

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE LATOSSOLO
DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE PÓ DE METABASALTO**

Adriano Nunes de Almeida

Passo Fundo

2018

Adriano Nunes de Almeida

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE LATOSSOLO DECORRENTES DA
APLICAÇÃO DE PÓ DE METABASALTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi

Passo Fundo

2018

CIP – Catalogação na Publicação

A447a Almeida, Adriano Nunes de
Atributos químicos e físicos de latossolo decorrentes
da aplicação de pó de metabasalto / Adriano Nunes de
Almeida. – 2018.
85 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) –
Universidade de Passo Fundo, 2018.

1. Pó de metabasalto. 2. Sustentabilidade. 3. Solos -
Composição. 4. Produtividade agrícola. 5. Física do solo.
I. Bortoluzzi, Edson Campanhola, orientador. II. Título.

CDU: 631.4

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



PPGCiAmb

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Instituto de Ciências Biológicas - ICB

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

03/2018

Aos trinta e um dias do mês de agosto do ano dois mil e dezoito, às 08 horas e 30 minutos, realizou-se, no Auditório do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Passo Fundo, a sessão pública de Defesa da Dissertação: **“Atributos químicos e físicos de latossolo decorrentes da aplicação de pó de metabasalto”**, apresentada pelo(a) mestrando(a) ADRIANO NUNES DE ALMEIDA, que concluiu os créditos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Segundo os encaminhamentos do Conselho de Pós-Graduação (CPG) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e dos registros existentes nos arquivos da Secretaria do Programa, o(a) aluno(a) preencheu todos os requisitos necessários para a defesa. A banca foi composta pelos professores doutores, Edson Campanhola Bortoluzzi - Orientador(a) e presidente da banca examinadora (UPF), Pedro Domingos Marques Prietto (UPF) e Jackson Korchagin (UPF). Após a exposição da dissertação, os membros da banca questionaram o(a) mestrando(a) sobre o trabalho desenvolvido e ouviram sua defesa e argumentações. Em conformidade com o disposto na Resolução Consun Nº 07/2010, o(a) candidato(a) foi considerado(a) Aprovado. O aluno terá o prazo de quarenta e cinco dias, a partir desta data, para a entrega da dissertação definitiva, com as alterações sugeridas pelos membros da Comissão Examinadora. Encerrados os trabalhos de defesa e proclamados os resultados, eu, Prof. Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi, presidente, dou por encerrada a sessão pela banca.

Passo Fundo, 31 de agosto de 2018.


Prof. Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
Presidente da Comissão Examinadora – UPF/PPGCiAmb


Dr. Jackson Korchagin
Universidade de Passo Fundo – UPF/Agronomia


Prof. Dr. Pedro Domingos Marques Prietto
Universidade de Passo Fundo – UPF/PPGEng

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a família, mãe Edith, Andréia, Valcimar e Júlia Almeida, que me apoiaram nessa empreitada.

À esposa e filhos, Cilene, Artur e Aline, pela paciência de suportar um novo estudante em casa.

Ao falecido pai, Alfeu, que se estivesse entre nós, certamente aplaudiria esta etapa cumprida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas Jackson, Nêmorah, Luana, Daiana, Maurício, Ana e Cleiton, doutores e mestres pela paciência com o novato.

Aos graduandos Vanei, Carol e Maicon, pelo auxílio na execução das atividades de laboratório, muito importantes para a conclusão deste trabalho.

Agradecimento aos professores e funcionários do PPGCiAmb, na pessoa da Dionice, que sempre foram solícitos e otimistas com a primeira turma.

Agradeço aos colegas mestrados do PPGCiAmb pela colaboração e pelo aprendizado que cada um trouxe para o grupo com suas experiências anteriores.

Ao professor Edson Campanhola Bortoluzzi, agradeço por aceitar minha orientação de mestrado e pelos ensinamentos repassados.

EPIGRAFE

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância”.
John Fitzgerald Kenedy

RESUMO

ALMEIDA, Adriano Nunes de. Atributos químicos e físicos de latossolo decorrentes da aplicação de pó de metabasalto. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Universidade de Passo Fundo: UPF. Passo Fundo, 2018.

Estudos sobre remineralizadores são de fundamental importância por respeitar os três pilares da sustentabilidade: i) ambiental, pela origem da rocha naturalmente encontrada na região, apenas britada e moída, sem necessidade de ser submetida a processos industriais; ii) econômico, importante para a diminuição dos custos de fertilização das lavouras; e iii) social, agregando emprego e renda localmente na produção e distribuição do seu entorno. Dessa forma, esse estudo tem por objetivo analisar o efeito da aplicação de pó de metabasalto nas propriedades químicas e físico-hídricas do solo e sobre a produtividade da cultura da soja. Foram realizados dois experimentos, sob delineamento em blocos casualizados. No primeiro foram avaliadas propriedades químicas do solo após a aplicação de doses crescentes de pó de metabasalto (0; 1000, 2000, 4000 e 8000 kg ha⁻¹), em diferentes profundidades de solo (0-5; 5-10 e 10-20 cm) e épocas de coletas. No segundo experimento foram avaliadas infiltração e retenção de água no solo e o percentual de macroporos do solo após a aplicação de doses crescentes de pó de metabasalto (0, 4000, 8000, 16000, 32000 kg.ha⁻¹) e calcário (4000 kg.ha⁻¹) em três diferentes épocas (30, 120 e 210 dias após a aplicação de pó de metabasalto). Verificou-se que a matéria orgânica foi o aspecto químico do solo que sofreu influência das doses crescentes de pó de metabasalto, enquanto as propriedades físicas não foram afetadas pela aplicação desse remineralizador. Dessa forma, infere-se que o uso do pó de metabasalto apresenta potencialidade de uso como remineralizador de solo, não refletindo em impactos negativos nos parâmetros físico-hídricos ao ambiente.

Palavras-chave: 1.Pó de metabasalto. 2. Sustentabilidade de produção. 3. Qualidade de solo.

ABSTRACT

ALMEIDA, Adriano Nunes de. Chemical and physical attributes of latosol due to the application of metabasalto powder. Dissertation (Master in Environmental Sciences) University of Passo Fundo: UPF, 2018

Studies on remineralisers are of fundamental importance because they respect the three pillars of sustainability: i) environmental, by the origin of the rock naturally found in the region, only crushed and ground, without the need to be submitted to industrial processes; ii) economic, important for the reduction of fertilization costs of crops; and iii) social, adding employment and income locally in the production and distribution of its environment. Thus, this study aims to analyze the effect of the application of metabasalto powder on the chemical and physical-water properties of the soil and on the yield of the soybean crop. Two experiments were carried out under a randomized complete block design. In the first one, soil chemical properties were evaluated after increasing doses of metabasalto powder (0, 1000, 2000, 4000 and 8000 kg ha⁻¹) at different soil depths (0-5, 5-10 and 10- 20 cm) and sampling times. In the second experiment, soil water infiltration and retention and the percentage of soil macropores were evaluated after increasing doses of metabasalt (0, 4000, 8000, 16000, 32000 kg.ha⁻¹) and limestone (4000 kg .ha⁻¹) at three different times (30, 120 and 210 days after the application of metabasalto powder). It was verified that the organic matter was the chemical aspect of the soil that was influenced by the increasing doses of metabasalto powder, while the physical properties were not affected by the application of this remineralizer. In this way, it is inferred that the use of metabasalto powder presents potential use as a soil remineralizer, not reflecting negative impacts on the physical-water parameters to the environment.

