

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

OTAVIO MITSUHIRO MOTIZUKI LOPES

**EFEITO DE AGROMINERAL E VINHAÇA EM ATRIBUTOS
QUÍMICOS DE DOIS TIPOS DE SOLOS**

ARARAS

Agosto de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

OTAVIO MITSUHIRO MOTIZUKI LOPES

**EFEITO DE AGROMINERAL E VINHAÇA EM ATRIBUTOS
QUÍMICOS DE DOIS TIPOS DE SOLOS**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agricultura e
Ambiente como requisito para
obtenção do título de **Mestre em
Agricultura e Ambiente**

Orientadora: Profa. Dra. Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad

ARARAS

Agosto de 2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

L864ea

Lopes, Otavio Mitsuhiro Motizuki.

Efeito de agromineral e vinhaça em atributos químicos de dois tipos de solos / Otavio Mitsuhiro Motizuki Lopes. -- São Carlos : UFSCar, 2013.

125 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Solos. 2. Rochagem. 3. Resíduos agroindustriais. 4. Cátions. 5. Pó de basalto. I. Título.

CDD: 631.4 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DE

OTAVIO MITSUHIRO MOTIZUKI LOPES

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
E AMBIENTE, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM *06 de
setembro de 2013.*

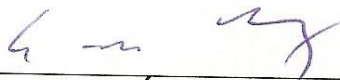
BANCA EXAMINADORA:



PROF^a. DR^a. MARIA LEONOR R. C. LOPES ASSAD

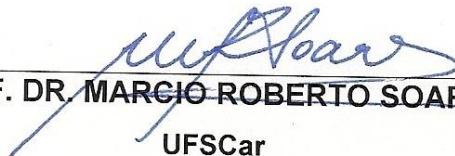
ORIENTADORA

UFSCar



PROF. DR. ÉDER DE SOUZA MARTINS

EMBRAPA



PROF. DR. MARCIO ROBERTO SOARES

UFSCar

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde, força e coragem para superar as dificuldades.

À Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente pela oportunidade e suporte para realização do trabalho.

À Profa. Dra. Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad, pela orientação, oportunidade, confiança, apoio, paciência, ensinamentos e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Marcio Roberto Soares, pelo suporte, sugestões e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Caetano Brugnaro, pelos ensinamentos, sugestões e auxílio na realização das análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. José Carlos Casagrande e toda a equipe do Laboratório de Análise Química de Solos e Plantas pelas sugestões e realização das análises químicas.

À Profa. Dra. Elma Neide V. M. Carrilho, pelo apoio, suporte e realização das análises de ácidos orgânicos.

Ao Prof. Dr. José Geanini Peres e toda a equipe do Laboratório de Física do Solo pela realização das análises físicas.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira da Silva, pelas sugestões e contribuição, por ocasião do Exame de Qualificação.

Ao Dr. Éder de Souza Martins, pelas sugestões e contribuições ao trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa durante todo o período da realização do mestrado.

Aos meus pais Rogério e Cecília e ao meu irmão Gabriel pelo apoio e incentivo nas horas mais difíceis.

Aos meus amigos de faculdade e república que me apoiaram e colaboraram durante a montagem e condução do experimento.

RESUMO

Vinhaça pode acelerar a alteração de minerais em pó de rocha para obtenção de fertilizantes, com aproveitamento de resíduos de agroindústrias de álcool e de mineradoras? Responder a esta pergunta foi o principal objetivo deste estudo. Assim, foi montado em laboratório dois ensaios inteiramente casualizados em colunas de PVC nas quais foram reproduzidas as camadas 0-50 cm de um Latossolo Vermelho muito argiloso e de um Neossolo Quartzarênico. No primeiro ensaio, com duração de 30 dias, foi avaliado o modo de aplicação da mistura no solo. Foram testados a incorporação de pó de basalto previamente no solo e a incubação de pó de basalto e vinhaça em laboratório por 24 horas e depois aplicação no solo. Em Latossolo, foram utilizadas duas doses de pó de basalto (0 e 2,0 t ha⁻¹), uma dose de vinhaça (200 m³ ha⁻¹) e como controle uma dose de água (200 m³ ha⁻¹) com as mesmas quantidades de pó de rocha. Para este ensaio foram coletadas amostras da camada superficial das colunas aos 1, 7, 15 e 30 dias de experimento. No segundo ensaio, com duração de 90 dias, utilizando os dois solos, foram adicionadas três doses de pó de basalto (0; 2,0 e 4,0 t ha⁻¹) e uma dose de vinhaça (200 m³ ha⁻¹). O controle foi feito por meio de tratamentos com água (200 m³ ha⁻¹) e com as mesmas doses de pó de rocha. Foram coletadas amostras na superfície de cada coluna aos 1, 15, 30, 45, 60 e 90 dias e, ao final do experimento, em profundidade e no lixiviado. Para as amostra em superfície do primeiro e segundo ensaios e em profundidade do segundo ensaio, foram determinados os teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S), micronutrientes (B, Fe, Cu, Mn, Zn), H+Al, Al, matéria orgânica, pH em CaCl₂, soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca catiônica. No lixiviado foram determinados os teores de Ca, Mg, K, SO₄, Fe, Mn e Zn. No primeiro ensaio, a avaliação do modo de aplicação da mistura indicou que não houve diferença entre a utilização do pó de basalto incubado em vinhaça por 24 horas ou incorporação do pó de rocha no solo e em seguida aplicação de vinhaça. Já no segundo ensaio, houve efeito significativo do solvente e do solo na camada superficial, com variações nos teores dos atributos analisados durante o tempo. A dose de pó de basalto não foi significativa para a maioria dos atributos analisados, com exceção dos teores de boro e de ferro. No balanço de teores no início e no fim do experimento, os resultados sugerem que fenômenos de sorção com fases minerais neoformadas ou com ácidos orgânicos podem ter ocorrido. A mistura de vinhaça e pó de rocha é uma alternativa de adubação e permite reduzir o consumo de fertilizantes solúveis, mas são

necessários estudos complementares para avaliar fenômenos de sorção e de disponibilização de cátions nessa mistura.

Palavras-chave: rochagem, reaproveitamento de resíduos, pH do solo, cátions disponíveis, solo argiloso, solo arenoso, pó de basalto.

ABSTRACT

Can vinasse accelerate the change of minerals in rock powder for obtaining fertilizer, with utilization of residues from alcohol agro and mining industries? Answering this question was the main objective of this study. So, it was carried out two experiments in a laboratory in a completely randomized set using PVC columns in which we reproduced the 0-50 cm layers of a very clayey Red Oxisol and a Quartzipsamment. In the first test, with duration of 30 days, it was evaluated the application form of the mixture into the soil. It were tested incorporation of basalt powder previously in soil and incubation of basalt powder and vinasse in the laboratory for 24 hours and then applied to the soil. In Red Oxisol were used two doses of basalt powder (0 and 2,0 t ha⁻¹), a dose of vinasse (200 m³ ha⁻¹) and as a control, a dose of water (200 m³ ha⁻¹) using the same amounts of rock powder. For this test, samples were collected from the surface of the columns in 1, 7, 15 and 30 days of experiment. In the second test, with duration of 90 days, using the two soils, were added three doses of basalt powder (0, 2,0 and 4,0 t ha⁻¹) and a dose of vinasse (200 m³ ha⁻¹). The control was made by treatments with water (200 m³ ha⁻¹) with the same doses of rock powder. Samples were collected on the surface of each column in 1, 15, 30, 45, 60 and 90 days and at the end of the experiment, in botton and in the leachate. For the surface samples in the first and second tests and the botton in the second test, we determined the levels of macronutrients (P, K, Ca, Mg, S), micronutrients (B, Fe, Cu, Mn, Zn), H + Al, Al, organic matter, pH in CaCl₂, sum of bases, base saturation and cation exchange capacity. In the leachate were determined Ca, Mg, K, SO₄, Fe, Mn and Zn. In the first test, the evaluation of the application form of the mixture indicated that there was no difference between the use of basalt powder and vinasse incubated for 24 hours or previously incorporation of rock powder in the soil and then application of vinasse. In the second test, there were significant effects of solvent and soil in the surface layer, with variations in the levels of the attributes analyzed over time. The dose of basalt powder was not significant for most attributes analyzed, except for the levels of boron and iron. On balance levels at the beginning and end of the experiment, the results suggest that sorption phenomena with neoformed mineral phases or organic acids may have occurred. The mixture of vinasse and rock powder is an alternative fertilizer and reduces the consumption of soluble fertilizers, but further studies are needed to evaluate the sorption phenomena and availability of cations in the mixture

Index terms: stonemeal, reuse of waste, soil pH, cation availability, clay soil, sandy soil
basalt powder.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| Lista de tabelas..... | IX |
| Lista de figuras..... | X |
| Lista de siglas..... | XIII |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Objetivos..... | 4 |
| 3. Revisão bibliográfica..... | 5 |
| 3.1. Uso agrícola de pó de rocha..... | 8 |
| 3.2. Dificuldades na utilização da rochagem..... | 11 |
| 3.3. Dissolução de minerais por ácidos orgânicos..... | 12 |
| 3.4. Vinhaça..... | 16 |
| 3.5. Colunas de solo..... | 19 |
| 4. Material e métodos..... | 20 |
| 4.1. Determinação de ácidos orgânicos..... | 22 |
| 4.2. Coleta e amostragem dos solos | 23 |
| 4.3. Montagem das colunas..... | 25 |
| 4.4. Ensaio 1: avaliação da forma de aplicação de vinhaça e pó de basalto..... | 28 |
| 4.5. Ensaio 2: efeito de vinhaça e doses de pó de basalto em dois tipos de solos..... | 30 |
| 5. Resultados e Discussão..... | 35 |
| 5.1. Determinação de ácidos orgânicos por CLAE..... | 35 |
| 5.2. Ensaio 1: avaliação da forma de aplicação de vinhaça e pó de basalto..... | 38 |
| 5.3. Ensaio 2: efeito de vinhaça e doses de pó de basalto em dois tipos de solos..... | 42 |
| 5.3.1. Variações nas características químicas da camada superficial..... | 42 |
| 5.3.1.1. Efeitos na matéria orgânica e na acidez do solo..... | 43 |
| 5.3.1.2. Efeitos nos teores de macronutrientes primários e secundários..... | 52 |
| 5.3.1.3. Efeitos na soma de bases, na capacidade de troca catiônica e na saturação por bases..... | 57 |
| 5.3.1.4. Efeitos nos teores de micronutrientes..... | 60 |

| | |
|---|----|
| 5.3.2. Variações nos atributos químicos da camada subsuperficial e do lixiviado..... | 65 |
| 5.3.3. Balanço de cátions ao longo do experimento..... | 66 |
| 6. Conclusões..... | 73 |
| 7. Referências bibliográficas..... | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Composição química média da vinhaça de acordo com os mostos de origem..... | 18 |
| Tabela 2. Caracterização química da vinhaça proveniente de mosto de melaço obtida no município de Piracicaba..... | 21 |
| Tabela 3. Caracterização química do pó de basalto coletado no município de Cordeirópolis..... | 21 |
| Tabela 4. Características químicas e físicas do Latossolo e do Neossolo utilizados em experimento com vinhaça e pó de rocha..... | 24 |
| Tabela 5. Quantidade de material de solo utilizado nas colunas de PVC em ensaios de misturas de pó de basalto e vinhaça..... | 27 |
| Tabela 6. Disponibilidade de nutrientes em vinhaça pura e vinhaça e pó de basalto incubados por 24 horas..... | 41 |
| Tabela 7. Graus de significância definidos a partir de análise de variância (ANOVA) para as parcelas (tratamentos) e subparcelas (tempo) para os atributos medidos na camada 0 - 0,2 m de Latossolo e Neossolo em experimento com vinhaça e pó de basalto..... | 43 |
| Tabela 8. Concentrações de nutrientes em amostras coletadas na camada 20-50 cm e no lixiviado, após 90 dias de experimento de aplicação de pó de basalto e vinhaça em Latossolo e Neossolo..... | 66 |
| Tabela 9. Balanço de teores de cálcio (ΔCa), magnésio (ΔMg) e potássio (ΔK) ao final de 90 dias de experimento de tratamento de Latossolo e Neossolo com vinhaça e pó de basalto..... | 68 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Extração de elementos contidos no mineral flogopita por diferentes ácidos orgânicos e minerais..... | 14 |
| Figura 2. Vista de cima (a) e esquema (b) da camada de retenção na base da coluna formada por cinco camadas sucessivas de argila expandida, tela de nylon, argila expandida, pano multiuso e tela de nylon..... | 26 |
| Figura 3. Esquema da coluna de PVC preenchida com o solo..... | 27 |
| Figura 4. Coleta de solo: (a) extração das amostras para análise química; (b) recobrimento do orifício realizado para coleta..... | 29 |
| Figura 5. Representação esquemática dos tratamentos e testemunhas utilizados para cada tipo de solo..... | 31 |
| Figura 6. Vista geral do experimento, delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas das colunas de Latossolo e Neossolo, após a aplicação dos tratamentos (vinhaça ou água destilada)..... | 32 |
| Figura 7. Detalhe de uma coluna com a tela de nylon utilizada para aplicação de doses de vinhaça e de água destilada..... | 33 |
| Figura 8. Coleta, ao final do experimento, de amostras na profundidade de 0,20 – 0,50 m..... | 34 |
| Figura 9. Cromatogramas da mistura dos padrões e da amostra de vinhaça usada em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo..... | 36 |
| Figura 10. Cromatogramas da amostra de vinhaça, com ampliação no tempo de corrida. Amostra usada em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: a) 11 minutos, b) 14 minutos e c) 25 minutos..... | 37 |
| Figura 11. Valores de (a) cálcio, (b) magnésio, (c) potássio, (d) enxofre, (e) pH em cloreto de cálcio e (f) cobre obtidos durante o período de 30 dias de experimento..... | 39 |
| Figura 12. Teores de matéria orgânica em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) médias nos diferentes tratamentos; (b) interação solo x tempo; (c) interação solvente x tempo; (d) interação dose x tempo. T1= vinhaça + 2t +Latossolo; T2 = vinhaça + 4t +Latossolo; T3 = vinhaça + 2t +Neossolo; T4 = vinhaça + 4t +Neossolo; T5 = vinhaça + Latossolo; T6 = vinhaça + Neossolo; T7= | |

