006.

OLIVEIRA, G.C. **Solos das Regiões dos Cerrados: Reconhecimento na Paisagem, Potencialidades e Limitações para o Uso Agrícola**. Curso de Qualificação Profissional a Distância. Universidade Federal de Lavras-FAEPE. MG. 2009.

OLIVEIRA, P.C. **Caracterização geológico-geotécnica de diferentes litotipos basálticos: basalto denso, basalto vesículo-amigdaloidal e brecha alcalina**. 159p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos 2012.

PAKTUNC, A.D. MoDan – a computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition: Windows version. **Comput. Geosci.**, 27:883-886, 2001.

PEDROSO, I.L.P.B.; GOBBI, W.A.O.; CLEPS JÚNIOR, J.; PESSOA, V.L.S. Modernização e agronegócio: as transformações socioeconômicas recentes em Rio Verde (GO), In: **Anais do 2º Encontro dos Povos do Cerrado**, Pirapora (MG), 2004. Em CDRom.

PENA, G.S.; FIGUEREDO, A.J. **Projeto alcalina: Relatório final**. CPRM /DNPM – Goiânia, 1975.

QUEIROZ NETO, J.P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 1: 59-67, 2000.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, n. 100, 285 p., 1997.

REATTO A.; MARTINS, E.S.; SPERA, S.T.; CORREIA, J.R. Variabilidade mineralógica de Latossolos da área da Embrapa Cerrados em Relação aos do bioma Cerrado. **Boletim de pesquisa-Embrapa Cerrados**, Planaltina-DF, nº 19, 39p. 2000.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. **Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos**. In: S.M. SANO; S.P. ALMEIDA (eds.), 1ª. ed., Cerrado: Ambiente e Flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998, p. 47-88.

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. Rochas como Fontes de Potássio e outros Nutrientes para Culturas Anuais. **Espaço & Geografia**, 9: 135-161, 2006.

RESENDE, M., SANTANA, D.P. Uso das relações K_i e K_r na estimativa da mineralogia para classificação dos Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLO E INTEPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3. Rio de Janeiro. Anais: EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, 1988, 225-232p. (EMBRAPA – SNLCS DOC. 12).

RONQUIM, C.C. **Conceitos de Fertilidade do Solo e Manejo Adequado para as Regiões Tropicais**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

SÁ, A.M.; MARQUES, V.G. **Projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais**. Folha SE.22.V.B (Iporá). MME/DNPM/CPRM, Brasília, 16p. 1986.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A., Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre. Anais, 1:41-66, 1974.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti e J.H. Gonçalves (eds.), **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, 2003.

SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C.; AMARANTE, C V.T. Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7(4):548-554, 2012.

SILVA, J.F.; NETO, J.P.S.; GOMES, J.C.M.; LIMA, W.A.; CONCEIÇÃO, H. Avaliação da flogopitito como fonte alternativa de potássio na cultura do feijão em Latossolo do cerrado baiano. **Espaço & Geografia**, 9: 293:310, 2006.

SILVA, R.C.; FERNANDES, A.C.S.; SEDOR, F.A. Ocorrência de icnofósseis de invertebrados na formação Irati (permiano superior da bacia do Paraná, Brasil). **Arquivos do Museu Nacional**, 61:261-266, 2003.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e suas correções. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.; V.H. BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.), **Fertilidade do Solo**. SBCS, Viçosa, 2007. p 205-274.

SOUZA, E.D. **Micronutrientes**. Material didático oferecido aos discentes da disciplina de Fertilidade do solo do Programa de Pós Graduação em Agronomia-Campus Jataí. 2012.

SOUZA, P.I.M.; CARVALHO, L.J.C.B. **Nutrição mineral de plantas**. In: GOEDERT, W. J. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina, Embrapa - CNPAF, 1985. p. 75-98.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:731-747, 2006.