Key words: 1. Metabasalto powder. 2. Production sustainability. 3. Soil quality.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Perfil de solo do local de instalação dos experimentos, Latossolo Vermelho Distrófico húmico. | 35 |
| Figura 2. Geodo de ametista incrustada no metabasalto (A); depósito de rejeito ao lado da mina (B). | 36 |
| Figura 3. Material preparado para análise de FRX. | 37 |
| Figura 4. Equipamento de microtomografia no CT Pedras, em Soledade. | 38 |
| Figura 5. Lavoura de soja em desenvolvimento vegetativo (A) e pré-colheita (B) no local dos experimentos. | 40 |
| Figura 6. Aveia preta em cobertura na área do Experimento 2. | 41 |
| Figura 7. Bancada de análises químicas realizadas em Laboratório | 44 |
| Figura 8. Infiltrômetro de anéis concêntricos medindo infiltração do solo. | 47 |
| Figura 9. Cilindros para retirada de amostras de solo e amostra indeformada para análise de microtomografia. | 48 |
| Figura 10. Imagens de amostras de solo indeformadas submetidas à microtomografia . | 49 |
| Figura 11. Efeito da interação Época (A) x Profundidade (B) na variável teor de potássio do solo. Passo Fundo, 2018. | 52 |
| Figura 12. Efeito da interação Época (A) x Profundidade (B) na variável teor de magnésio do solo. Passo Fundo, 2018. | 53 |
| Figura 13. Efeito de época nas variáveis pH, índice TSM, CTC efetiva e saturação de bases do solo. Passo Fundo, 2018. | 54 |
| Figura 14. Efeito da profundidade do solo nas variáveis pH, teor de alumínio, índice TSM, teor de Cálcio, teor de Fósforo, teor de Magnésio, CTC efetiva e Saturação de Bases. Passo Fundo, 2018. | 55 |
| Figura 15. Efeito da interação Dose (A) x Profundidade (B) na variável MO do solo. Passo Fundo, 2018. | 56 |
| Figura 16. Efeito da interação Época (A) x Profundidade (B) na variável MO do solo. Passo Fundo, 2018. | 57 |
| Figura 17. Efeito da dose de pó de metabasalto nas variáveis índice TSM, potássio e cálcio do solo. Passo Fundo, 2018. | 58 |
| Figura 18. Efeito de duas safras na Produtividade de soja (Kg ha^{-1}). Passo Fundo, 2018. | 59 |
| Figura 19. Imagens em microtomografia de raios-X da estrutura indeformada do solo (0-2,5 cm) dos tratamentos 0 t ha^{-1} (A) e 32 t ha^{-1} de pó de metabasalto (B) e 4 t ha^{-1} calcário (C). Passo Fundo, 2018. | 63 |
| Figura 20. Efeito do manejo na variável retenção de água em amostras indeformadas de solo. Passo Fundo, 2018. | 64 |
| Figura 21. Efeito do tempo na variável retenção de água em amostras indeformadas de solo. Passo Fundo, 2018. | 65 |
| Figura 22. Efeito da tensão submetida às amostras indeformadas na variável retenção de água do solo. Passo Fundo, 2018. | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Total de fertilizantes entregue no mercado brasileiro (mil t) por ano. | 20 |
| Tabela 2. Total de fertilizantes importados pelo mercado brasileiro (mil t) por ano. | 21 |
| Tabela 3. Total de fertilizantes produzidos para o mercado brasileiro (mil t) por ano. .. | 21 |
| Tabela 4. Classificação do solo a partir de sua VIB (Velocidade de Infiltração Básica do Solo) | 31 |
| Tabela 5. Teores de elementos totais expressos em percentagem (%) de óxidos contidos no metabasalto de acordo com sua composição granulométrica. Passo Fundo, 2018. ... | 37 |
| Tabela 6. Granulometria do calcário dolomítico caracterizado como tratamento F no Experimento 2. Passo Fundo, 2018. | 42 |
| Tabela 7. Textura do solo em diferentes profundidades amostradas. Passo Fundo, 2018. | 46 |
| Tabela A1. Resumo da ANOVA para as variáveis químicas do solo após a aplicação de doses crescentes de pó de metabasalto, avaliado em diferentes épocas e profundidades. Passo Fundo, 2018. | 77 |
| Tabela A2. Resumo da ANOVA para a variável Produtividade de soja, cultivada em solo submetido a crescentes doses de pó-se-metabasalto e avaliada em diferentes anos. Passo Fundo, 2018. | 80 |
| Tabela A3. Resumo da ANOVA para as variáveis de física do solo, retenção de água, infiltração e macroporosidade. Passo Fundo, 2018. | 81 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1. Disposição dos tratamentos utilizados no Experimento 1, em nível de campo. Passo Fundo, 2018 | 39 |
| Quadro 2. Disposição dos tratamentos utilizados no Experimento 2, em nível de campo. Passo Fundo, 2018 | 41 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al Alumínio

Al₂O₃ Óxido de alumínio

Al³⁺ Alumínio trocável

ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos

ANOVA Análise de variância

APLs Arranjos produtivos locais

As Arsênio

BaO Óxido de bário

°C Graus Celsius

Ca Cálcio

CaO Óxido de cálcio

Cd Cádmio

Cl Cloro

cmol_c kg⁻¹ Centimol de carga por kilograma

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CTCef Capacidade de troca de cátions efetiva

CT Pedras Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Jóias do Rio Grande do Sul

Cu Cobre

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fe(NH₄)₂(SO₄) Sulfato ferroso de amônio

Fe₂O₃ Óxido de Ferro

FRX Fluorescência de raios X

H⁺ Hidrogênio

HCl 0,01Mol Ácido clorídrico 1 molar

Hg Mercúrio

IN Instrução Normativa

K Potássio

KCl Cloreto de potássio
KCl 1M Cloreto de potássio 1 molar
K₂Cr₂O₇ Dicromato de potássio
K₂O Óxido de potássio
KPa Kilopascal
MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Matopiba Região Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
Mg Magnésio
MgO Óxido de magnésio
Mm milímetro
Mn Manganês
MO Matéria Orgânica
Ni Níquel
NA 5909 Cultivar de soja Nidera 5909
Na₂O Óxido de sódio
NaOH Hidróxido de sódio
NaPO₃ Hexametáfosfato de sódio
Nd₂O₃ Óxido de neodímio
P Fósforo
Pb Chumbo
pH Potencial hidrogeniônico
pH_{H20} Potencial hidrogeniônico em água
P₂O₅ Óxido de fósforo
SatB Saturação de bases
SiO₂ Óxido de silício
SO₃ Óxido de enxofre
SrO Óxido de estrôncio
STAMP Sustainability Assessment and Measurement Principles
TFSA Terra Fina Seca ao Ar
TSM Tampão Santa Maria
TiO₂ Óxido de titânio
UNB Universidade Nacional de Brasília
VIB Velocidade de infiltração básica
ZrO₂ Óxido de zircônio

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|--------------------------------------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 18 |
| 2.1. | <i>Legislação para uso de remineralizadores.....</i> | 18 |
| 2.2. | <i>Mercado de fertilizantes no Brasil.....</i> | 19 |
| 2.3. | <i>Minerais usados como remineralizadores e sua eficiência agrônômica.....</i> | 21 |
| 2.4. | <i>Sustentabilidade do uso da remineralização.....</i> | 24 |
| 2.5. | <i>Problemas ambientais ligados a exploração mineral de ametista.....</i> | 32 |
| 3. | MATERIAL E MÉTODOS.....ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. | |
| 3.1. | <i>Caracterização do local de estudo.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 3.2. | <i>Caracterização do remineralizador utilizado.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 3.3. | <i>Instalação dos experimentos a campo e amostragens.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 3.3.1. | Experimento 1..... | Erro! Indicador não definido. |
| 3.3.2. | Experimento 2..... | Erro! Indicador não definido. |
| 3.4. | <i>Avaliações.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 3.4.1. | Experimento 1..... | Erro! Indicador não definido. |
| 3.4.2. | Experimento 2..... | Erro! Indicador não definido. |
| 3.5. | <i>Análise estatística.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. | |
| 4.1 | <i>Experimento 1.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 4.2 | <i>Experimento 2.....</i> | <i>Erro! Indicador não definido.</i> |
| 4. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 35 |

1 INTRODUÇÃO

Os remineralizadores ou pós de rocha se tornaram passíveis de uso no Brasil a partir da lei 12.890 de dezembro de 2013 (BRASIL, 2013) que reconheceu os remineralizadores como insumos para a agricultura. Estabeleceu critérios de composição, estudos, rotulagem e granulometria para seu uso posteriormente com as Instruções Normativas 05/2016 e 06/2016, bem como limites de elementos tóxicos. Os remineralizadores são conceituados como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo”.

O uso de remineralizadores é de fundamental importância porque respeitam três importantes pilares da sustentabilidade: i). pela origem da rocha, naturalmente encontrada na região, apenas britada e moída, sem necessidade de ser submetida a processos industriais (pilar ambiental). ii) apresenta-se economicamente importante para a diminuição dos custos de fertilização das lavouras (pilar econômico). iii) agrega emprego e renda localmente na produção e distribuição do seu entorno (pilar social) (GÖRGEN *et al.*, 2011). Assim, o uso de remineralizadores justifica estudos de sua composição química, mineralógica e física, características e eficiência para uso na agricultura.

A presente dissertação compreende, além desta introdução, uma revisão da literatura sobre a legislação e mercado brasileiro de fertilizantes, uso de remineralizadores e sustentabilidade no uso de remineralizadores. O trabalho científico, intitulado “**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE LATOSSOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE PÓ DE METABASALTO**” relata uma performance após a aplicação de pó de metabasalto, resíduo da exploração de ametistas, como função remineralizadora de solo.

O Rio Grande do Sul responde por 50% de toda a produção de ametistas e ágatas do Brasil (SOUZA, 1996; MULINARI, 2011). Mensalmente são extraídas cerca de 400 toneladas destas pedras, sendo que a cidade de Ametista do Sul é a cidade com

maior número de garimpos (HARTMANN; SILVA, 2010). De mesmo modo esta atividade gera os rejeitos de metabasalto que torna-se passivo ambiental da atividade mineradora, mas com potencial de uso na agricultura como remineralizador.

Esse estudo possui o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de pó de metabasalto nas propriedades químicas e físico-hídricas do solo, além de testar o efeito sobre a produtividade da cultura da soja.