água + 2t +Latossolo; T8 = água + 4t +Latossolo; T9 = água + 2t +Neossolo; T10 = água + 4t +Neossolo; T11 = água + Latossolo; T12 = água + Neossolo.....44

Figura 13. pH em CaCl₂ em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) médias nos diferentes tratamentos; (b) interação solo x tempo; (c) interação solvente x tempo. T1= vinhaça + 2t +Latossolo; T2 = vinhaça + 4t +Latossolo; T3 = vinhaça + 2t +Neossolo; T4 = vinhaça + 4t +Neossolo; T5 = vinhaça + Latossolo; T6 = vinhaça + Neossolo; T7= água + 2t +Latossolo; T8 = água + 4t +Latossolo; T9 = água + 2t +Neossolo; T10 = água + 4t +Neossolo; T11 = água + Latossolo; T12 = água + Neossolo.....47

Figura 14. Teores de alumínio em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) interação solo x tempo; (b) interação solvente x tempo.....50

Figura 15. Teores de H+Al em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) interação solo x tempo; (b) interação solvente x tempo.....51

Figura 16. Efeito do solo na variação dos teores de macronutrientes em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: a) Ca; b) Mg, c).K e d) S.....53

Figura 17. Efeito do solvente na variação dos teores de macronutrientes em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: a) Ca; b) Mg, c)K e d) S.....54

Figura 18. Efeito da dose de pó de rocha na variação do teor de S em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.....54

Figura 19. Efeito do solo (a) e do solvente (b) na variação do teor de fósforo em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.56

Figura 20. Efeito do solo na variação da soma de bases (a), da capacidade de troca catiônica (b) e da saturação por bases (c) em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.....58

Figura 21. Efeito do solvente na variação da soma de bases (a), da capacidade de troca catiônica (b) e da saturação por bases (c) em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.....59

| | |
|---|----|
| Figura 22. Efeito do solo e do solvente na variação dos teores de Cu e Fe em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo. (a) e (c) interação solo x tempo; (b e d) interação solvente x tempo..... | 61 |
| Figura 23. Efeito do solo (a), do solvente (b) e da dose (c) na variação dos teores de Mn e efeito do solo na variação dos teores de Zn (d) em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo..... | 63 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------------------------------|--|
| Al | Alumínio |
| Al ₂ O ₃ | Óxido de alumínio |
| ANOVA | Análise de variância |
| B | Boro |
| C | Carbono |
| C/N | Relação entre carbono e nitrogênio |
| Ca | Cálcio |
| CaO | Óxido de cálcio |
| CCA | Centro de Ciências Agrárias |
| CH ₄ | Metano |
| CLAE | Cromatografia Líquida de Alta Eficiência |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CTC | Capacidade de Troca Catiônica |
| Cu | Cobre |
| DAD | Detector de arranjo de diodos |
| DBO | Demanda bioquímica de oxigênio |
| Dp | Densidade das partículas do solo |
| DQO | Demanda química de oxigênio |
| Ds | Densidade do solo |
| DTPA | Ácido dietilenotriaminopentacético |
| Fe | Ferro |
| Fe ₂ O ₃ | Óxido de ferro (III) |
| H | Hidrogênio |
| H+Al | Acidez potencial |
| H ₂ SO ₄ | Ácido sulfúrico |
| H ₃ O | Hidrônio |
| HCl | Ácido clorídrico |
| ICP-AES | Espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma induzido |

| | |
|-------------------------------|---|
| ICP-MS | Espectrometria de massa com fonte de plasma induzido |
| K | Potássio |
| K ₂ O | Óxido de potássio |
| KCl | Cloreto de potássio |
| L | Latossolo |
| LSmeans | Médias de mínimos quadrados |
| MO | Matéria orgânica |
| Mg | Magnésio |
| MgO | Óxido de magnésio |
| Mn | Manganês |
| N | Nitrogênio |
| Na | Sódio |
| Na ₂ O | Óxido de sódio |
| NH ₄ | Amônio |
| NO ₃ | Nitrato |
| NPK | Formulação de fertilizante com nitrogênio, fósforo e potássio |
| OH | Hidroxila |
| P | Fósforo |
| P ₂ O ₅ | Pentóxido de fósforo |
| PVC | Policloreto de vinila |
| PVPP | Polivinilpolipirrolidone |
| S | Enxofre |
| SB | Soma de Bases |
| Si | Silício |
| SiO ₂ | Dióxido de silício |
| SMP | Shoemaker, Mclean e Pratt |
| SO ₄ | Sulfato |
| SP | Estado de São Paulo |
| SPE | Solid phase extraction |
| T1 | Tratamento um |
| T2 | Tratamento dois |

| | |
|--------|--|
| T3 | Tratamento três |
| T4 | Tratamento quatro |
| T5 | Tratamento cinco |
| T6 | Tratamento seis |
| T7 | Tratamento sete |
| T8 | Tratamento oito |
| T9 | Tratamento nove |
| T10 | Tratamento dez |
| T11 | Tratamento onze |
| T12 | Tratamento doze |
| TFSA | Terra Fina Seca ao Ar |
| UFSCar | Universidade Federal de São Carlos |
| UNESP | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” |
| V | Saturação por bases |
| VI | Valor de intervenção |
| VRQ | Valor de referência de quantidade |
| Zn | Zinco |

1. INTRODUÇÃO

Devido às características de seus solos, o Brasil é um dos maiores importadores de fertilizantes no mundo e o quarto maior consumidor, somente atrás de China, Índia e Estados Unidos (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2010). No entanto, o consumo de fertilizantes no país, por área agricultável ainda é considerado baixo. Enquanto países como Malásia, Holanda, Reino Unido, Japão e China aplicam em média respectivamente 634, 604, 386, 376, 367 kg ha⁻¹, o Brasil aplica somente 120 kg ha⁻¹. Essa menor média reflete o modo de uso de fertilizantes pelos produtores, nos quais parte usa inadequadamente e parte não usa fertilizantes. De acordo com Marin et al. (2008), o manejo da fertilidade do solo pode variar muito de acordo com os preços e a conjuntura econômica. A expectativa de lucro ou perda, leva os produtores a planejar e decidir sobre o seu sistema de produção, assim, o custo elevado pode provocar uma diminuição na compra de fertilizantes e por consequência, aplicações de quantidades menores do que realmente necessárias para adubação do solo. A cultura utilizada também pode interferir na quantidade de fertilizantes utilizada, como exemplo, pode ser citada a produção de soja, o Brasil apresenta extensa área plantada com esta leguminosa, e sabe-se que a principal fonte de nitrogênio para esta cultura é através da fixação biológica por bactérias, e deste modo a quantidade deste nutriente aplicado por fontes externas é praticamente nula (EMBRAPA, 2003). Vários fatores, de acordo com Melamed et al. (2007), permitem explicar esta grande importação e consumo de adubos na agricultura brasileira: grande área de cultivo no país que indica a enorme produção agrícola brasileira; características dos solos, pobres em nutrientes como potássio e fósforo; e produção nacional insuficiente de adubos potássicos, fosfatados e nitrogenados.

Em 2011, as importações brasileiras de fertilizantes aumentaram em 29,9% se comparadas ao ano de 2010, as quais totalizaram 19,851 milhões de toneladas de produtos. O cloreto de potássio continuou sendo o principal produto importado, atingindo 37,6% do total, seguido da ureia (15,0%) e sulfato de amônio (9,5%) (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2012).

Os gastos financeiros com a compra de fertilizantes pelos produtores chegam a 40% dos custos variáveis de produção de alimentos. Um dos fatores de aumento do preço dos fertilizantes é a grande importação de fertilizantes potássicos, na forma de KCl. No ano de 2007, o país produziu apenas 11% dos adubos potássicos utilizados naquele ano. Esta situação pode se tornar pior, pois no Brasil há apenas uma única

unidade produtiva de potássio, localizada em Taquari-Vassouras em Sergipe (MARTINS et al., 2008).

As elevações dos preços dos insumos utilizados na agricultura são provenientes de um desequilíbrio dado pela demanda, ou seja, existe em um determinado intervalo de tempo, procura maior do que oferta. Segundo Daher (2008), a alta no preço dos fertilizantes é causada pela entrada no mundo capitalista de países altamente populosos como China e Índia, o que provocou uma grande demanda de alimentos; aumento no preço do petróleo, que favoreceu a busca de fontes de energia renovável; grande favorecimento da produção de energia renovável que provocou uma queda da relação consumo/estoque de grãos e o preço dos alimentos aumentaram enormemente; e alto preço dos grãos que promoveu uma grande demanda de fertilizantes para produzi-los e proibições foram impostas nos países exportadores de fertilizantes devido à alta demanda interna. Além disso, o modelo de adubação atualmente utilizado provoca impactos ambientais

Portanto, a utilização incorreta de fertilizantes solúveis pode causar impactos ambientais e econômicos. No ambiente pode ser responsável pela poluição de lençóis freáticos, poluição de águas dos rios devido à erosão, acidificação e emissão de gases de efeito estufa como o óxido nitroso, principalmente pelo uso de adubos de origem nitrogenada (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS, 2003). Os impactos econômicos são decorrentes das despesas com aquisição de fertilizantes, muitos deles importados, que representam grande parte dos custos de produção dos alimentos. Assim, é necessário procurar fontes alternativas para adicionar nutrientes ao solo, principalmente por meio da reutilização de resíduos.

Uma das alternativas utilizadas de modo crescente nos últimos anos é a rochagem, considerada como uma forma de manejo da fertilidade de solos com rochas moídas, principalmente resíduo de pedreiras e mineradoras. Embora possa fornecer os nutrientes exigidos para as plantas e apresentar um baixo custo de implantação, uma das características do pó de rocha é sua baixa taxa de solubilização. Portanto, no curto prazo, é necessário combinar pó de rocha com materiais que possam acelerar a dissolução de minerais.

Outro resíduo muito utilizado para adubação é a vinhaça. O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo. O principal resíduo líquido produzido pelo setor sucroalcooleiro é a vinhaça. Resultado da produção de etanol, a vinhaça deixou de ser classificada como resíduo e tem sido considerada um subproduto, face aos benefícios

proporcionados quando aplicada no solo, como a grande quantidade de nutrientes e de matéria orgânica.

Uma técnica que poderia ser utilizada é a mistura de pó de rocha e vinhaça, na qual, o caráter ácido da vinhaça promoveria a solubilização do pó de rocha e consequente liberação de elementos para o meio. Resultados obtidos por Lopes et al (2011), em ensaios conduzidos *in vitro* durante 30 dias, apontaram que tratamentos feitos com misturas de pó de rocha e vinhaça proporcionaram maior disponibilização de nutrientes do que tratamentos com água destilada. Assim o pó de rocha complementar no curto prazo a quantidade de nutrientes já adicionados pela vinhaça ao solo.