O presente estudo compreendeu dois experimentos distintos. Com o experimento 1 avaliou-se os efeitos que doses crescentes de pó de metabasalto podem produzir nos teores de nutrientes do solo, pH, CTC e índice TSM em duas safras de soja e cevada, com coletas de solo após os ciclos das culturas. Este experimento buscou observar a eficiência agrônômica do material. No experimento 2 avaliou-se os efeitos das crescentes doses do pó de metabasalto e calcário nas propriedades físico-hídricas do solo: infiltração e retenção de água no solo e macroporosidade do solo. Foram realizadas medições e coletas de infiltração e retenção de água em 3 épocas após a aplicação do pó de metabasalto e em uma época para macroporosidade do solo.

Se há alterações químicas do solo com o uso do pó de metabasalto como remineralizador, então maiores teores de macro e micronutrientes serão determinados na análise de solo após a aplicação de diferentes doses de pó de metabasalto via solo. Se a aplicação de pó de metabasalto apresenta respostas de produtividade em lavouras de soja, então maior produção por área será observada quando crescentes doses de pó de metabasalto forem aplicadas via solo. Se a aplicação do pó de metabasalto é considerada ambientalmente segura, baseado em propriedade físico-hídricas do solo, então alterações na taxa de infiltração, retenção de água e percentual de macroporos não serão observadas após a aplicação de doses crescentes de pó de metabasalto via solo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Legislação para uso de remineralizadores

A Legislação Brasileira para uso de pó de rocha ou remineralizador iniciou com a sanção da Lei 12.890 de dezembro de 2013. Esta lei alterou a lei 6.894 de 1980 que regulamentava os insumos passíveis de uso na Agricultura Brasileira. A Lei 12.890 estabeleceu o conceito de remineralizador: “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (BRASIL, 2013). Assim o remineralizador adquiriu a possibilidade de comercialização, inspeção e fiscalização por parte dos órgãos federais. Esta lei foi regulamentada pela IN 53/2013 estabelecendo critérios de pesquisa, rotulagem, fiscalização e outros atributos de insumos agrícolas em geral.

As IN 05/2016 e IN 06/2016 de março de 2016, vieram para regulamentar os pré-requisitos para que um remineralizador possa ser comercializado legalmente. Em seu Capítulo 4º, a IN 05/2016 estabelece requisitos mínimos para registro de remineralizadores, quais sejam:

I - em relação à especificação de natureza física, nos termos do Anexo I desta Instrução Normativa;

II - em relação à soma de bases (CaO, MgO, K₂O), deve ser igual ou superior a 9%(nove por cento) em peso/peso;

III - em relação ao teor de óxido de potássio (K₂O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso; e

IV - em relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão, valor conforme declarado pelo registrante.

O item I do referido capítulo refere-se a granulometria apresentada pelo material tendo em vista comportamento diferenciado no uso agrícola para diferentes tamanhos de partículas. Conforme Batista (2013), classifica-se em filler (passante peneira 0,3 mm), pó (passante peneira 2 mm) e farelado (passante em 4,8 mm).

Determina ainda em seu artigo 2º, elementos que não podem se apresentar em excesso no remineralizador e determina seus valores máximos:

I - em relação ao SiO₂ livre presente no produto, teor superior a 25% (vinte e cinco por cento) em volume/volume; e

II - em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto, teores superiores a:

- a) para Arsênio (As): 15 ppm;
- b) para Cádmio (Cd): 10 ppm;
- c) para Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e
- d) para Chumbo (Pb): 200 ppm.

A IN 06/2016 do MAPA estabelece todos os conceitos de produtor de remineralizador, armazenagem, rotulagem e amostragens. Determina ainda que cada remineralizador como produto único seja pesquisado em sua eficiência agrônômica, sendo conduzidos experimentos a campo ou em casa de vegetação. Devem ser em regiões representativas do cultivo da cultura, a qual será recomendado, em território nacional, em dois locais, em condições edafoclimáticas distintas e em duas safras, ou em quatro locais, em condições edafoclimáticas distintas e em uma safra.

2.2. Mercado de fertilizantes no Brasil

A Associação Nacional para a Difusão de Adubos (ANDA, 2017), relata a dependência do Brasil com relação à importação de fertilizantes. A Tabela 1 apresenta o total de fertilizantes entregues no Brasil nos últimos 11 anos e seu percentual de variação em relação ao ano de 2007. A Tabela 2 mostra a importação de fertilizantes pelo Brasil nos últimos 11 anos e seu percentual de variação em relação ao ano de 2007. A Tabela 3 apresenta a produção nacional de fertilizantes nos últimos 11 anos e seu percentual de variação em relação ao ano de 2007.

Embora as estatísticas de fertilizantes no Brasil apresentem percalços devido aos preços internacionais, câmbio e demais agentes que influenciem o mercado e

desconsiderando números de estoques e exportações, nota-se claramente a tendência de aumento na demanda. A demanda nacional por fertilizantes possui um crescente ao longo do período de 2007 a 2018, atingindo no último ano 39,9% a mais que o ano de 2007 (Tabela 1). Isso confirma e dá suporte a afirmativa sobre a crescente demanda nacional.

Tabela 1- Total de fertilizantes entregue no mercado brasileiro (mil t) por ano.

| Anos Fiscais | Total de fertilizantes entregue (mil t) | ¹ Variação (%) |
|-------------------|---|---------------------------|
| ² 2018 | 8.060 | - |
| 2017 | 34.438 | 139,9 |
| 2016 | 34.083 | 138,5 |
| 2015 | 30.201 | 122,7 |
| 2014 | 32.209 | 130,8 |
| 2013 | 30.700 | 124,7 |
| 2012 | 29.255 | 118,8 |
| 2011 | 28.326 | 115,1 |
| 2010 | 24.516 | 99,6 |
| 2009 | 22.400 | 91,0 |
| 2008 | 22.429 | 91,1 |
| 2007 | 24.608 | 100,0 |

¹Variação em relação ao ano de 2007. ²Até o mês de abril.
Fonte: ANDA (2018).

De mesmo modo a importação brasileira de fertilizantes cresceu 50,1%, trazendo preocupação constante em relação a dependência de países exportadores de matérias primas para o abastecimento interno (Tabela 2). Comparativamente, a produção nacional de fertilizantes tem nos últimos 11 anos um decréscimo (16,6%), assim aumentando nossa dependência de insumos vitais para a Agricultura Brasileira (Tabela 3).

Os resultados mostram ainda que em 2007, 39,8% da demanda interna de fertilizantes era advinda da produção nacional, enquanto que em 2017 essa contribuição foi reduzida para 23,7%. Isto indica uma grande dependência do Brasil pela importação de fertilizantes, justificando a pesquisa e prospecção de rochas nacionais de ocorrência local.

Tabela 2 - Total de fertilizantes importados pelo mercado brasileiro (mil t) por ano.

| Anos fiscais | Total de fertilizantes importados (mil t) | ¹ Varição (%) |
|-------------------|---|--------------------------|
| ² 2018 | 6.334 | - |
| 2017 | 26.305 | 150,1 |
| 2016 | 24.481 | 139,7 |
| 2015 | 21.087 | 120,2 |
| 2014 | 24.035 | 137,1 |
| 2013 | 21.618 | 123,3 |
| 2012 | 19.545 | 111,0 |
| 2011 | 19.851 | 113,2 |
| 2010 | 15.282 | 87,1 |
| 2009 | 11.020 | 62,8 |
| 2008 | 15.387 | 87,7 |
| 2007 | 17.529 | 100 |

¹Varição em relação ao ano de 2007. ²Até o mês de abril.

Fonte: ANDA (2018).

Tabela 3 - Total de fertilizantes produzidos para o mercado brasileiro (mil t) por ano.

| Anos fiscais | Total de fertilizantes produção própria (mil t) | ¹ Varição (%) |
|-------------------|---|--------------------------|
| ² 2018 | 2.477 | - |
| 2017 | 8.184 | 83,4 |
| 2016 | 9.040 | 92,1 |
| 2015 | 9.115 | 92,7 |
| 2014 | 8.817 | 89,8 |
| 2013 | 9.304 | 94,8 |
| 2012 | 9.722 | 99,0 |
| 2011 | 9.860 | 100,4 |
| 2010 | 9.339 | 95,1 |
| 2009 | 8.372 | 85,3 |
| 2008 | 8.878 | 90,4 |
| 2007 | 9.815 | 100 |

¹Varição em relação ao ano de 2007. ²Até o mês de abril.

Fonte: ANDA (2018).

2.3. Minerais usados como remineralizadores e sua eficiência agronômica

Os estudos dos minerais com função remineralizadora de solo são diversos e vêm merecendo estudos individualizados de sua composição e eficiência agronômica. Bamberg *et al.* (2013) trabalharam com granodiorito de rejeito de pedreira e constataram desempenho positivo deste material em experimento a campo para as culturas de milho

e trigo. Este material obteve 4,33% de K₂O, contribuindo como fonte deste nutriente primário.