Entretanto, são necessários experimentos que permitam avaliar o efeito dessas misturas no solo. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de vinhaça na solubilização de pó de basalto em dois tipos de solos comuns no Estado de São Paulo.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto foi avaliar o efeito de misturas de vinhaça e pó de rocha no pH e na disponibilização de nutrientes em dois tipos de solo.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar duas formas de aplicação de vinhaça no solo e seu efeito na solubilização de minerais contidos em pó de basalto.
- Avaliar a ação da vinhaça e do pó de basalto em solo de textura argilosa.
- Avaliar a ação da vinhaça e do pó de basalto em solo de textura arenosa.
- Avaliar a disponibilização de nutrientes em superfície e em profundidade em solo de textura argilosa e arenosa após a aplicação da mistura de vinhaça e pó de basalto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de pó de rochas para fertilização de solos foi inicialmente proposto por Julius Hensel, em 1894, no livro *Bread from Stones*, no qual o autor já verificava os benefícios advindos da utilização das rochas moídas na agricultura. Entretanto, o uso de pó de rochas na agricultura, ficou esquecido por décadas. A partir da década de 30 do século XX, de acordo com Escosteguy e Klamt (1998), vários trabalhos relatavam aumentos de rendimentos em cana-de-açúcar, efeito residual significativo após oito anos de cultivos e melhoria da fertilidade de solos arenosos, sob floresta. Novamente esquecida até meados dos anos 1990, observou-se desde então um aumento no uso agrícola da rochagem. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos visando avaliar o efeito de pó de rocha em solos, como Bakken et al. (2000), Knapik e Angelo (2007), Welter et al. (2011), Camargo et al. (2012), Melo et al. (2012) e Silva et al. (2012).

Na rochagem, ocorre a remineralização ou rejuvenescimento do solo, no qual a aplicação de rochas e sedimentos moídos possibilita equilibrar os nutrientes no solo sem que afete o meio ambiente (THEODORO et al., 2006). De acordo com Melamed et al. (2007), a utilização de rochas moídas apresenta os seguintes benefícios: fornece macro e micronutrientes para absorção pelas plantas; aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, a produção, a atividade de micro-organismos e minhocas, a quantidade e qualidade do húmus; controla a erosão devido ao maior desenvolvimento das culturas; aumenta a reserva nutricional do solo e a resistência das culturas em relação a pragas, doenças, secas e geadas devido à melhoria nas condições nutricionais; e diminui a dependência de fertilizantes, pesticidas e herbicidas. Outros benefícios são: economia de mão-de-obra, pois o pó de rocha é pouco solúvel e a frequência de adubação é menor, com maior efeito residual; não acidifica o solo, pois o fornecimento de bases pode auxiliar na correção do solo; impede que a planta absorva mais do que necessita, o que ocorre quando se utiliza fertilizantes muito solúveis; é um material local, facilmente explorado e encontrado em todo território nacional (FERREIRA et al., 2009).

O pó de rocha apresenta baixa solubilidade. Portanto, é considerado uma fonte de liberação gradativa de nutrientes durante um maior período de tempo, quando comparado com adubos industriais. Também aumenta a capacidade de troca de cátions, pela formação de novos minerais de argila originados da alteração das rochas (MELAMED et al., 2007).

Uma característica importante da rochagem é a possibilidade de utilização de pós mais finos. O tamanho das partículas influencia a atividade físico-química dessas frações. Partículas de tamanho areia apresentam pequena superfície específica, e são menos reativas do que partículas de silte e argila. Para corretivos de acidez, quanto mais moídos, maior é o contato e mais rápida será sua ação no solo e vice-versa (ALCARDE, 2005).

Van Straaten (2006) considerou que a utilização da rochagem em solos tropicais traz vantagens pois, devido à alta temperatura e umidade, a dissolução das rochas para liberação de nutrientes para a solução do solo é maior. Além disso, em ambientes tropicais essa prática é altamente recomendada, pois neles os solos apresentam baixos teores de nutrientes.

A rochagem utiliza principalmente resíduos de pedreiras e de mineradoras. De acordo com Theodoro et al. (2006), esta prática promove a união da mineração e da agricultura pois os resíduos da mineração podem ser utilizados na agricultura. O uso de resíduos do setor da mineração apresenta vantagem, pois o material já está moído em diferentes granulometrias, que variam de partículas muito finas até o tamanho de cascalho, possibilitando aplicação direta. Segundo esses autores, as rochas utilizadas podem ser fontes de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e uma ampla gama de micronutrientes. Fertilizantes originados de rochas silicáticas são recomendados para fornecer nutrientes aos solos, pois apresentam grande variedade de macro e micronutrientes, diferentemente dos fertilizantes convencionais que na maioria das formulações, apenas possuem NPK (VAN STRAATEN, 2006).

Em casa de vegetação, Ribeiro et al. (2010) realizaram experimento com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de rochas silicáticas portadoras de potássio, na disponibilização de nutrientes e outros atributos químicos do solo. Em amostra de Latossolo Amarelo distrófico, foram aplicadas diferentes doses de pós de flogopitito, de uma rocha ultramáfica alcalina e de uma brecha piroclástica. Os autores observaram que o pó de rocha ultramáfica alcalina e de brecha piroclástica liberaram maiores quantidades de potássio além de disponibilizar fósforo. A rocha ultramáfica alcalina promoveu ainda maior correção da acidez e elevação da saturação por bases, devido a uma possível liberação de bases contidas nos minerais dessas rochas.

A utilização de resíduos provenientes da produção de britas (basalto e diabásio) apresenta-se como alternativa de uso para atividades agrícolas, pois apresenta a capacidade de fornecer nutrientes como cálcio, magnésio, ferro, manganês e cobre. Isto

se deve ao seu processo de formação, pois são originadas de rochas máficas, também denominadas ferro-magnesianas, que são consideradas básicas em função de sua baixa concentração de sílica total (INOCÊNCIO et al., 2009).

Rochas fosfáticas também são utilizadas para fertilização de solos. Em um estudo de caso, Silveira e Lima (2007) analisaram a utilização do pó de rocha fosfática na eficiência agrônômica de mudas de milho e verificaram que a mistura de esterco com pó de rocha promoveu um maior rendimento se comparado com tratamento com fertilizante solúvel aplicado em formulação NPK.

Nos solos brasileiros, a presença de potássio no solo está relacionada com o processo de intemperismo de feldspatos potássicos, micas, vermiculitas e esmectitas (RIBEIRO et al., 2010). Quando aplicado em formas muito solúveis, o aproveitamento de potássio é prejudicado, devido à alta solubilidade desse elemento que é perdido (THEODORO, 2000). Como fontes alternativas de potássio podem ser utilizadas a flogopita ou biotita. Segundo Martins et al. (2008), dentre as rochas com potencial de uso agrônômico podem ser citadas carbonatitos, kimberlitos, kamafeugitos, flogopititos, que são rochas magmáticas alcalinas, rochas metassedimentares cálcio-silicáticas e produtos de metassomatismo potássico como biotita xisto, flogopita xisto, biotitito, flogopitito. Esses materiais podem ser encontrados em todo território brasileiro.

Segundo Theodoro e Leonardos (2006), há grande facilidade de encontrar rochas que apresentam composição adequada para serem utilizadas em adubação pois o território brasileiro apresenta grande diversificação geológica. Isto permite afirmar que a rochagem é de fácil implantação em todo território nacional. Se considerar os custos, a ampla gama de rochas que podem ser utilizadas possibilita menor gasto financeiro se comparado com os insumos convencionais. Outra vantagem é o incentivo à produção de adubos orgânicos por meio de compostagem, pois se utilizados em conjunto com o pó de rocha, possibilitam reduzir o volume produzido de composto e fornece uma forma de uso correta já que também disponibiliza nutrientes.

Segundo Inocêncio et al. (2009), as rochas máficas, como o basalto, são ricas em cálcio, magnésio e ferro mas são pobres em potássio, sódio e sílica. O basalto é uma rocha muito encontrada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Silva et al. (2008) apontaram que o basalto tem sido uma alternativa para repor nutrientes perdidos pelos processos de intemperismo e lixiviação, que transformam argilas reativas em minerais cada vez menos reativos. Nos solos tropicais mais evoluídos não existe mais a fração dos minerais intemperizáveis e a mobilização ativa dos nutrientes não funciona,

pois não há o que mobilizar, fato comum em solos com pouca ou nenhuma fração silte. O pó de basalto é um subproduto industrial que não era muito utilizado, sendo depositado próximo ao local de produção, mas que podem ser utilizados como fonte de nutrientes para as plantas (GUTIERREZ e INOCÊNCIO, 2009).

Os basaltos são rochas ígneas extrusivas, básicas, alcalinas ou sub-alcalinas, que apresentam, como minerais principais, plagioclásios (labradorita e bytownita) e piroxênios (augita e pigeonita) (MACHADO et al., 2012). Como minerais acessórios são constituídos de óxidos de ferro, apatitas, sulfetos, hornblenda e raras biotitas.

3.1. USO AGRÍCOLA DE PÓ DE ROCHA

A rochagem é uma prática complementar, ou seja, sua utilização em conjunto com compostagem e adubos verdes pode possibilitar maior segurança alimentar e produção de alimentos de maneira sustentável (FYFE et al., 2006). É uma técnica que pretende ser de fácil adoção pelos pequenos agricultores principalmente devido ao seu baixo custo (THEODORO et al., 2006) e para os grandes produtores, por ser de menor custo. Entretanto, conforme salientaram Leonardos et al. (2000), o uso do pó de rocha isoladamente não garante a sustentabilidade do sistema agrícola e deve ser adotado em associação com técnicas como o plantio direto e a adubação orgânica.

Lima et al. (2009) realizaram experimento com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes enriquecimentos minerais na compostagem de resíduos provenientes da produção de biodiesel. Os resíduos utilizados foram: bagaço de cana, cinza de bagaço de cana, esterco de galinha poedeira, torta de filtro e farelo de mamona. Estes materiais foram misturados e enriquecidos com fertilizante mineral NPK, misturas de pós de serpentinito e de micaxisto e pó de gnaiss. Os autores observaram que apenas o composto enriquecido com NPK, atendeu à legislação pertinente a compostos orgânicos, enquanto a adição de pós de serpentinito + micaxisto contribuiu para elevação de P, K, Ca, Mg e CTC dos compostos.

Em trabalho realizado por Theodoro e Leonardos (2006), no Estado de Minas Gerais, para avaliar a utilização de pó de rocha dentro do contexto de desenvolvimento sustentável como alternativa de fertilização para famílias de agricultores de assentamentos, foram testados tratamentos com rocha moída, fertilizante solúvel (NPK) e sem utilização de fertilizante. Observou-se que a técnica da rochagem foi aceita de forma rápida pelos produtores devido à sua fácil assimilação e economia de energia. Na

opinião dos agricultores o uso de pó de rocha pode ser um modo alternativo para assegurar a sobrevivência e manter a viabilidade econômica, social e ambiental dos pequenos produtores.

Em estudo realizado por Theodoro et al. (2006), em propriedades de agricultores familiares assentados, quilombolas e ribeirinhos que utilizavam pó de rocha, foi verificado que nos locais avaliados a produtividade foi maior ou igual se comparada com as parcelas tratadas com fertilizante solúvel. Além disso, as culturas de ciclo longo apresentaram maior desempenho com o uso de pó de rocha. O uso conjunto com compostagem possibilitou maior desenvolvimento das culturas. As plantas apresentaram maior perfilhamento e massa verde e as raízes se tornaram mais desenvolvidas e aumentaram de quantidade.

Camargo et al. (2012) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar características agrônomicas desejáveis de frutos de morangueiro submetidos a diferentes doses de esterco bovino e pó de basalto. Foram utilizados tratamentos com 0, 50 e 100 t ha⁻¹ de esterco bovino e 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de pó de basalto. Os pesquisadores observaram que tanto a produtividade quanto a produção comercial de frutos tiveram melhor desempenho na associação das maiores doses de esterco bovino com doses intermediárias de pó de basalto. De acordo com estes autores os resultados para o pó de rocha são devidos a este material fornecer ao solo colóides eletronegativos pela presença de sílica e assim possibilitar a adsorção de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ impedindo sua percolação no solo.

Outra característica apresentada pela rochagem é a capacidade de recuperar áreas degradadas. Theodoro et al. (2009) realizaram experimento para avaliar se sedimentos retidos e rochas moídas encontrados no reservatório e ao redor da usina hidrelétrica de Tucuruí, no Pará, poderiam contribuir para a regeneração de um sistema de floresta. Após um ano de acompanhamento, verificou-se que a mistura com sedimentos, rocha moída e composto orgânico apresentou maiores incrementos totais de macronutrientes indicando que este tratamento pode viabilizar a recuperação do solo e possibilitar a reprodução do ambiente de floresta.

Em casa de vegetação, Silva et al. (2008) verificaram os efeitos do pó de basalto e da aplicação de diferentes resíduos orgânicos sobre atributos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Gonçalo-Alves* (*Astronium fraxinifolium* Schott). Foram utilizadas quatro doses de basalto (0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹) combinadas ou não com 8 t ha⁻¹ de três resíduos orgânicos (aguapé, esterco de

curral e lodo doméstico). A rochagem com basalto promoveu resultados positivos. Foi observado que os tratamentos com esterco e aguapé, adicionados ou não de basalto, foram os que mais contribuíram para melhorar as condições químicas do subsolo e proporcionar os maiores resultados para as variáveis microbiológicas, enquanto as plantas apresentaram maior crescimento nos tratamentos em que foram adicionados lodo de esgoto e basalto (SILVA et al, 2008).

Em experimento realizado por Knapik e Angelo (2007), com objetivo de avaliar o crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (pessegueiro-bravo) foram submetidas a tratamentos sem adubação e com adubação (adubação convencional, pó de basalto e esterco equino), que depois foram misturadas com substrato comercial à base de casca de *Pinus* sp e vermiculita. Foram avaliadas a altura, o diâmetro de colo, a biomassa seca (aérea e radicial) e a concentração de nutrientes foliares das mudas. Os autores verificaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha, mas no tratamento com pó de basalto, as plantas acumularam mais Ca, Mg, B, Cu e Fe nas folhas.

Em trabalho realizado por Welter et al. (2011), com o objetivo de avaliar o desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*), foram utilizadas diferentes doses de basalto (0; 0,42; 1,04; 2,08; 4,17 e 8,33 g kg⁻¹), duas granulometrias (0,05 e 0,10 mm de diâmetro) e testemunha. Foi observado que os tratamentos sem pó de basalto e a dose de 0,42 g kg⁻¹ produziram mudas de menor qualidade nas duas granulometrias testadas. As melhores mudas foram obtidas nos tratamentos com 4,17 e 8,33 g kg⁻¹ de pó de basalto com a granulometria de 0,05mm. De acordo com os autores, estes resultados são devidos à disponibilização mais rápida dos nutrientes na granulometria mais fina e ao maior aporte de nutrientes quando foram aplicadas maiores quantidades de pó de rocha.

Silva et al. (2011) realizaram experimento para avaliar o efeito do pó de rocha, isolado ou combinado com esterco bovino na produtividade, teores de proteína, de fósforo e de fitato em grãos de feijão. Os tratamentos foram testemunha (granito e fosfato natural), adubação convencional (conforme recomendações para a cultura), pó de basalto (2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 t ha⁻¹), 4 t ha⁻¹ de esterco bovino e as mesmas doses de pó de basalto associadas com esterco bovino. Foi observado que a ampliação das doses de pó de basalto proporcionou aumento no teor de fósforo nos grãos, mas o teor de fitato se manteve constante.

Em experimento realizado por Bakken et al. (2000), foram utilizadas rochas moídas e rejeitos de mineração contendo biotita, feldspato potássico e nefelina, como fertilizantes potássicos em campos experimentais com grama, durante quatro anos. Foram utilizados tratamentos com KCl, três rejeitos de mineração e dois tipos de carbonatitos. Observou-se que o tratamento com KCl apresentou maior rendimento do que os tratamentos com pó de rocha no primeiro e segundo ano de experimento; mas, no terceiro e quarto ano, quando nenhum fertilizante potássico estava sendo aplicado, os tratamentos com carbonatito e biotita mantiveram o crescimento da grama semelhante aos tratamentos com KCl.

3.2. DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DA ROCHAGEM

O principal desafio da utilização de pó de rocha é aumentar a taxa de solubilização de minerais contidos nas rochas e a liberação de nutrientes. Isto pode ser realizado através de modificações físicas e/ou químicas das superfícies minerais. Alterações físicas podem ser obtidas por meio de moagem fina das rochas. Modificações químicas da superfície, através da acidulação, por exemplo, podem aumentar a solubilidade e a liberação de nutrientes contidos nos minerais (VAN STRAATEN, 2006).

Como exemplo da importância da solubilidade de pó de rocha, pode-se citar o trabalho realizado por Prates et al. (2012), no qual os pesquisadores avaliaram o efeito da utilização combinada de diferentes dosagens de pó de rocha e superfosfato simples no crescimento de mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Foi observado que não houve interação significativa entre as doses de fósforo e de pó de rocha aplicadas e as variáveis estudadas. Segundo os autores, o uso de pó de rocha como fertilizante, associado ao superfosfato simples, não influenciou as características morfológicas de mudas de pinhão manso devido ao tempo insuficiente para a liberação de nutrientes, e do fertilizante solúvel ter suprido rapidamente a necessidade da planta.

A rochagem está condicionada a aspectos como: a rocha utilizada deve conter quantidades mínimas de macro e micronutrientes e não possuir contaminantes; deve estar disponível na região onde será utilizada; deve-se realizar análises das rochas e da fertilidade do solo onde será aplicado; sempre que possível, deve ser associada ao uso de insumos orgânicos como a compostagem e adubação verde (THEODORO et al., 2006). As pesquisas no campo da rochagem apresentam ainda alguns desafios, conforme apontaram Martins et al. (2008). As rochas apresentam composição muito

variada, o que dificulta seu uso. É necessário conhecer a localização dos depósitos das rochas a serem utilizadas e as características dos locais onde serão aplicadas. Além disso, o processamento das rochas deve ser de baixo custo e deve-se conhecer a interação delas com o sistema onde serão aplicadas (MARTINS et al., 2008).

Segundo Van Straaten (2006), outro desafio a ser enfrentado diz respeito à capacidade de equilibrar as exigências nutricionais da planta com a quantidade de nutrientes liberados pelas rochas. Conforme Moraes (2004), a concentração dos nutrientes nas rochas torna limitante o transporte a longas distâncias.

A aplicação de rochas silicáticas, como se pode concluir, restitui ao solo uma fração de minerais, que atua como uma reserva de nutrientes. Porém, o pleno aproveitamento desses minerais somente é possível com alta atividade microbiana no solo, a qual possibilita a disponibilização de nutrientes de forma mais rápida e eficiente, através da produção, pelos micro-organismos, de ácidos orgânicos, compostos quelantes e íons (BORGES et al., 2007; NAHAS et al., 1990), resultantes, na maioria dos casos, de compostos liberados no metabolismo secundário.

3.3. DISSOLUÇÃO DE MINERAIS POR ÁCIDOS ORGÂNICOS

Segundo Kämpf et al. (2009), as alterações de minerais dependem de sua natureza, dos reagentes envolvidos (composição, pH, concentração) e de condições que controlam o equilíbrio no sistema como temperatura e pressão. Assim, uma das alternativas para solubilizar minerais contidos em pó de rochas é modificar o pH da solução, pois a alteração se dá principalmente por hidrólise, reação química entre íons H^+ e OH^- (provenientes da dissociação de água). De acordo com Ribeiro et al. (2010), a função do pH na dissolução dos minerais está relacionada com a adsorção dos íons H^+ e OH^- nas superfícies minerais, onde a hidrólise é controlada pelas reações ácido-base e pelas ligações oxigênio-metal.

O pH da solução do solo é o principal determinante das taxas de intemperização. Reações entre minerais e uma solução ácida do solo mudam as concentrações de íons H^+ e outras espécies dissolvidas na solução do solo (HARLEY e GILKES, 2000).

Reações entre minerais e a solução do solo incluem dissolução, oxidação, reações de complexação, hidrólise e simples hidratação. A dissolução pode ser congruente ou incongruente (HARLEY e GILKES, 2000). A dissolução congruente é caracterizada pela completa dissolução do mineral e não são formadas novas formas

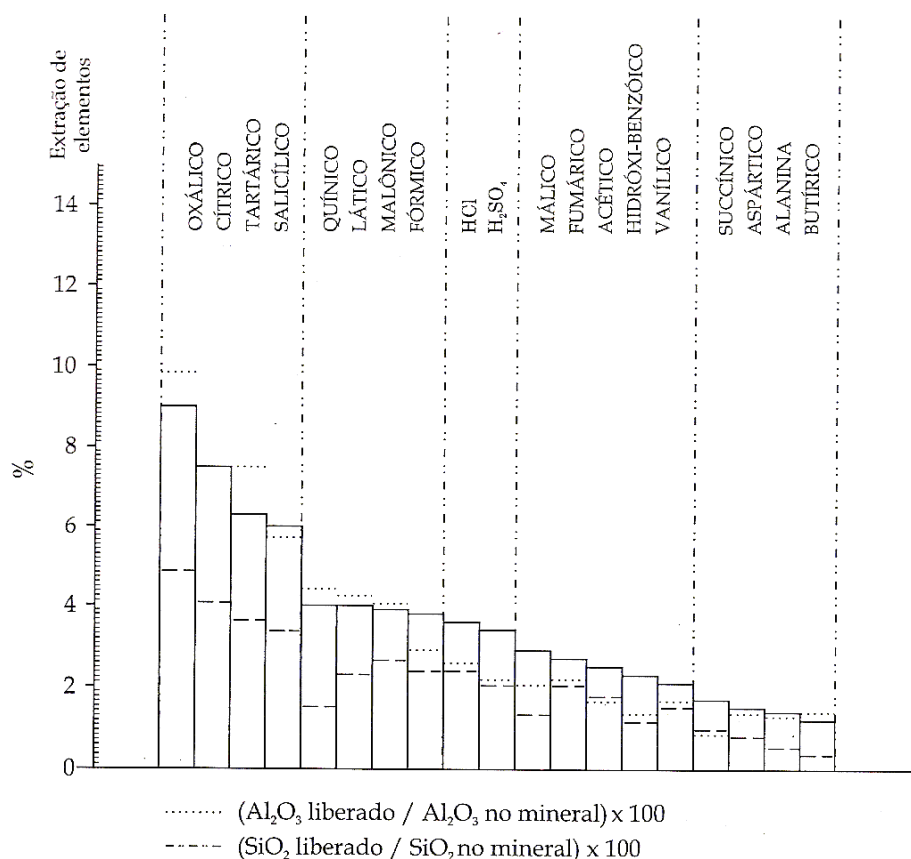
sólidas, enquanto que na dissolução incongruente ocorre troca de ligantes da rede cristalina do mineral, envolvendo a formação de novas formas sólidas, como por exemplo a alteração de feldspato em muscovita (MARTINS et al, 2004).

De acordo com Harley e Gilkes (2000), a dissolução de minerais envolve duas forças opostas, nas quais íons fortemente ligados ao mineral competem com o processo de hidratação. Primeiramente há uma reação de troca rápida entre os cátions da superfície e íons H^+ , H_3O^+ ou moléculas de água. Para ocorrer maior dissolução são liberados elementos estruturais pela destruição de ligações oxigênio-metal e hidróxido-metal. Assim, pode envolver cátions de base ou o desprendimento de um complexo ativado da superfície mineral. O complexo ativado pode ser um grupo funcional ou um complexo de superfície que envolva um metal exposto na superfície do sólido e um ligante da solução.

Na rochagem são utilizadas, em geral, pó de rochas silicáticas (ricas em silicatos), nas quais as reações de alteração tendem a ser predominantemente incongruentes. Isto é, na dissolução do mineral, os elementos não são liberados na solução na mesma proporção estequiométrica da sua composição inicial ou parte dos produtos liberados precipita e forma novo mineral (KÄMPF et al., 2009).

No intemperismo do basalto, geralmente ocorre rápida dissolução de Si, Al e Fe e cátions não hidrolisáveis como Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo que os últimos são removidos via lixiviação e os primeiros são retidos preferencialmente devido a precipitação de fases sólidas cristalinas (CHOROVER et al., 2004). As taxas de dissolução de plagioclásios, um dos principais grupos de minerais encontrados no basalto, podem ser descritas por mecanismo ácido, neutro ou básico, com dependência do pH das regiões ácidas e básicas no solo (PALANDRI e KHARAKA, 2004). O piroxênio, outro mineral encontrado no basalto, apresenta taxas de dissolução que diminuem continuamente com o aumento do pH e são ligeiramente inibidas pelo aumento da concentração de cátions metálicos bivalentes (GUDBRANDSSON et al., 2011).

O efeito dos ácidos orgânicos difere conforme suas propriedades complexantes ou não-complexantes; a ação destes últimos é devida ao seu efeito ácido. A ação de ácidos orgânicos fracamente complexantes, como o ácido fórmico, acético e oxálico, é semelhante a de soluções diluídas de ácidos minerais e de água acidificada com CO_2 . Para a dissolução de flogopita (Figura 1), a porcentagem de extração de elementos é maior para os ácidos oxálico, cítrico, tartárico e salicílico, quando comparados com HCl e H_2SO_4 (KÄMPF et al., 2009).