Theodoro *et al.* (2013) trabalharam com os materiais kamafugito, basalto fresco, basalto intemperizado, micaxisto e rocha metamórfica hidrotermalizada nas culturas de milho, feijão, quiabo, alho e cenoura. Conforme demonstrado, os autores obtiveram diferentes resultados nas culturas pela diferente disponibilidade de nutrientes nos materiais, mas sempre positivo em relação a testemunha negativa. Quanto a caracterização química encontrada, o micaxisto e o kamafugito obtiveram destaque em potássio e cálcio, a rocha hidrotermalizada em P e Ca e os basaltos em Ca.

Em estudos com gnaiss, charmokito e esteatito, Mundstoch (2013) realizou análises de composição química e mineralógica de materiais oriundos de rejeitos do comércio de pedras ornamentais. Observou-se a diversidade de constituintes dos materiais, com reflexos na disponibilização às plantas, e destaque para o charmokito com Cu e esteatino com Ni e Mg (24,3% de MgO total). Isto corrobora a ideia de Leonardos *et al.* (2000) e Van Straaten (2006), de que a utilização de recursos locais abundantes, embora comuns, pode contribuir significativamente para tecnologias sustentáveis, e não dependendo apenas de rochas com altos teores de nutrientes e com distribuição mais restrita.

Silva *et al.* (2005), utilizaram dois pós de granito, residuo de serra do material de minas na Galícia, Espanha, sobre solos ácidos e avaliaram a composição mineralógica e granulométrica. Os autores obtiveram respostas positivas como corretivo ao solo incubado, com rápida ação. De modo semelhante, Raymundo (2013) utilizou granito residual de minas de serragem de mármore e obteve resposta positiva para aquele remineralizador como corretivo de solo, igualando-se com o efeito do calcário utilizado como testemunha, considerando a granulometria filler dos pós de rocha.

Grecco *et al.* (2013) utilizaram pós de rocha magnatito, gradiorito, dacito e basalto hidrotermalizado na cultura do milho, em casa de vegetação, sugerindo que a granulometria dos materiais usados deve ser ajustada para obter-se fornecimento mais

rápido ou lento às plantas, denotando que os pós tiveram efeito positivo na absorção de nutrientes pelas plantas e que a lenta disponibilização de nutrientes é benéfica.

Realizando estudo com as rochas sienito, nefelínico e glaucolita, Pessoa *et al.* (2015) avaliaram a eficiência em laboratório de matrizes orgânicas na solubilização de potássio dos remineralizadores, encontrando diferenças de solubilidade entre os materiais e incremento da solubilidade com o tempo de exposição, além de incremento das doses das matrizes orgânicas (ácido húmico, ácido cítrico e casca de café).

Estudando um flogopitito na Bahia, proveniente de rejeitos de garimpos de esmeralda, em condições laboratoriais, testando a solubilização de potássio, França *et al.* (2013) concluíram que embora a rocha possua 7% do nutriente, possui baixa solubilidade. Indica ainda maiores estudos do mesmo material para MgO, o qual possui em torno de 18% de teor total.

Friederichs *et al.* (2013) utilizaram-se do mineral denominado microclíneo como fonte de potássio (K), testado em casa de vegetação e moído naturalmente e termotratado. Testando várias doses dos materiais, os autores concluíram que o tratamento térmico do remineralizador aumentou a disponibilidade do K para as plantas.

O fonolito foi testado por Crusciol e Soratto (2013), como fonte de K para as culturas do arroz, feijão, milho e soja, e por Mancuso *et al.* (2013) para o café, indicando para todas essas culturas que esse remineralizador pode ser usado como fonte do nutriente. Mesmos resultados positivos foram encontrados com fonolitos por Franco *et al.* (2013) com laranja pera, e Duarte *et al.* (2013), com cana planta.

Trabalhado com metabasalto oriundo de rejeitos da extração de ametista no Rio Grande do Sul, Abreu *et al.* (2013), caracterizaram o material em sua composição química e mineralógica, considerando os teores de nutrientes encontrados com potencial para uso em práticas de rochagem. O mesmo material de basalto foi citado e utilizado por Dallacorte *et al.* (2015). Os autores observaram melhoria dos atributos químicos de solo e aumento de produtividade de pastagens nativas. Do mesmo modo, Muller (2015) na continuidade do estudo, observando o comportamento do remineralizador de basalto, conclui que há aumento de produtividade de trigo com seu uso.

Ramos *et al.* (2016) utilizou-se de um remineralizador de basalto amigdalóide e zeólitas para testar sua eficiência agronômica em eucalipto, em comparação com adubação mineral e orgânica, bem como estudaram sua composição mineral e química. Concluíram que, embora o remineralizador possua minerais que lhe dão potencial como condicionador de solo, a adição só do remineralizador não proporcionou aumento da produtividade, provavelmente pelo curto período de observação.

Ressalta-se o estudo realizado por Santos e Azevedo (2016) com basalto toleítico, sobre a intemperização dos minerais que ocorre no remineralizador em coluna de lixiviação de solo e posteriormente com plantas em vasos. Observaram, em ambos, o aumento da disponibilidade de cálcio, magnésio, sódio, silício e potássio.

O Rio Grande do Sul recebeu um estudo especial por parte da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na região do Escudo do Rio Grande do Sul. Após a realização desse estudo, essa região foi caracterizada como Potencial de Agrominerais (TONIOLO *et al.*, 2013). Também estão em curso estudos da Bacia do Paraná, Bacia Amazônica e região do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Matopiba).

No estudo realizado pela CPRM são citados os seguintes minerais catalogados no Rio Grande do Sul: carbonatito, fonolito, sienito, ardesito, gabro, herzburgito, lamprófito, olivina gabro, carbonato, barita, mármore, calcário calcítico, metabasalto, xisto magnésiano, wollastonita e xistos máficos. Esses materiais estão sendo estudados mais a fundo em suas composições e potencialidades para uso agrícola. No Rio Grande do Sul, o CPRM realizou levantamento na formação Serra Geral da Bacia do Paraná, encontrando os basaltos e as zeólitas como minerais de destaque. Nesse estudo são citados os minerais laumontita, esolecita, heulandita, estilbita-stellerita, esolecita-mesolita, calcita, dolomita e goetita, chabazita, calcedônia, celadonita e mordenita. Isto demonstra a diversidade de rochas passíveis de estudos e o grande potencial de utilização para a agricultura.

2.4. Sustentabilidade do uso da remineralização

Em nível mundial, a sustentabilidade tem merecido destaque e fomenta reflexões. Conforme Nascimento (2012), chuvas ácidas nos países nórdicos levaram a

Suécia, em 1968 a propor ao Conselho Econômico e Social das Nações Unidas uma conferência Mundial, resultando na reunião de Estocolmo (1972). Posteriormente a Reunião Rio-92, Protocolo de Kyoto, Agenda 21 e Rio +20, estabeleceram que o desenvolvimento, antes apenas associado à economia e crescimento dos países, também deveria discutir as dimensões sociais associadas à pobreza e dimensões ambientais associadas ao atraso dos países.

Em nível mundial, um dos marcos das discussões de sustentabilidade são as definições dos princípios de Bellagio, que norteiam os indicadores de sustentabilidade. Partindo de especialistas de diversos países em sustentabilidade, criou-se 10 princípios básicos que deveriam nortear as ações de desenvolvimento, chamada também de Bellagio STAMP (*Sustainability Assessment and Measurement Principles*). Posteriormente, um grupo de peritos realizou uma atualização dos princípios de Bellagio e restaram oito: 1) Visão orientadora; 2) Considerações ou elementos essenciais; 3) Escopo adequado; 4) Estrutura de indicadores; 5) Transparência; 6) Comunicação efetiva e eficaz; 7) Participação ampla e 8) Continuidade (PINTÈR *et al.*, 2012).

Assim, inicialmente definiram-se as três dimensões do desenvolvimento sustentável: os pilares ambiental, social e econômico, embora alguns grandes pensadores do assunto como Ignacy Sacks (2007) e Nascimento (2012), consideram várias outras dimensões.

A dimensão ambiental presume que devemos produzir e consumir de forma a garantir que os ecossistemas possam manter sua autorreparação ou capacidade de resiliência (NASCIMENTO, 2012; SANTOS *et al.*, 2014). A dimensão econômica supõe crescente eficiência da produção e do consumo com economia crescente de recursos naturais. A dimensão social supõe que todos os cidadãos tenham o mínimo necessário para uma vida digna (SANTOS; CANDIDO, 2013). Elkington (2012) confirmando e trabalhando os três pilares da sustentabilidade cria o termo “Triple Bottom Line: Profit - Planet – People” para reforçar a importância destes aspectos no desenvolvimento da sociedade com ênfase na preocupação das empresas.