Fonte: Kämpf et al. (2009)

Figura 1. Extração de elementos contidos no mineral flogopita por diferentes ácidos orgânicos e minerais.

No caso dos ácidos orgânicos complexantes, há a complexação, que ocorre quando compostos orgânicos se ligam com íons metálicos e assim podem acelerar a decomposição de minerais do solo. A formação de complexos altera a solubilidade de Fe e Al e também de elementos traço como Mn, Cu e Zn. A este grupo de ácidos orgânicos, pertencem o ácido oxálico, cítrico, salicílico, polifenóis e aminoácidos (KÄMPF et al., 2009).

Segundo McMahon (1995), ácidos orgânicos multifuncionais, como oxalato e o citrato, são mais eficientes na dissolução de silicatos do que os ácidos monocarboxílicos, como o acetato, devido à sua maior habilidade para complexar cátions e sílica. A formação de complexos por ácido orgânico com alumínio e silício tem sido sugerida como o mecanismo pelo qual ácidos orgânicos aumentam a taxa de dissolução de feldspato e quartzo (BLAKE e WALTER, 1996).

De acordo com Haynes (1984), o solo pode adsorver ácidos orgânicos que podem ocupar os sítios de adsorção de alguns elementos como o fosfato, aumentando sua disponibilidade para as plantas. Esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al, em diferentes valores de pH (SPOSITO, 1989).

Os ácidos orgânicos formam grupos funcionais, principalmente dos tipos carboxílicos e fenólicos, que participam em várias reações químicas no solo: complexação ácido orgânico-metal, redução da toxidez por Al, adsorção de íons, constituição química da rizosfera e lixiviação de Ca no solo (FRANCHINI et al., 2003). Além de complexarem o Al tóxico, esses compostos aumentam a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário, por exemplo, aplicado em superfície.

Estudos também têm sido desenvolvidos com micro-organismos. Estes são capazes de produzir ácidos orgânicos e assim acidificar o meio e promover solubilização de algumas rochas. Lopes-Assad et al. (2006) realizaram experimento em laboratório com objetivo de avaliar a ação de *Aspergillus niger* na solubilização de potássio proveniente de uma rocha ultramáfica alcalina e um flogopitito. Foi observado que a acidificação promovida pelo *A. niger* proporcionou aumento da taxa de solubilização de K contido nas rochas, e ao final do experimento a rocha ultramáfica alcalina apresentou um total solubilizado maior do que o tratamento com flogopitito, embora a porcentagem de K₂O contida no flogopitito fosse maior do que a da rocha ultramáfica alcalina.

Ácidos orgânicos como glucônico, cítrico, tartárico, aspártico, láctico e oxálico, presentes no solo, podem ser produzidos por micro-organismos através de seu metabolismo, principalmente pela respiração aeróbica ou pela fermentação de fontes de carbono orgânico. Os ácidos orgânicos podem ser derivados de raízes de plantas, material vegetal morto e entradas atmosféricas, ou podem ser adicionados ao solo como no caso da aplicação de vinhaça (LOPES-ASSAD et al., 2011).

De acordo com Gonzalez e Garlobo (1999), os ácidos orgânicos não voláteis encontrados em maior proporção na vinhaça são os ácidos succínico, glucônico, cítrico e malônico. Já para Garcia e Rojas (2006), dentre os compostos orgânicos da vinhaça, além dos álcoois, aldeídos, cetonas e ésteres, os ácidos orgânicos presentes em maior quantidade são ácido aconítico, láctico, cítrico, quínico e málico.

Experimento realizado por Lopes et al. (2011) avaliou o efeito da vinhaça na solubilização de minerais contidos em pó de diabásio e na liberação de macro e

micronutrientes. Em laboratório foram incubadas diferentes doses de pó de diabásio em vinhaça e em água destilada, por 30 dias. Ao final do experimento observaram que não houve efeito da vinhaça no pH da mistura, mas nos tratamentos com vinhaça houve maior disponibilização de nutrientes do que nos tratamentos com água destilada. Os autores também observaram diferença significativa no tempo de incubação, com aumento da liberação de nutrientes em função do tempo.

O processo de solubilização do pó de rocha decorre da presença de ácidos orgânicos na vinhaça, que mantém baixo o pH deste subproduto. Portanto para utilização conjunta de vinhaça e pó de basalto é necessário avaliar o efeito do solo na ação solubilizadora da vinhaça. Isto decorre do poder tampão do solo, que corresponde à sua capacidade de manter seu pH constante mesmo com adição de materiais que poderiam alterá-lo. Outro aspecto a ser considerado é o aumento de escala do processo. A utilização de vinhaça em escala industrial exigiria equipamentos específicos e alta demanda de energia. Uma alternativa é aplicar a vinhaça e o pó de rocha em operações separadas, aplicando-se primeiramente o pó e em seguida a vinhaça. Assim, são necessários estudos para avaliar o potencial de aplicação do pó de rocha no solo antes da fertirrigação com vinhaça e seu comportamento na disponibilização de nutrientes ao solo.

3.4. VINHAÇA

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste. Em função das diferentes épocas de colheita, tem-se garantido fornecimento de álcool e açúcar durante todo ano, tanto para o mercado interno quanto externo (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2012). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2012), a área cultivada com cana de açúcar que será colhida na safra 2012/2013 e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.520,5 mil hectares, considerando todos os Estados produtores. A previsão de produção de cana moída para a safra 2012/13 é de 595,13 milhões de toneladas, sendo que destas, 300,75 milhões serão esmagadas para geração de 23,62 bilhões de litros de etanol (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2012).

A vinhaça ou vinhoto é o resultado do processo de fabricação do álcool, após a fermentação do mosto e destilação do vinho. Possui grande carga poluidora, apresentando uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 20.000 a 35.000 mg L⁻¹.

A vinhaça pode ser classificada, de acordo com a matéria prima que lhe deu origem, em vinhaça de mosto de melão, vinhaça de mosto de caldo e vinhaça de mosto misto (ROBAINA et al., 1999). A vinhaça de mosto de melão é mais rica em minerais do que as outras, sendo o potássio o macronutriente que aparece em maior teor e o ferro, o micronutriente mais abundante (Tabela 1). Este efluente consiste de um material com cerca de 2 a 6% de constituintes sólidos e grande quantidade de matéria orgânica (de 0,38% a 6,34%), variando de acordo com o tipo de mosto utilizado (mosto de melão, mosto de caldo e mosto misto). Com relação aos minerais, Rossetto (1987) destacou a grande quantidade de potássio e os teores médios de cálcio e magnésio (Tabela 1). Dos micronutrientes, o ferro é o que apresenta maior proporção (ORLANDO FILHO et al., 1983).

Segundo Marques (2006), atualmente são produzidos em média entre 12 a 15 litros de vinhaça por litro de álcool. Mas este valor tende a diminuir devido aos avanços tecnológicos com relação aos equipamentos utilizados nas usinas sucroalcooleiras. O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos (SILVA et al., 2007). Os ácidos orgânicos presentes na vinhaça são de baixo peso molecular e realizam ligações com íons metálicos. Podem ser utilizados como agentes quelantes de cátions em muitos processos químicos e formam complexos metálicos solúveis com cátion bivalentes e trivalentes presentes no solo (MEDINA, 2006). De acordo com Garcia e Rojas (2006), os compostos orgânicos na vinhaça têm diferentes origens, podendo ser originados do melão, do processo de fermentação do álcool ou produzidos pela degradação térmica no processo de destilação do vinho obtido na etapa da fermentação alcoólica.

Tabela 1. Composição química média da vinhaça de acordo com os mostos de origem.

| Parâmetro | Mosto de Melão | Mosto de Caldo | Mosto Misto |
|---|-----------------|-----------------|----------------|
| pH | 4,2 - 5,0 | 3,7 - 4,6 | 4,4 - 4,6 |
| Temperatura (°C) | 80 -100 | 80 - 100 | 80 - 100 |
| DBO* (mg/L O ₂) | 25.000 | 6.000 - 16.500 | 19.800 |
| DQO** (mg/L O ₂) | 65.000 | 15.000 - 33.000 | 45.000 |
| Sólidos totais (mg/L) | 81.500 | 23.700 | 52.700 |
| Sólidos voláteis (mg/L) | 60.000 | 20.000 | 40.000 |
| Sólidos fixos (mg/L) | 21.500 | 3.700 | 12.700 |
| Nitrogênio (mg/L N) | 450 - 1610 | 150 - 700 | 480 - 710 |
| Fósforo (mg/L P ₂ O ₅) | 100 - 290 | 10 - 210 | 9 - 200 |
| Potássio (mg/L K ₂ O) | 3.740 - 7.830 | 1.200 - 2.100 | 3.340 - 4.600 |
| Cálcio (mg/L CaO) | 450 - 5.180 | 130 - 1.540 | 1.330 - 4.570 |
| Magnésio (mg/L MgO) | 420 - 1.520 | 200 - 490 | 580 - 700 |
| Sulfato (mg/L SO ₄) | 6.400 | 600 - 760 | 3.700 - 3.730 |
| Carbono (mg/L C) | 11.200 - 22.900 | 5.700 - 13.400 | 8.700 - 12.100 |
| Relação C/N | 16 - 16,27 | 19,7 - 21,07 | 16,4 - 16,43 |
| Matéria orgânica (mg/L) | 63.400 | 19.500 | 3.800 |
| Subst. redutoras (mg/L) | 9.500 | 7.900 | 8.300 |

*DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio. **DQO = Demanda Química de Oxigênio.

Fonte: Adaptado de Marques (2006).

A vinhaça pode alterar de formas diferentes as propriedades físicas do solo. Com a utilização da quantidade adequada, pode melhorar a agregação das partículas e facilitar a infiltração de água no solo. Mas deste modo também pode ocasionar a perda de íons por lixiviação, provocando a contaminação das águas do subsolo. Quando são aplicadas quantidades elevadas, pode ocorrer escoamento superficial e contaminação das águas superficiais (SILVA et al., 2007). Segundo Brito et al. (2009), destacam-se como efeitos positivos da aplicação de vinhaça ao solo o aumento da CTC e da disponibilidade de alguns nutrientes, e a melhoria no desenvolvimento da microfauna e microflora do solo.

No Estado de São Paulo, os despejos de vinhaça são controlados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que exige um projeto detalhado da utilização e distribuição desses resíduos conforme a Norma Técnica P4.231 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006) que estabelece critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar. A dosagem a ser aplicada no solo é estabelecida por meio de uma equação que considera a

capacidade de troca catiônica do solo, as quantidades de potássio presentes no solo e na vinhaça e quanto é extraído pela planta.

Os estudos sobre efeitos da percolação de vinhaça nos solos datam dos anos 1980 mas só na década seguinte se iniciaram efetivamente os estudos com vinhaça, voltados para a questão ambiental (BRITO et al., 2007b). Nesses estudos de percolação é comum o uso de colunas de solo, que simulam as condições de campo, respeitando-se as densidades e profundidades de cada horizonte do solo.

3.5. COLUNAS DE SOLO

Segundo Casagrande e Soares (2009), o método de percolação através de colunas de solo é um dos principais utilizados no estudo da adsorção em solos. Podem ser utilizadas colunas compostas com amostras indeformadas ou deformadas para estudar o deslocamento miscível. Este método permite reproduzir condições de campo, pois abrange tanto os efeitos químicos quanto físicos que interferem na retenção pelo solo. A utilização de colunas apresenta vantagens sobre o método batch (mais utilizado para estudos de adsorção-dessorção), pois não necessita de algumas operações de laboratório como agitação, filtração e centrifugação, possibilita facilidade na obtenção dos dados e maior exatidão em níveis baixos de adsorção e simula melhor as condições de campo.

As etapas para utilização deste método correspondem à coleta, preparo e preenchimento da coluna com solo, escolha do fluido utilizado (solução, solvente ou resíduo); coleta, armazenamento e conservação do efluente da coluna e determinação dos parâmetros de interesse; tratamento dos dados obtidos através da construção de curvas de eluição e mobilidade do elemento; e aplicação das curvas e elaboração de modelos e equações no intuito de prever a mobilidade deste elemento no solo (CASAGRANDE e SOARES, 2009).

Como exemplos de utilização deste método pode-se citar, dentre outros, avaliação do comportamento de herbicidas no solo (MATALLLO et al., 2003; BARIZON et al., 2006); o efeito da compactação no desenvolvimento de culturas (JIMENEZ et al., 2008; CALONEGO et al., 2011), lixiviação de íons no perfil do solo (BRITO et al., 2007a; PIOVESAN et al., 2009; SAMPAIO et al., 2010) e disponibilidade de nutrientes após aplicação de fertilizantes minerais ou orgânicos (BRITO et al., 2005; BRITO et al., 2009; BERTOL et al., 2010).

Barizon et al. (2006) realizaram experimento para avaliar a sorção e a mobilidade do imazaquin em solos com diferentes características químicas, físicas e mineralógicas, utilizando as técnicas de deslocamento miscível e “batch”. Foram utilizados três tipos de solo (Latosolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Neossolo Quartzarênico). Para realização do experimento em colunas, foram coletadas amostras deformadas dos solos e colunas de vidro. Observou-se que houve diferença nos coeficientes de sorção entre os dois métodos utilizados.

Em trabalho de Jimenez et al. (2008), avaliou-se em casa de vegetação o crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação do solo. Foi utilizado um Latossolo Vermelho colocado em colunas de PVC, nas quais foi reproduzido o perfil do solo, simulando uma camada de compactação. Verificou-se que a compactação adotada não restringiu o crescimento do sistema radicular das espécies utilizadas.

Piovesan et al. (2009) avaliaram o efeito da aplicação de dejetos líquidos de bovinos e fertilizantes minerais na lixiviação de NH_4^+ , NO_3^- , P e K em um Latossolo Bruno. Foram utilizadas colunas de PVC para simular o perfil do solo, nas quais foram colocadas amostras indeformadas de solo e depois saturadas com água deionizada. Observou-se que para o dejetos, houve aumento no lixiviado coletado de N- NH_4^+ , P e K; com o fertilizante mineral houve aumento de N- NO_3^- e K.

Brito et al. (2009) utilizaram colunas de PVC para realizar experimento para avaliar o comportamento de Espodosolo, Nitossolo e Argissolo antes e após a aplicação de vinhaça. Os autores observaram que nos tratamentos com vinhaça houve aumento de pH e K^+ e alteração nas concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ .

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solos e Mineralogia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no município de Araras (22°18'S e 47°23'W), em São Paulo.

A vinhaça utilizada, proveniente de mosto de melaço, foi coletada em uma usina de produção de açúcar e álcool em Piracicaba e foi mantida congelada até sua utilização. A análise de seus atributos (Tabela 2) foi feita de acordo com a metodologia proposta por Rodella (1983) pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Plantas do Campus de Araras da UFSCar. O pH foi obtido potenciométricamente, o carbono foi

extraído por dicromato de potássio $0,17 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido sulfúrico, o nitrogênio foi extraído por digestão sulfoperclórica e determinado por método Kjeldahl. Para o enxofre foi utilizada a turbidimetria. Fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e manganês (Mn) foram extraídos pela digestão nítrico-perclórica. O cobre (Cu) e o zinco (Zn) foram extraídos por uma solução extratora composta por ácido clorídrico $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido sulfúrico $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. O P, Ca, S, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn foram determinados por espectrometria de absorção atômica, o K por fotometria de emissão por chama e o carbono em espectrômetro de absorção molecular.

Tabela 2. Caracterização química da vinhaça proveniente de mosto de melação obtida no município de Piracicaba.

| Vinhaça | pH | C | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | SO ₄ | Cu | Fe | Mn | Zn |
|---------|-----|------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------|------|------|-----------------|---------------------|-------|-------|------|
| | | — g dm ⁻³ — | mmolc dm ⁻³ | | | | | | mg dm ⁻³ | | | |
| | 4,2 | 21,83 | 0,62 | 4,23 | 110,0 | 53,6 | 25,1 | 92,2 | 30,0 | 581,0 | 313,1 | 54,2 |

O pó de basalto, fornecido pela Pedreira Remanso, de Cordeirópolis (SP), foi peneirado até chegar ao tamanho menor ou igual a 0,3 mm. Este foi caracterizado quimicamente (Tabela 3) (Tabela 1 do Apêndice 1) no Acme Analytical Laboratories LTD, no Canadá. De acordo com Alcarde (2005), pela legislação brasileira para corretivos e condicionadores de solo, a fração menor ou igual a 0,3 mm reage 100% em até três meses. Embora o pó de rocha apresente baixa solubilidade e não seja considerado um corretivo, mas sim um condicionador de solo, recomenda-se a adoção desta granulometria para facilitar o manejo deste resíduo.

Tabela 3. Caracterização química do pó de basalto coletado no município de Cordeirópolis.

| | SiO ₂ * | Fe ₂ O ₃ * | K ₂ O* | Al ₂ O ₃ * | Na ₂ O* | MgO* | CaO* | P ₂ O ₅ * |
|-----------|--------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|-------|--------|---------------------------------|
| Basalto** | 50,31% | 12,62% | 0,84% | 13,94% | 2,24% | 6,91% | 10,16% | 0,09% |

* Determinação por Espectrometria de massa com fonte de plasma induzido (ICP-MS) e Espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma induzido (ICP-AES)

**Análise química realizada pela Acme Analytical Laboratories LTD.

4.1. DETERMINAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS

Além da caracterização química, foi realizada a determinação dos ácidos orgânicos presentes na vinhaça coletada. A amostra de vinhaça foi preparada, em triplicata, para a determinação dos ácidos oxálico, málico, cítrico e tartárico, por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detector espectrofotométrico com arranjo de diodos (DAD). As substâncias orgânicas solúveis em água foram extraídas após agitação, a 200 rpm por uma hora, da qual o sobrenadante foi separado e centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos. Em seguida, o volume foi reduzido em rotavapor e o resíduo foi dissolvido em metanol para posterior identificação e quantificação dos ácidos orgânicos alifáticos, por meio da CLAE. Procedeu-se a diluição 1:50 da amostra para evitar a sobreposição de picos e a eliminação de possíveis interferentes presentes. A separação foi conduzida em coluna cromatográfica C18, com fase móvel constituída de H_2SO_4 0,005 mol L^{-1} . Os ácidos orgânicos foram identificados pela comparação do tempo de retenção de cada substância na amostra e padrões analíticos, assim como dos espectros ultravioleta dos padrões e das amostras.

Inicialmente, as amostras de vinhaça foram apenas centrifugadas e filtradas. No entanto, este procedimento não foi eficaz na separação dos diversos interferentes presentes na vinhaça e a separação cromatográfica não teve boa resolução dos picos. Em decorrência destes resultados, novo procedimento foi conduzido na tentativa de se eliminar alguns compostos fenólicos, que poderiam estar eluídos como possíveis interferentes. Para tal, as amostras foram, previamente, tratadas com polivinil-polipirrolidone (PVPP), centrifugadas e filtradas em filtros CHROMAFIL® com porosidade de 0,20 μm , para separação dos interferentes por SPE (do inglês, solid phase extraction). No entanto, os cromatogramas obtidos ainda apresentavam vários picos, além daqueles encontrados para os ácidos orgânicos investigados. Isto porque estes interferentes estavam sendo eluídos juntamente com os ácidos orgânicos presentes na amostra.

Os espectros de absorção de cada pico, na CLAE foram adquiridos entre os comprimentos de onda de 190 a 500 nm. Algumas tentativas foram conduzidas para minimização do efeito destes interferentes, como a diminuição do fluxo da fase móvel. No entanto, não foi observada melhorias na separação cromatográfica.

4.2 COLETA E AMOSTRAGEM DOS SOLOS

Visando avaliar o processo de disponibilização de nutrientes em solos com grande diferença entre suas características químicas e físicas, foram utilizados materiais coletados em dois perfis de solos, um localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, localizado em Araras e outro localizado no município de Leme (SP), distante cerca de 20 km do CCA.

Nos dois locais foram abertas trincheiras e os solos foram descritos, analisados e classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) como Latossolo Vermelho Eutrófico muito argiloso, para o perfil do CCA, e Neossolo Quartzarênico Órtico, para o perfil de Leme. Estes solos serão doravante aqui identificados como Latossolo e Neossolo.

Para o preenchimento de colunas de PVC, foi coletado material de solo em duas camadas (0-0,20 m e 0,20-0,50 m de profundidade), de modo a garantir a representação de um horizonte superficial e de um horizonte subsuperficial cuja profundidade de amostragem está relacionada com a faixa de exploração pelo sistema radicular da maioria das plantas cultivadas de ciclo curto.

Durante a coleta do solo foram extraídas amostras das trincheiras para realização de análises químicas e físicas. Nos dois perfis de solo, foram coletadas cinco subamostras a cada 0,10 m de profundidade até 0,50 m. Em seguida, as cinco subamostras foram homogeneizadas em um balde, para formar uma amostra composta, tanto para a camada 0-0,20 m quanto para a camada 0,20-0,50 m. As análises de atributos químicos foram feitas no Laboratório de Análise Química de Solos e Plantas do Campus de Araras da UFSCar, com metodologias propostas por Raij et al. (2001). Foram realizadas as médias dos resultados obtidos para as cinco camadas coletadas para obter valores médios para a camada de 0-0,20 m e 0,20-0,50 m de profundidade (Tabela 4).

Para caracterização física foram coletadas amostras indeformadas e deformadas de solo. As amostras indeformadas foram coletadas com um anel volumétrico de 50 cm³ para determinação da densidade do solo (Ds) utilizando a metodologia do anel volumétrico. Estas amostras foram coletadas em três repetições, nas profundidades de 0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, totalizando nove amostras. As amostras deformadas também foram coletadas em três repetições para cada camada nas profundidades de 0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, totalizando nove amostras e nelas foram determinadas a densidade das partículas (Dp) e a granulometria da fração fina (menor

que 2,0 mm) pelo método do picnômetro e método da pipeta, respectivamente. As análises físicas foram feitas no Laboratório de Física do Solo do Campus de Araras da UFSCar, com metodologias propostas por Camargo et al. (2009). Semelhante às análises químicas, para as análises físicas também foram realizadas as médias dos resultados obtidos para as três camadas coletadas para obter valores médios para a camada de 0-20 cm e 20-50 cm de profundidade (Tabela 4) (Tabelas 2, 3 e 4 do Apêndice 1). Após a coleta, o solo foi secado ao ar em casa de vegetação, destorroado e peneirado em peneira de 10 mesh (2,0 mm).

Tabela 4. Características químicas e físicas do Latossolo e do Neossolo utilizados em experimento com vinhaça e pó de rocha.

| Parâmetros | Unidades | Latossolo | | Neossolo | |
|-------------------------|------------------------------------|--------------|-------------|------------|-------------|
| | | Profundidade | | | |
| | | 0-20 cm | 20-50 cm | 0-20 cm | 20-50 cm |
| P Resina | mg dm ⁻³ | 24,5 | 3,3 | 1,0 | 1,0 |
| M.O. | g dm ⁻³ | 33,0 | 23,7 | 4,0 | 2,0 |
| pH (CaCl ₂) | | 5,5 | 5,5 | 4,1 | 4,0 |
| K | | 3,9 | 2,2 | 1,3 | 2,1 |
| Ca | | 27,0 | 18,7 | 2,5 | 1,0 |
| Mg | | 9,0 | 7,7 | 1,0 | 1,0 |
| H+Al | mmol _c dm ⁻³ | 28,0 | 25,0 | 21,0 | 18,0 |
| Al | | 0,6 | 0,5 | 7,8 | 7,3 |
| SB | | 39,6 | 28,4 | 4,3 | 3,7 |
| CTC | | 67,6 | 53,4 | 25,3 | 21,7 |
| V | % | 58,5 | 52,0 | 17,0 | 17,0 |
| S | | 4,5 | 7,3 | 6,5 | 14 |
| B | | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| Cu | mg dm ⁻³ | 6,2 | 4,2 | 0,4 | 0,4 |
| Fe | | 28,5 | 24,0 | 29,5 | 22,7 |
| Mn | | 11,2 | 8,9 | 0,3 | 0,3 |
| Zn | | 1,25 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| Massa específica | Solo (g cm ⁻³) | 1,3 | 1,3 | 1,78 | 1,8 |
| | Partícula (g cm ⁻³) | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 2,70 |
| Análise Granulométrica | Argila (%) | 58,7 | 63,0 | 8,0 | 6,1 |
| | Areia (%) | 14,7 | 14,0 | 91,0 | 90,2 |
| | Silte (%) | 26,6 | 23,0 | 1,0 | 3,7 |
| Relação Silte/Argila | | 0,45 | 0,37 | 0,13 | 0,61 |

Para alcançar os objetivos propostos foram montados dois ensaios utilizando colunas de tubos de policloreto de vinila (PVC). O primeiro ensaio teve por objetivo avaliar duas formas de aplicação de vinhaça no solo e seu efeito na solubilização de minerais contidos em pó de basalto. Este primeiro ensaio permitiu também avaliar a metodologia e o funcionamento das colunas de PVC. O segundo ensaio teve por objetivo avaliar o efeito de misturas de vinhaça e doses de pó de basalto em solos de textura argilosa e de textura arenosa.