A sustentabilidade também pode ter seu pilar político baseando-se no desenvolvimento social, ambiental e econômico, os quais passam necessariamente por decisões políticas e que apenas um campo político favorável irá oportunizar o desenvolvimento sustentável. Considera-se neste aspecto os embates políticos e as pressões políticas exercidas sobre os agentes políticos e governantes (PHILIPPI Jr, 2005; NASCIMENTO, 2012).

Ainda outro aspecto importante do desenvolvimento sustentável ou sustentabilidade é a dimensão cultural. O pensamento baseia-se na não mudança de padrão de consumo e no estilo de vida caso não ocorra uma mudança de valores e comportamentos. Pressupõe uma mudança intelectual e moral para estimular novas tecnologias (SACKS, 2004; NASCIMENTO, 2012).

Considerando-se as premissas enfocadas anteriormente e ressaltando os pilares Econômico, Social e Ambiental, Reis (2013) traz a importância da sustentabilidade para a agricultura e mais precisamente para a pesquisa agrícola nacional. Reafirma a sua preocupação com os rumos da pesquisa quando se leva em consideração a rentabilidade do produtor, a manutenção familiar e a preservação ambiental pelo uso de aplicações de insumos químicos. Cita ainda importantes empresas agrícolas que possuem em suas missões destaques no desenvolvimento e na sustentabilidade.

É possível realizar a medição dos indicadores de sustentabilidade em diversos agronegócios. Realizou-se a medição dos indicadores de sustentabilidade ambiental do plantio direto de hortaliças com o uso do programa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) chamado AmbiTecAgro. Este programa adaptável a outras atividades agrícolas pode ser utilizado para medir em números (indicadores) a sustentabilidade. Isto denota a importância do assunto no momento (LIMA *et al.*, 2014) e a preocupação da pesquisa agrícola nacional com as tecnologias sustentáveis.

O uso da remineralização ou rochagem deve obrigatoriamente atender aos pilares e princípios indicadores da sustentabilidade, assim como as demais práticas na nossa Agricultura. Reforçando as bases já citadas, um grupo de pesquisadores de formação em Geologia e Agronomia, especialistas em rochagem, reforçam a

sustentabilidade do uso dos remineralizadores ou pós de rocha na agricultura brasileira (ASSIS *et al.*, 2013). Suportam suas posições baseados no ganho ambiental, diminuição de custos, constituição de um fertilizante mineral natural e com ganho econômico, pois seu uso diminuiria a pressão da importação de fertilizantes que o Brasil é dependente.

Preocupados com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em países tropicais, Theodoro *et al.* (2012) relatam o intercâmbio de pesquisadores de Camarões, Angola, África do Sul e Brasil para a troca de experiências no intuito do desenvolvimento em cada país as suas alternativas em rochagem. Relata que embora o Brasil esteja mais desenvolvido nas pesquisas desta área e os países possuam modelos de agricultura diferentes, ambos devem ampliar suas pesquisas para o conhecimento dos materiais locais.

Os APL's (Arranjos Produtivos Locais) de base mineral são definidos como “aglomerações de empresas, localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais, como governo, associações empresarias, instituições de crédito, ensino e pesquisa” (MDIC, 2011; SOUZA *et al.*, 2011). Em MDIC (2011), relatam-se exemplos trabalhados no Brasil, coloca as dimensões dos APL's de base mineral para a Sustentabilidade e ressalta a Sustentabilidade dos APL's, explicando as suas dimensões: territorial, econômica, social, cultural, ecológica, política, tecnológica, global, institucional e sistêmica.

Os APL's de base Mineral obtiveram a partir de 2007 maior atenção com a criação da Rede APL Mineral formada por instituições governamentais do Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério das Minas e Energia, Ministério da Integração Nacional e Ministério da Agricultura (REDE APL, 2017). O intuito é de apoiar projetos, seminários, congressos e trocas de experiências de APL.

Ainda Görden (2011), relata que o APL de um remineralizador do Sudoeste Goiano trás para a discussão importância social, econômica e ambiental destes empreendimentos no seu entorno.

No Rio Grande do Sul encontra-se a maior produção de pedra ametista e ágata do Brasil. Em torno de 50% do volume total de gemas produzidas e 25% do total de exportações brasileiras advém dessa região, totalizando aproximadamente 400 toneladas por mês dos dois minerais (SOUZA, 1996; MULINARI, 2011).

Essa produção está localizada na mesorregião do Alto Uruguai, norte do Rio Grande do Sul, nos municípios de Frederico Westphalen, Iraí, Alpestre, Rodeio Bonito, Planalto e principalmente, Ametista do Sul, esse o maior explorador do estado (HARTMANN; SILVA, 2010). Na região de abrangência desses municípios há aproximadamente a ocorrência de 300 garimpos, onde a ametista é extraída da rocha inalterada, em galerias horizontais subterrâneas que atingem até 100 metros de comprimento (MARKOSKI, 2006).

Nesse sentido, existe um passivo ambiental (resíduos de basalto) que deverão ser avaliados quanto ao uso agrícola nos aspectos químicos e físico hídricos do solo após aplicação. Estudos quanto às modificações na química do solo decorrentes da aplicação de pó de metabasalto são escassos.

Em estudos existentes quanto a estrutura química do pó de metabasalto para conhecimento de seu comportamento, Dalacorte *et al* (2017) descrevem a mineralogia do pó de metabasalto que ocorre em Ametista do Sul. Confirmaram a presença de esmectita, um argilomineral do tipo 2:1 expansível. Este tipo de argilomineral composto de duas camadas de tetraedros de Si e uma lâmina de octaedro de Si permite a entrada de água e solutos nas entrecamadas. O trabalho também traz a determinação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do pó de metabasalto e a capacidade de sorção de cobre e zinco quando comparado com outros materiais, o que lhe determina a sua reatividade quando em solução. O estudo mineralógico do material a ser utilizado, juntamente com sua composição química nos ajuda a clarear o seu potencial agronômico.

Quanto a solubilidade de nutrientes úteis para a agricultura, Korchagin (2018), estudando a solubilidade de elementos químicos contidos no metabasalto obteve extração eficiente para cálcio, magnésio e fósforo e solubilização baixa para potássio e sódio. Isto indica que nutrientes potenciais que o pó de metabasalto pode disponibilizar

quando aplicado ao solo. Em teste a campo com produção de pastagens nativas com diferentes doses de pó de metabasalto, o pesquisador obteve tendência de redução dos teores de Alumínio e acidez potencial do solo com o aumento das doses aplicadas, corroborando as equações determinadas por Alleoni e Melo (2009).

Quanto a eficiência agronômica, Korchagin (2018) concluiu que a concentração dos principais elementos nutrientes contidos no pó de metabasalto pode suprir as necessidades das plantas.

Theodoro *et al.* (2013) testaram a disponibilização de nutrientes do pó de metabasalto (rocha metamórfica hidrotermalizada), bem como demais materiais como remineralizadores em solo incubado. Obteve resposta positiva de disponibilização dos nutrientes cálcio e fósforo para as plantas e de cálcio, concluindo que os materiais possuem potencial agronômico para uso como remineralizadores. Grecco (2013), testando vários outros pós de rocha de ocorrência regional, obteve resposta positiva na absorção de nutrientes pelas plantas de milho cultivadas em vasos. Concluiu que se deve ajustar a granulometria de cada material para que esta disponibilização de nutrientes seja mais rápida ou lenta, considerando que a disponibilização mais lenta seja a mais benéfica ao sistema.

Estudos aplicando pó de basalto são mais comuns do que com pó de metabasalto. O estudo de solubilização de basalto em solo incubado em casa de vegetação, conduzido por Korndörfer *et al.* (2018), obteve solubilidade de cálcio superior à testemunha negativa e solubilidade de magnésio superior à testemunha negativa e o material Wolastonita (padrão), tanto em solo argiloso como em solo arenoso. Ainda, a fonte de basalto provocou elevação do pH em ambos os solos incubados.

Em trabalho desenvolvido testando quatro amostras diferentes de pó de basalto no norte do Rio Grande do Sul, Nunes (2012) determinou o predomínio dos minerais labradonita, quartzo, augita, feldspato alcalino e esmectita, respectivamente, em grau de importância. Obteve CTC de 1,31 meq.g⁻¹, concluindo que o material possui potencial para trocas de nutrientes com o meio aquoso. A determinação do potencial zeta das partículas mostrou uma densidade de cargas superficiais negativas, indicando uma

boa propensão para adsorção preferencial de íons H, podendo viabilizar as correções de pH do meio. Ocorreu elevação de pH em todas as amostras estudadas. A disponibilização de nutrientes para o meio foi observada para fósforo, potássio e enxofre e micronutrientes cobre, manganês e zinco. O Alumínio teve diminuição da disponibilização no meio. No estudo da variação de pH, o uso de pó de basalto determinou elevação do pH para todas as amostras estudadas com potencial para melhorar as condições de acidez de solos cultiváveis. Nesse trabalho, o uso de pó de basalto de diferentes amostras obteve desenvolvimento de plantas de milho superior quando comparadas com testemunha sem uso do material, independente da dose utilizada, concluindo que os materiais testados possuem potencial de uso agrícola para esta cultura.

Quanto aos atributos físico-hídricos influenciados pela utilização de pós de rocha, os estudos são praticamente inexistentes. Entretanto, avaliar parâmetros físico-hídricos do solo é também fundamental para a sustentabilidade ambiental de sistemas agrícolas.

A água é componente fundamental de dinâmica da natureza, impulsiona todos os ciclos, sustenta a vida e é o solvente universal. Sem a água, a vida na Terra seria impossível (TUNDISI, 2003). Ela é o recurso natural mais importante e participa e dinamiza todos os ciclos ecológicos. Os principais processos componentes do ciclo da água são: a evaporação, a precipitação, a transpiração, a percolação, a infiltração e a drenagem. Tundisi (2003) propõe um gerenciamento integrado dos recursos hídricos com uma interação entre o ciclo hidrológico e o denominado novo ciclo hidrosocial de grande dimensão e impacto ecológico e econômico. Constata-se a interdependência entre os componentes do sistema: biodiversidade, agricultura, usos do solo, cobertura vegetal, ciclo de nutrientes, impactos das mudanças globais no clima da Terra e recursos hídricos.

A dificuldade da infiltração de água nos solos, normalmente potencializam outros processos como o deflúvio superficial, que abastecerão pequenos riachos a jusante. Esta drenagem das águas das áreas rurais ou urbanas levam consigo resíduos de defensivos que conforme as concentrações encontradas e as características da molécula

podem afetar as biotas dos ambientes aquáticos, especialmente para peixes (TIERNEY, SEKELA, COBBLER, XHABIJA & GLEDHILL, 2011).

Conforme Denardin et al. (2005), o Sistema de Plantio Direto predominante na região Sul do Brasil interfere nos fluxos de energia e de matéria, principalmente no ciclo hidrológico, o que exige que a atividade agrícola seja considerada no âmbito da bacia hidrográfica. Especificamente, em se tratando de infiltração de água em solos agrícolas, Silva *et al.* (2009) relatam que a infiltração de água no solo em plantio direto é baixa, o que pode influenciar negativamente a produção agrícola.

Existem vários métodos de análise de atributos físicos do solo no intuito de identificar a compactação e dificuldades de infiltração de água. Coelho *et al.* (2000), comparando os métodos de infiltrômetros de anéis concêntricos, infiltrômetro de anel único e infiltrômetro de aspersão, descreve que embora gerem valores diferentes para Velocidade de Infiltração Básica do Solo (VIB), possuem utilizações diferentes e que os infiltrômetros de anéis têm vantagem pela praticidade do manuseio.

Conforme descrito em Manual de Irrigação (BERNARDO *et al.*, 2006), tem-se uma tabela de classificação de VIB (Tabela 4) como parâmetro das Curvas de infiltração de água no solo.

Tabela 4- Classificação do solo a partir de sua VIB (Velocidade de Infiltração Básica do Solo)

| Tipos de solo | VIB (cm/h) |
|------------------------|-------------------|
| Solo de VIB muito alta | >3,0 |
| Solo de VIB alta | 1,5 - 3,0 |
| Solo de VIB média | 0,5 - 1,5 |

A aplicação de calcário no solo tem as finalidades de neutralização do alumínio tóxico e do fornecimento de cálcio e magnésio para o solo. Sendo um pó de rocha calcítica, espera-se que o calcário com granulometria semelhante e em doses aplicadas semelhantes ao pó de metabasalto possa influir também nas características físico-hídricas do solo, interagindo com a porosidade, alterando a infiltração e retenção de água no solo. Em estudo de revisão, Prado (2003) relata que a calagem cria ambiente

favorável à dispersão de argila, que por eluviação torna possível a obstrução de poros em camadas inferiores, modificando o movimento de água no solo. Conclui que os solos com aplicação de calcário podem tornar-se suscetíveis à degradação física.

Em estudos de características físicas do solo, Bertollo (2014) testando gessagem e calagem em Latossolo vermelho sob Plantio Direto, concluiu que estas práticas alteraram as propriedades físicas do solo, diminuíram a macroporosidade e porosidade total e aumentaram a resistência a penetração. Ocorreu influência na agregação do solo em doses crescentes aplicadas de calcário. Nesse sentido, pode-se esperar que a aplicação de pó de metabasalto possa interferir na porosidade e na retenção de água do solo com reflexos na infiltração de água.

2.5. Problemas ambientais ligados a exploração mineral de ametista

Devido à importância e complexidade da extração mineral, em 29 de janeiro de 1940, foi criado o Código de Mineração. Essa norma direciona e disciplina, em nosso país, tudo que diz respeito a extração mineral e traz algumas definições referentes ao estudo do assunto, como jazida, mina e lavra (BRASIL, 2003).

O art. 4.º considera jazida “toda massa individualizada de substância mineral ou fóssil, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, e que tenha valor econômico”, “mina é a jazida em lavra, ainda que suspensa”. E lavra segundo o art. 36 é “o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas” (BRASIL, 2003).

A extração mineral tem representatividade econômica e financeira em todo o país, o que se reflete na geração de emprego, produção de matéria-prima para artesanatos e indústrias. Porém, para chegar a seu resultado final, produz consequências ao meio ambiente e aos trabalhadores das minas (MULINARI, 2011).

Quando a exploração é realizada sem técnicas adequadas e sem controle, origina a degradação ambiental, como os desmatamentos, perda de fertilidade do solo,

erosão, assoreamento dos rios e geração de grandes quantidades de resíduos, os quais ficam depositados em locais que prejudicam a natureza (MULINARI, 2011). Trabalhadores que estão diretamente envolvidos no processo de extração mineral estão expostos a efeitos lesivos à sua saúde, por manipularem substâncias nocivas (explosivos) e poeira mineral que afetam as vias respiratórias. O órgão mais atingido é o pulmão, principalmente em trabalhadores de minas subterrâneas que estão expostos à poeira de sílica (quartzo, SiO₂ cristalizada) (RAMAZZINI, 2000).

Vale ressaltar que impacto ambiental é qualquer modificação relevante das características ambientais resultantes das atividades humanas, sendo elas positivas ou negativas (BRAGA, 2009). De acordo com o art. 1.º da Resolução do CONAMA 1/1986, entende-se por impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais.

Dessa forma, os impactos ambientais de uma extração mineral são diversos. De acordo com Mulinari (2011), os recursos hídricos são tomados por partículas sólidas advindas do processo de beneficiamento e infra-estrutura, poluindo as águas; a geologia da área é danificada após a abertura da cava modificando de forma brusca o relevo, podendo causar erosões, voçorocas e assoreamentos; as vias de acesso alteram gravemente a permeabilidade do solo; a vegetação e a fauna da área podem ser perdidas; a qualidade do ar é alterada, provocada por veículos pesados e leves que circulam na empresa, e no desmonte de rocha, onde partículas sólidas finas desprendem-se formando uma nuvem de poeira, alastrando-se a uma grande distância.

A conscientização das pessoas envolvidas na exploração mineral, considerando o cenário de escassez de recursos naturais é de extrema importância e é dever de todos os interessados e envolvidos ter consciência e, através da ciência e seus instrumentos, permitir o desenvolvimento sustentável, de modo que se consiga ser

economicamente lucrativo, ambientalmente correto e socialmente responsável (HARTMANN; SILVA, 2010).

Tratando-se de Ametista do Sul, estado do Rio Grande do Sul, as áreas degradadas prejudicam e causam transtornos ao tráfego rodoviário da região. Ainda acarretam prejuízos à ocupação urbana próxima, devido a algumas minas localizarem-se no subsolo da cidade; e considerando a forma estética, impacta diretamente sobre os aspectos visuais da cidade, resultantes dos altos volumes de rochas, solos movimentados, e depósitos de resíduos localizados nas entradas de garimpos e encostas dos morros (MULINARI, 2011).

Para a superação da questão política ambiental e apresentação de possibilidades de gerar receitas, aproveitando adequadamente os bens ambientais, o objetivo do trabalho é propor uma forma de reutilizar entulhos produzidos na exploração mineral sob a forma de remineralizadores de solo. A aplicação de ações não se limita apenas a Ametista do Sul, mas também às áreas que possuem problemas com a destinação de resíduos da exploração mineral, geralmente caracterizado como rochas provenientes de derrame basáltico, como nesse caso de Ametista do Sul, o metabasalto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de pó de metabasalto em cobertura no solo afeta os teores de MO.

A aplicação de doses crescentes do pó de metabasalto não influencia os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, manganês, índice TSM, CTC efetiva, pH e saturação de bases dentro dos períodos avaliados.

Em profundidade, a aplicação do pó de metabasalto não influencia os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, manganês, índice TSM, CTC efetiva, pH e saturação de bases em latossolo.

As doses crescentes de pó de metabasalto aplicadas ao solo não alteram a produtividade de grãos de soja.