4.3 MONTAGEM DAS COLUNAS

As colunas de tubos de PVC utilizadas possuíam 67 cm de altura e 19 cm de diâmetro interno. Para a montagem das colunas foi adaptado o esquema proposto por Casagrande e Soares (2009).

Em cada coluna foram utilizados três anéis de tubo de PVC com 22 cm de altura. A coluna foi fechada na base por meio de uma tampa de PVC. Os anéis foram colados com adesivo plástico para PVC, de modo a formar uma coluna única de 67 cm de altura. Visando coletar possíveis excessos de líquidos (lixiviado) decorrentes dos tratamentos nas colunas, foi feito um furo 3/4", com uma broca chata, na região da base, para colocação de um bico adaptador para mangueira.

Para evitar a perda de material de solo junto com o lixiviado foram colocadas cinco camadas sucessivas constituídas por argila expandida, tela de nylon, argila expandida, pano multiuso e novamente tela de nylon (Figura 2). O pano multiuso e as telas de nylon foram fixados à parede interna da coluna com adesivo plástico para PVC. Esses materiais formaram uma camada de 10 cm de altura.

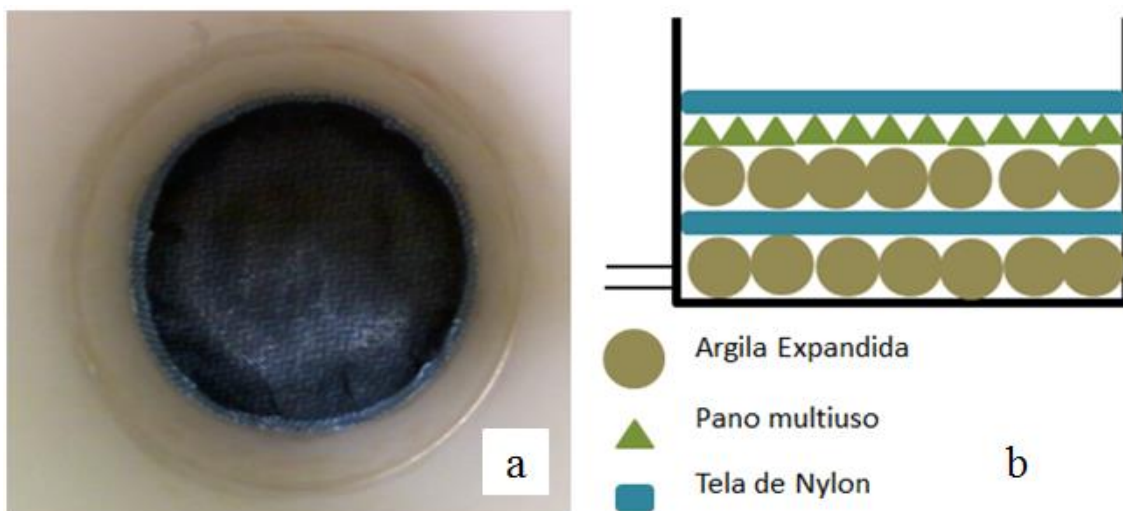


Figura 2. Vista de cima (a) e esquema (b) da camada de retenção na base da coluna formada por cinco camadas sucessivas de argila expandida, tela de nylon, argila expandida, pano multiuso e tela de nylon.

A argila expandida é muito empregada também na construção civil, é derivada do aquecimento a 1200°C de alguns tipos de argila. A essa temperatura, a argila funde e libera alguns gases que expandem o material em até 7 vezes o tamanho inicial (MORAVIA et al., 2006).

Em cada coluna foi adicionado solo em duas partes, de acordo com as camadas coletadas (0 a 20 cm e 20 a 50 cm de profundidade), até formar uma camada com altura de 0,50 m. O preenchimento das camadas foi feito com terra fina seca ao ar (TFSA), peneirada em peneira de malha de 2mm (CUNHA e MORAES, 2007; BOEIRA e SOUZA, 2005). A quantidade de solo adicionada foi calculada com base no volume de cada tubo e na densidade original das camadas coletadas (Tabela 5), conforme Boeira e Souza (2005).

Tabela 5. Quantidade de material de solo utilizado nas colunas de PVC em ensaios de misturas de pó de basalto e vinhaça.

| Solo | Densidade (kg m ⁻³) | Quantidade (kg) |
|---|---------------------------------|-----------------|
| Camada 0-0,20 m – Volume = 0,0057 m ³ | | |
| Latossolo | 1.300 | 7,41 |
| Neossolo | 1.780 | 10,15 |
| Camada 0,20-0,50 m – Volume = 0,0085 m ³ | | |
| Latossolo | 1.300 | 11,05 |
| Neossolo | 1.800 | 15,30 |

O preenchimento da coluna (Figura 3) foi feito por etapas, calculando-se a quantidade de solo para cada 10 cm de altura da coluna. Foi utilizado um funil de haste longa que foi levantado lentamente, para permitir uma separação mínima das partículas do solo. A cada 2,5 cm de solo colocado, foi provocada uma agitação no interior da coluna, por meio de leves batidas na parede externa com um martelo de borracha, conforme proposto por MELO et al. (2006). Ao final da montagem, a coluna ficou constituída de 0,50 m de solo e 0,10 m de camada de retenção, totalizando 0,60 m preenchidos.

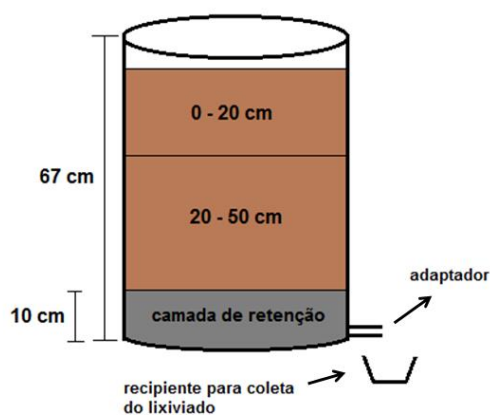


Figura 3: Esquema da coluna de PVC preenchida com o solo.

Após o preenchimento, as colunas foram colocadas sobre anteparos (tijolo cerâmico), com a finalidade de sustentar o peso e facilitar as operações de aplicação dos tratamentos, de irrigação e coletas de lixiviado. Para a coleta do líquido excedente, foram posicionados frascos de plástico fechados com tampa plástica sob os adaptadores colocados na base das colunas.

Todo líquido colocado na coluna, foi aplicado sobre uma tela de nylon para evitar o fluxo preferencial e desagregação da camada superficial do solo. Toda solução excedente proveniente das colunas foi coletada e analisada no Laboratório de Análise Química de Solos e Plantas do Campus de Araras da UFSCar.

4.4. ENSAIO 1: AVALIAÇÃO DA FORMA DE APLICAÇÃO DE VINHAÇA E PÓ DE BASALTO

O primeiro ensaio, realizado no período de maio a junho de 2012, foram testadas duas formas de aplicação de vinhaça e pó de basalto: mistura incubada por 24 horas e vinhaça aplicada diretamente no solo após aplicação do pó de basalto.

Foram adotados três tratamentos com três repetições, totalizando nove colunas, todas com solo argiloso (Latosolo):

T1 – 200m³ ha⁻¹ vinhaça + 2 t ha⁻¹ pó de basalto + Latossolo

T2 – 200m³ ha⁻¹ vinhaça + 2 t ha⁻¹ pó de basalto (incubação) + Latossolo

T3 – 200 m³ ha⁻¹ água destilada + 2 t ha⁻¹ pó de basalto + Latossolo.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, sendo que as parcelas correspondiam aos tratamentos, os blocos correspondiam às repetições e as subparcelas correspondiam aos tempos.

Em T1 e T3, o pó de basalto foi incorporado ao solo na camada de 0 – 0,20 m de profundidade, no momento de preenchimento da coluna e depois foi aplicado vinhaça em T1 e água destilada em T3. Em T2, o pó de rocha foi previamente incubado com vinhaça por 24 horas, antes de ser aplicado na coluna, conforme Lopes et al. (2011), que observaram que após 24 horas de experimento já havia ocorrido solubilização de elementos contidos no pó de diabásio, com exceção do cobre.

A aplicação de vinhaça em T1 e T2 foi feita uma única vez, no início do experimento. Em cada coluna, foram utilizados 0,567 L de solvente (água destilada ou vinhaça) e 5,67 g de pó de basalto. O ensaio teve duração de 30 dias, com coletas de amostras para análise de solo, na camada superficial de 0 – 0,20 m aos 1, 7, 15 e 30 dias após aplicação.

Ao longo do experimento, e em todas as colunas, foram aplicadas doses de água destilada, em quantidade e frequência de dias definidas a partir da série histórica do mês de novembro da região de Araras dos anos de 1971 a 2011, disponível no portal do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar. Assim, considerou-se a precipitação de 150

mm de chuva e a frequência de 11 dias de chuva, durante o período de tempo do ensaio. A média de precipitação para cada dia de chuva foi de 13,63 mm. As aplicações variaram de 10 a 20 mm, de modo a totalizar 150 mm.

As coletas de solo foram realizadas a cerca de 10-12 cm de profundidade com auxílio de uma espátula. De cada coluna foram retirados 0,2 kg de material de solo, a cada tempo de amostragem, totalizando 0,8 kg até o final do ensaio. Após cada coleta, o orifício resultante era coberto com o próprio solo da camada superficial (Figura 4).

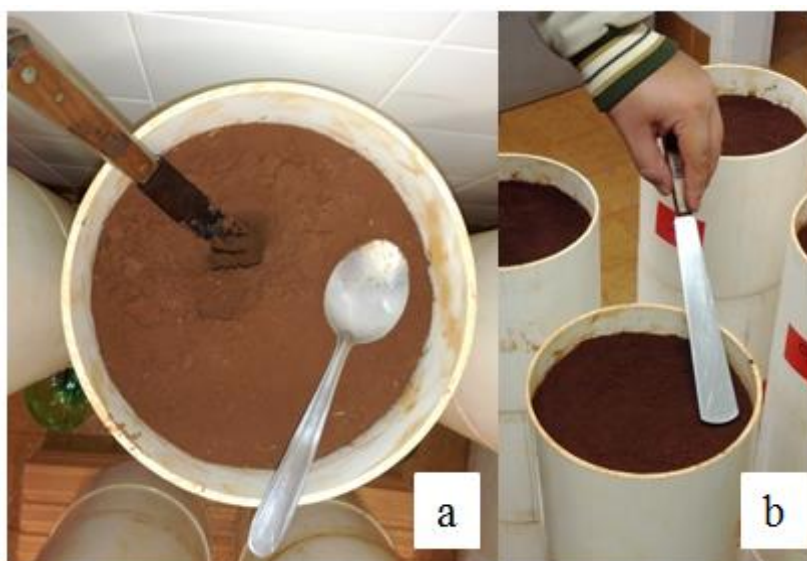


Figura 4. Coleta de solo: (a) extração das amostras para análise química; (b) recobrimento do orifício realizado para coleta.

Os parâmetros analisados nas amostras coletadas na superfície foram os teores de P, Ca, Mg, K, enxofre (S), boro (B), Fe, Cu, Mn, Zn, alumínio (Al) e matéria orgânica, o pH em CaCl_2 , a acidez potencial (H+Al), e os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V). O pH foi determinado potenciométricamente em CaCl_2 . A determinação de matéria orgânica foi realizada pelo método volumétrico com dicromato de sódio e determinação em fotocolorímetro. O H+Al foi determinado pelo tampão SMP (Shoemaker, Mclean e Pratt) e leitura direta em pHmetro. As extrações de Ca, Mg, K e P foram feitas por meio de resina trocadora de íons e as extrações de Fe, Cu, Zn e Mn foram feitas com ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA). A extração de S foi feita com fosfato monocálcico e a de B por meio de solubilização pelo cloreto de cálcio em água quente. A extração do Al foi feita com cloreto de potássio (KCl). O P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn,

Mg, B e S trocáveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o K trocável por fotometria de emissão por chama. Todas as análises foram feitas conforme Rajj et al. (2001) e foram calculados os valores de SB, V e CTC.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e a comparação entre as médias foi feita por meio do teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância e pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4.5. ENSAIO 2: EFEITO DE VINHAÇA E DOSES DE PÓ DE BASALTO EM DOIS TIPOS DE SOLOS

No segundo ensaio, montado no período de agosto a novembro de 2012, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas (Figura 5), representando nos tratamentos $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dois solventes (água destilada e vinhaça), dois tipos de solo (Latosolo e Neossolo) e três doses de pó de basalto (zero, 2 t ha^{-1} e 4 t ha^{-1}), com três repetições. Foram adotados 12 tratamentos com três repetições totalizando 36 colunas (Figura 6), assim identificados:

T1 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vinhaça + 2 t ha^{-1} pó de basalto + Latossolo

T2 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vinhaça + 4 t ha^{-1} pó de basalto + Latossolo

T3 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vinhaça + 2 t ha^{-1} pó de basalto + Neossolo

T4 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vinhaça + 4 t ha^{-1} pó de basalto + Neossolo

T5 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vinhaça + Latossolo

T6 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vinhaça + Neossolo

T7 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ água destilada + 2 t ha^{-1} pó de basalto + Latossolo

T8 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ água destilada + 4 t ha^{-1} pó de basalto + Latossolo

T9 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ água destilada + 2 t ha^{-1} pó de basalto + Neossolo

T10 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ água destilada + 4 t ha^{-1} pó de basalto + Neossolo

T11 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ água destilada + Latossolo

T12 = $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ água destilada + Neossolo

A quantidade de vinhaça a ser aplicada é monitorada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e deve-se aplicar quantidades relativas à necessidade da cana no ano de cultivo, descontando o que o solo pode fornecer. Entretanto, conforme consta

no Termo de Referência para o Workshop Tecnológico de Vinhaça¹, realizado em setembro de 2007 na UNESP – Jaboticabal, para as soqueiras, a dose de vinhaça geralmente aplicada varia de 50 a 300 m³ ha⁻¹. Com base nesta informação, adotou-se como base de cálculo a dose de 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça.