As aplicações de pó de metabasalto não afeta negativamente a infiltração de água no solo, a retenção de água e a macroporosidade do solo

Esses resultados indicam que a aplicação de pó de metabasalto apresenta eficiência contrastante entre as variáveis químicas, enquanto as variáveis físicas não são afetadas, o que sugere uma sustentabilidade ambiental do uso dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. T.; BORTOLUZZI, E. C.; HARTMANN, L. A.; SILVA, J. T. Rochagem de solos agrícolas empregando-se resíduos da indústria extratora de geodos de ametistas e ágatas, Rio Grande do Sul. In: **Anais Congresso Brasileiro de Rochagem**, 2, Minas Gerais. p. 230-236, 2013.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades Físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetados pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 295-300, 2000.
- ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. Química e Mineralogia do Solo. **SBCS**, Viçosa, 2009.
- ANDA, **Associação Nacional para Difusão de Adubos** (2017). Estatísticas > Indicadores. <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>>, acesso em 06 jun. 2018.
- ASSIS, L.B.; *et. al.* Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa e sustentável. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013, p. 125-132.
- BAMBERG, A. L.; *et.al.* Desempenho agrônômico de fontes minerais e orgânicas de nutrientes para as culturas de milho e trigo. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 24-31.
- BATISTA, N.T.F.; Uso de pó de rocha como condicionador de solos e fertilizante em cultura de cana-de-açúcar. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 58-64.
- BERGMANN, M.; *et.al.* Basaltos amigdaloides à zeolitas da formação Serra Geral da bacia do Paraná: potencial para uso agrônômico. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 168- 180.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BERTOLLO, A. M. Propriedades físicas de um latossolo após calagem, gessagem em manejo de solo. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente. Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
- BRAGA, R. **Instrumentos para a gestão ambiental e de recursos hídricos**. Recife, PE. Ed. Universitária da UFPE, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.890**, de 10 de dezembro de 2013 - Planalto. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm. Acesso em: 20 de fev 2017.

CARVALHO, A.M.X., DELIBERALI, D.C., COSTA, M.D. & CARDOSO, I.M. Plantas, micorrizas e microbiota do solo na disponibilização de nutrientes de pós de rocha. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p.13-23.

CELLA, D.; ROSSI, M.C.L. ANÁLISE DO MERCADO DE FERTILIZANTES NO BRASIL. **Revista Interface Tecnológica**, v. 7, n. 1, p. 10, jul. 2010.

COELHO, R. D.; MIRANDA, JH de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 137-141, 2000.

CONAMA. Resolução CONAMA Nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>, Acesso em 25 de julho de 2018.

CRUSCIOL, C.A.C. & SORATTO, R.P. Eficiência de rocha fonolito moída como fonte de potássio para as culturas do arroz, feijão, milho e soja. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 327-337.

DALACORTE, L. Sorção de cobre e zinco em pó de metabasalto e em argilominerais de referência. 2017. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

DALACORTE, L.; et.al.. Componentes da acidez do solo e produção de pastagem em campo nativo submetido à aplicação de pó-de-basalto hidrotermalizado. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Natal-RN, ago 2015.

DENARDIN, J. E. et al. Manejo de Enxurradas em Sistema de Plantio Direto. **Fórum Estadual de Solo e Água**, Porto Alegre, 2005.

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

FERNANDES, F. R. C., ENRIQUEZ, M. A. R. da S & ALAMINO, R. C. J. Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. V.II. 180p. In: **Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura**.

FRANÇA, S.C.A.; SILVA, A.A.S. & RONCONI, C.M.M Estudo da cinética de liberação de potássio contido no flogopitito da Bahia. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 200-211.

FRANCHINI, *et al.* Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. **Documentos**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p..

FRANCO, D.; *et.al.* Avaliação do desempenho do fonolito via mineral em laranjeiras adultas. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 321-326.

FRIEDERICHS, A. Pós de rocha como fontes de potássio para uso agrícola em argissolos vermelhos. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 351-378.

GÖRGEN, C. A.; *et.al.* **Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura**. 2011 . Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1177/Arranjo%20Produtivo%20Local%20de%20base.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 de fev, 2017

GRECCO, M. F.; *et.al.* Efeito de rochas moídas e torta de tungue sobre a concentração e acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de milho (*Zea mays*). In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 101-108.

HARTMANN, L.; SILVA, J. T. da. **Tecnologias no Setor de Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia/IBGE**, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3 . ed. Rio de janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

KORCHAGIN, J. Critérios mineralógicos, químicos e físicos para uso agrônomo de pó-de-basalto hidrotermalizado no sul do Brasil. 2018. 171f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

KORNDÖRFER, G. H. & PEREIRA, H. S. Teste de incubação do fertilizante Andretta contendo silício. 2018. 14f. **Laudó** – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

LEONARDOS, O. H.; THEODOROS, S. H. & ASSAD, M.I. Remineralization for sustainable agriculture: atropical perspective from Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 56 p 3-9, 2000.

LIMA, C. E. P. **Avaliação de impactos ambientais com o Ambitec-Agro**: estudo de caso do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2014.

MANCUSO, M.A.C; SORATTO, R.P.; PALHANO, M.G. & CRUSCIOL, C.A.C, Rocha fonolito moída como fonte de potássio para cultura do café arábica. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem** Minas Gerais, 2013 p. 338- 350.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N° 5 DE 10/03/2016 - Federal - LegisWeb1**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317444>. Acesso em: 20 de fev, 2017.

_____. **Instrução Normativa N° 6 DE 10/03/2016 - Federal - LegisWeb**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317445>. Acesso em: 20 de Fev, 2017.

MARKOSKI, P. R. **Avaliação de imagens do sensor ASTER para caracterização e mapeamento de rejeitos de garimpos de ametistas**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento/UFRGS; 2006. 70 p.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Arranjos Produtivos Locais - APLs**. Disponível em: www.mdic.gov/sitio/interna.php?areas=2&menu=300. Acesso em: 28 fev 2017.

MULINARI, M. **Análise do processo de produção da extração de pedras preciosas visando alternativas rentáveis e ambientalmente eficazes**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/UFSM; 2011. 80 p.

MULLER, R., *et.al*. Produtividade de trigo em função de doses de pó-de-basalto hidrotermalizado. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Natal-RN, ago 2015.

NASCIMENTO, E.P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**. USP, São Paulo-SP, n. 26, p 51-62, 2012

NUNES, J. M. G. Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem [manuscrito]. / Jéssica Maria Gregory Nunes. – 2012. 94 f.: il.; 30 cm.

PACHECO, L. P. *et al*. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E. MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n.2, 2008.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PESSOA, R.S.; SILVA, C.A.; MORETTI, B.S.; FURTINI NETO, A.E.; INDA, A.V. & CURI, N. Solubilization of potassium from alternative rocks by humic and citric acids and coffee husk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, p 553-564, 2015.

PHILLIPPI Jr., A.; BRUNA, G. C.; SILVEIRA, V. F. Políticas públicas e Desenvolvimento Sustentável. In: **Curso interdisciplinar de direito ambiental**. USP, Faculdade de Direito, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. Barueri – SP, Cap 21, p. 789 – 810, 2005.

PINTÉR, L. *et al.* Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 20-28, 2012.

PRADO, R. de M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: Revisão de literatura. **Revista de Biociência**, v. 9, n. 3, p. 7-16, 2003.

RAIMUNDO, V. *et.al.* Correção de acidez de solo utilizando resíduos da indústria de rochas ornamentais. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013 p. 115-124.

RAMAZZINI, B. **As doenças dos trabalhadores**. 3. ed. Tradução de Raimundo Estrela. São Paulo: FUNDACENTRO, 2000.

RAMOS, C.G., SÁ, T.C.; DALMORA, A. C.; SCHNEIDER, A.H. & KAUTZMANN, R.M. Avaliação de horizontes amigdaloides com zeólitas de pedreira de basalto como remineralizador de solos. **X Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre – RS, out 2016.

REDE APL Mineral. Disponível em: <http://www.redeaplmineral.org.br/sobre-a-rede-1/a-rede-atualizado/>. Acesso em: 28 de Fev, 2017.

REIS, E. M. Ciência, Pesquisa, Tecnologia Agrícola e Desenvolvimento. In: Cap. 1. **Indicadores do Momento para a aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças nas culturas da soja e do trigo**. 2. ed. Passo Fundo: Berthier, 2013.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; SOUZA, L. F.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes de nutrientes para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 891-897, 2010.

SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: **Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável**: Ed. Brasiliense, 2004, p.29-56.

SANTOS, C. F.; SIQUEIRA, E. S.; ARAÚJO, I T & MAIA, Z.M.G. A agroecologia como perspectiva de sustentabilidade na agricultura familiar. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 33-52, 2014.

SANTOS, J. G. & CÂNDIDO, G. A. Sustentabilidade e Agricultura Familiar: um estudo de caso em uma associação de agricultores rurais. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 70-86, 2013.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTI, Z. Atributos químicos de solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SILVA, M.T.B.; HERMO, B.S.; GARCIA-RODEJA, E. & FREIRE, N.V. Reutilization of granite powder as na amendment and fertilizer for acid soils. **Chemosphere**, v. 61, p. 993 – 1002, 2005.

SILVA, R.C. & AZEVEDO, A.C. **Intemperismo de minerais de um remineralizador**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Tese de doutorado. Piracicaba-SP, 2016. 183p.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M, REINERT D.J. & BORTOLUZZI E.C. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two brazilian oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1097-1104, 2009.

SOUZA, F.P. *et al.* Efeito da Aplicação do pó de rocha na recuperação de uma pastagem cultivada. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Minas Gerais, 2013. p.275-281.

SOUZA, J. C. **Industrialização de ametista no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Escola de Engenharia/UFRGS; 1996. 191 p.

SOUZA, K.V.; TEIXEIRA, N.S.; LIMA, M.H.M.R. & BEZERRA, M.S. Os arranjos produtivos locais: APL de base mineral e a sustentabilidade. **APL's - Recursos Minerais Sustentabilidade Territorial**. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. p. 01-14, v. 2 , 2011

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre: CQFS-RS/SC, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANCELO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. **Boletim técnico 5**, 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

THEODORO, S. H. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem.** Minas Gerais, 2013 p. 32-41.

THEODORO, S.H. The Importance of a Stonemeal Technological Network for Sustainability in Tropical Countries. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v. 5, n. 6, p. 1390- 1407, 2012.

TIENEY, K. B; SEKELA, M. A.; COBBLER, C. E., XHABIJA, B. & GLEDHILL, M. Evidence for Behavioral preference toward environmental concentrations of urban-use herbicides in a model adult fish. University of Alberta. Canada. 10 pp. 2011.

TONIOLO, J.A. Potencial de agrominerais do Escudo do Rio Grande do Sul. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem.** Minas Gerais, 2013. p. 141-148.

TUNDISI, J. G. Ciclo Hidrológico e Gerenciamento Integrado. *Revista Ciência e Cultura.* v. 55. Ano 4, São Paulo. **Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.** 2003.

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

VIOLA, R *et al.* Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.

WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of the Degtjarref method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.

APÊNDICES

Apêndice A.Tabelas

Tabela A1. Resumo da ANOVA para as variáveis químicas do solo após a aplicação de doses crescentes de pó de metabasalto, avaliado em diferentes épocas e profundidades. Passo Fundo, 2018.

| pH | | |
|-----------------------------|----------------|----------------------|
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 1,029 | <0,0001* |
| Profundidade | 5,906 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 0,174 | 0,0636 ^{ns} |
| Dose | 0,158 | 0,0886 ^{ns} |
| Época x Dose | 0,031 | 0,9090 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,018 | 0,9824 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 0,013 | 0,9999 ^{ns} |
| CV (%) | 5,34 | |
| Índice TSM | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 0,644 | <0,0001* |
| Profundidade | 4,95 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 0,071 | 0,2724 ^{ns} |
| Dose | 0,183 | 0,0121* |
| Época x Dose | 0,013 | 0,9804 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,008 | 0,9959 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 0,012 | 0,9994 ^{ns} |
| CV (%) | 4,24 | |
| Fósforo | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 71,347 | 0,1186 ^{ns} |
| Profundidade | 6906,554 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 70,218 | 0,0806 ^{ns} |
| Dose | 32,824 | 0,4112 ^{ns} |
| Época x Dose | 7,252 | 0,9866 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 15,104 | 0,8821 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 16,52 | 0,9996 ^{ns} |
| CV (%) | 53,23 | |
| Potássio | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 14590,5 | <0,0001* |
| Profundidade | 237210,9 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 2875,2 | 0,0040* |
| Dose | 2804,1 | 0,0047* |
| Época x Dose | 525,29 | 0,6532 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 208,07 | 0,9666 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 151,47 | 0,9995 ^{ns} |
| CV (%) | 30,69 | |

Tabela A1. Continuação.

| Alumínio | | |
|-----------------------------|----------------|----------------------|
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 0,0399 | 0,8554 ^{ns} |
| Profundidade | 36,0725 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 0,0284 | 0,9784 ^{ns} |
| Dose | 0,5364 | 0,0853 ^{ns} |
| Época x Dose | 0,0425 | 0,9948 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,069 | 0,9744 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 0,0244 | 1,0000 ^{ns} |
| CV (%) | 61,59 | |
| Cálcio | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 2,0597 | 0,058 ^{ns} |
| Profundidade | 233,7326 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 1,4325 | 0,0948 ^{ns} |
| Dose | 1,6999 | 0,0533 ^{ns} |
| Época x Dose | 0,3617 | 0,8451 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,271 | 0,9274 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 0,1066 | 0,9999 ^{ns} |
| CV (%) | 16,06 | |
| Magnésio | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 15,239 | <0,0001* |
| Profundidade | 19,4011 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 0,0199 | 0,9734 ^{ns} |
| Dose | 0,3189 | 0,1003 ^{ns} |
| Época x Dose | 0,1531 | 0,4738 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,0745 | 0,8783 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 0,0937 | 0,8894 ^{ns} |
| CV (%) | 16,17 | |
| Manganês | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 1352,803 | <0,0001* |
| Profundidade | 2291,891 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 509,303 | <0,0001* |
| Dose | 61,572 | 0,3113 ^{ns} |
| Época x Dose | 62,128 | 0,2941 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 21,316 | 0,9082 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 19,05 | 0,9861 ^{ns} |
| CV (%) | 39,37 | |

Tabela A1. Continuação.

| Matéria Orgânica | | |
|-----------------------------|----------------|----------------------|
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 0,0488 | 0,4326 ^{ns} |
| Profundidade | 47,155 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 0,166 | 0,0263* |
| Dose | 0,284 | 0,0011* |
| Época x Dose | 0,078 | 0,2275 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,1201 | 0,0434* |
| Época x Profundidade x Dose | 0,0422 | 0,7598 ^{ns} |
| CV (%) | 6,83 | |
| CTC efetiva | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 13,22 | <0,0001* |
| Profundidade | 232,276 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 1,479 | 0,1068 ^{ns} |
| Dose | 1,303 | 0,1508 ^{ns} |
| Época x Dose | 0,583 | 0,6306 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 0,454 | 0,7775 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 0,276 | 0,9879 ^{ns} |
| CV (%) | 9,96 | |
| Saturação de bases | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Época | 989,706 | <0,0001* |
| Profundidade | 14833,638 | <0,0001* |
| Época x Profundidade | 56,1801 | 0,6325 ^{ns} |
| Dose | 243,848 | 0,0294* |
| Época x Dose | 22,196 | 0,9789 ^{ns} |
| Profundidade x Dose | 10,455 | 0,9984 ^{ns} |
| Época x Profundidade x Dose | 11,386 | 1,0000 ^{ns} |
| CV (%) | 18,87 | |

*significativo a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$); ns: não significativo.

Tabela A2. Resumo da ANOVA para a variável Produtividade de soja, cultivada em solo submetido a crescentes doses de pó-se-metabasalto e avaliada em diferentes anos. Passo Fundo, 2018.

| Fator de Variação | Quadrado Médio | Pr>F |
|-------------------|----------------|----------|
| Ano | 2402764,3 | 0,0184* |
| Dose | 246502,3 | 0,6226ns |
| Ano x Dose | 290931,5 | 0,5468ns |
| CV (%) | | 13,34 |

*significativo a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$); ns: não significativo.

Tabela A3. Resumo da ANOVA para as variáveis de física do solo, retenção de água, infiltração e macroporosidade. Passo Fundo, 2018.

| Retenção de água | | |
|----------------------------|----------------|----------------------|
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Manejo | 6,99 | 0,0426* |
| Época | 66,27 | <0,0001* |
| Tensão | 107,48 | <0,0001* |
| Manejo x Época | 5,2 | 0,0736 ^{ns} |
| Manejo x Tensão | 0,32 | 0,9901 ^{ns} |
| Época x Tensão | 1,49 | 0,6020 ^{ns} |
| Dose x Época x Tensão | 0,42 | 0,9990 ^{ns} |
| CV (%) | 4,95 | |
| Infiltração de água | | |
| Fator de Variação | Quadrado médio | Pr>F |
| Manejo | 10494,35 | 0,4087 ^{ns} |
| Época | 11380,19 | 0,3343 ^{ns} |
| Manejo x Época | 136580,61 | 0,2335 ^{ns} |
| Bloco | 1501,68 | 0,9307 ^{ns} |
| CV (%) | 76,35 | |
| Macroporosidade | | |
| Fator de Variação | Quadrado Médio | Pr>F |
| Manejo | 0,0404 | 0,9328 ^{ns} |
| Bloco | 1,4527 | 0,0012* |
| CV (%) | 24,5 | |

*Significativo ($p < 0,05$) ns: não significativo.



PPGCiAmb

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Instituto de Ciências Biológicas - ICB