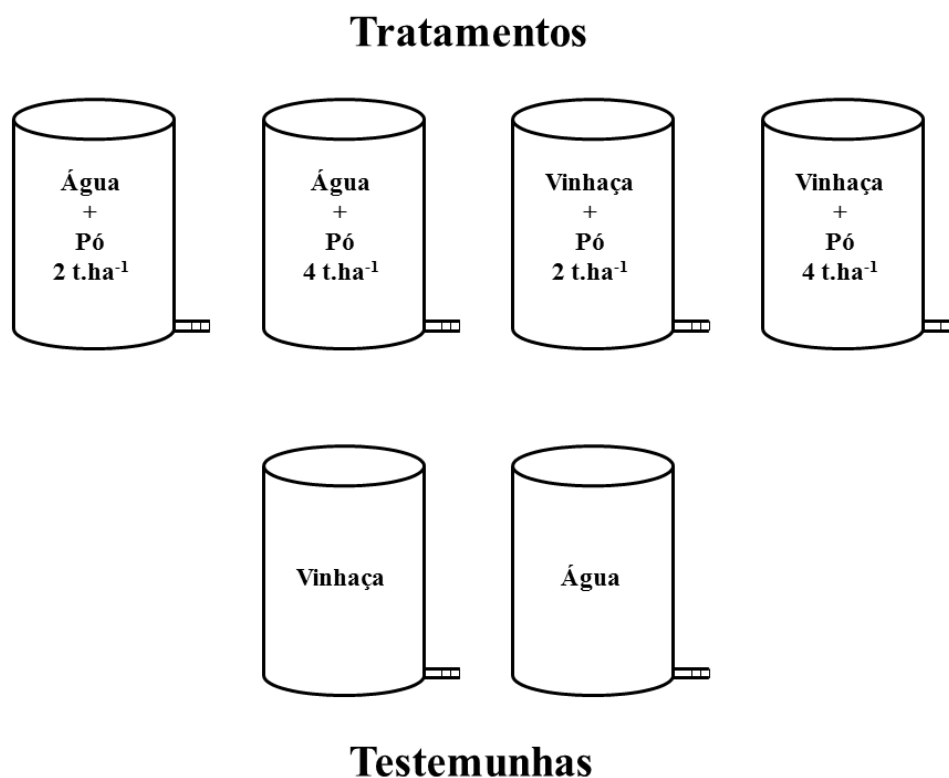


Figura 5. Representação esquemática dos tratamentos e testemunhas utilizados para cada tipo de solo.

Em função dos resultados do primeiro ensaio, em todos os tratamentos com pó de basalto no segundo ensaio, o agromineral foi incorporado na camada superficial do solo de 0 – 0,20 m, até a profundidade de 0,15 m no momento de preenchimento da última camada na coluna, aplicando-se em seguida água destilada ou vinhaça, conforme o tratamento.

¹ Termo de Referência para o Workshop Tecnológico de Vinhaça, disponível em http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Termo_de_Referencia_Vinhaça.pdf. Consultado em 19 de março de 2013.



Figura 6. Vista geral do experimento, delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas das colunas de Latossolo e Neossolo, após a aplicação dos tratamentos (vinhaça ou água destilada).

O ensaio teve duração de 90 dias, com seis coletas de solo feitas aos 1, 15, 30, 45, 60 e 90 dias após aplicação da vinhaça. A aplicação de vinhaça foi feita uma única vez, no início do experimento. Na primeira adição foram colocados em cada coluna 0,567 L de solvente (água destilada ou vinhaça) e 5,67 g de pó de basalto, nos tratamentos com 2 t ha⁻¹, e 11,34 g nos tratamentos com 4 t ha⁻¹ de pó de basalto. Estes valores correspondem à simulação de aplicação de 200 m³ ha⁻¹ (água destilada ou vinhaça), de acordo com a área da superfície de cada coluna. Ao longo do experimento, e em todas as colunas, foram aplicadas doses de água destilada, inclusive naquelas que receberam uma dose de vinhaça no início do experimento.

A quantidade de água e a frequência de aplicação foram definidas com base no comportamento da chuva na região de Araras. Para tanto, foi feita a análise da série histórica de dados de chuva da região de Araras no período de 18 anos. Foram considerados os meses de novembro, dezembro e janeiro. Foi realizada a média da precipitação dos municípios de Rio Claro, Leme, Limeira, Mogi Guaçu e Conchal, próximos a Araras, por meio de consulta ao Sistema Agritempo². Assim, foi simulada a precipitação de 515 mm e a frequência de 34 dias de chuva durante o período de tempo

² Sistema Agritempo - www.agritempo.gov.br. Consultado em 15 de julho de 2012.

do ensaio. Como a média de precipitação para cada dia de chuva foi de 15,15 mm, foram aplicados volumes de 10 a 20 mm. Assim como no primeiro ensaio, as aplicações de água destilada e vinhaça foram realizadas com a utilização de uma tela de nylon sobre o solo superficial da coluna (Figura 7) para evitar fluxo preferencial e desagregação do solo pelo impacto do líquido.

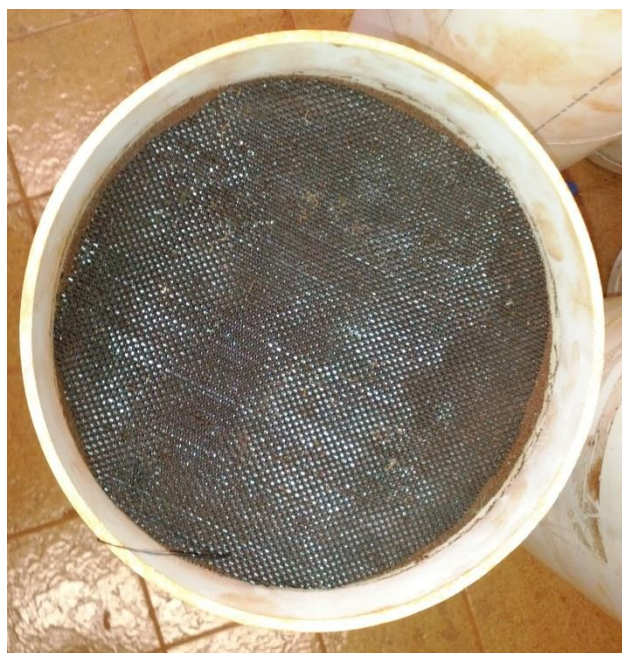


Figura 7. Detalhe de uma coluna com a tela de nylon utilizada para aplicação de doses de vinhaça e de água destilada.

As coletas de solo foram realizadas até 0,12 m com auxílio de uma espátula. A adoção dessa profundidade está relacionada com a profundidade na qual o pó de basalto foi incorporado. Em cada coluna, foram coletados 0,2 kg de material de solo, de modo que ao final do experimento foram retirados 1,2 kg. Após cada coleta, o orifício resultante foi fechado com o próprio solo da camada superficial. Ao final do experimento, as colunas foram desmontadas e foi realizada amostragem na camada 0,20 – 0,50 m (Figura 8).

Os parâmetros analisados tanto nas amostras de superfície quanto em profundidade foram: P, matéria orgânica, pH em CaCl₂, Ca, Mg, K, H+Al, Al, SB, CTC, V, S, B, Fe, Cu, Mn e Zn. No lixiviado das colunas foram analisados os teores de Ca, Mg, K, SO₄, Fe, Mn e Zn. Para estas amostras não houve preparação prévia e os teores foram determinados diretamente na solução.

O pH foi determinado potenciometricamente em CaCl_2 . A determinação de matéria orgânica foi realizada pelo método volumétrico com dicromato de sódio e determinação em fotocolorímetro. O H+Al foi determinado por meio do tampão SMP (Shoemaker, Mclean e Pratt) e leitura direta em pHmetro. As extrações de Ca, Mg, K e P foram feitas por meio de resina trocadora de íons e as extrações de Fe, Cu, Zn e Mn foram feitas com ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA). A extração de S foi feita com fosfato monocálcico e a de B por meio de solubilização pelo cloreto de cálcio em água quente. A extração do Al foi feita com cloreto de potássio (KCl). O P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Mg, B e S trocáveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o K trocável por fotometria de emissão por chama. Todas as análises foram feitas conforme Raij et al. (2001). Após às análises foram calculados os valores de SB, V e CTC.



Figura 8. Coleta, ao final do experimento, de amostras na profundidade de 0,20 – 0,50 m.

Todos os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), utilizando parcelas subdivididas, na qual as parcelas correspondiam aos tratamentos, os blocos correspondiam às repetições e as subparcelas correspondiam aos tempos. A comparação das médias foi feita de duas formas. Nos resultados obtidos para a camada superficial foi feita a análise de variância e as médias foram comparadas por meio do

Teste de Scott-Knott, no nível de 5% de significância, utilizando o programa disponível no site do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar. Entretanto, como cerca de 30 dados em todo o conjunto de dados levantado para a camada superficial pareciam discrepantes, esses dados foram eliminados e utilizou-se o LSmeans (*least square means* ou médias de mínimos quadrados) para as comparações de médias e as análises de desdobramento. Quando significativos, os desdobramentos realizados foram solo x solvente, solo x dose, solvente x dose, solo x solvente x dose, tempo, solo x tempo, solvente x tempo, solo x solvente x tempo, solo x dose x tempo, solvente x dose x tempo e solo x solvente x dose x tempo. Essas análises foram feitas por meio do programa SAS versão 9.3. Para os dados da camada 0,20-0,50 m e do lixiviado foram calculadas as médias e o desvio padrão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DETERMINAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS POR CLAE

A Figura 9 apresenta os cromatogramas obtidos para a mistura de padrões e para a amostra de vinhaça. Estes indicam a presença dos ácidos cítrico, málico, succínico e lático, enquanto os cromatogramas de 3 replicatas desta amostra (Figura 10) apresentam diversos outros compostos que co-eluíram em tempos mais prolongados de separação. Estas substâncias podem configurar potenciais interferentes presentes na vinhaça ou pode, até mesmo, tratar-se de outros ácidos orgânicos presentes, que apresentam maiores tempos de retenção na coluna cromatográfica usada. Estes compostos concomitantes interferem, significativamente, na quantificação dos principais ácidos investigados.

Algumas tentativas foram conduzidas para minimização do efeito destes interferentes, como a diminuição do fluxo da fase móvel e maior diluição da amostra. No entanto, não foram observadas melhorias na separação cromatográfica. De todo modo, em função dos tempos de retenção observados para os constituintes da amostra serem próximos aqueles dos padrões analíticos, pode-se afirmar a presença dos ácidos cítrico ($C_6H_8O_7$, tricarboxílico), málico ($C_4H_6O_5$, dicarboxílico), succínico ($C_4H_6O_4$, dicarboxílico) e lático ($C_3H_6O_3$, monocarboxílico) na amostra de vinhaça utilizada.

Os cromatogramas (Figura 10) gerados em diferentes tempos de corrida cromatográfica permitiram visualizar uma variedade de picos de compostos presentes na vinhaça, os quais podem ser atribuídos a outros ácidos orgânicos presentes na vinhaça

utilizada. Entretanto, interferentes podem, também, estar sendo co-eluídos, o que dificulta a identificação e quantificação destes ácidos. O principal fator para a presença destes possíveis interferentes deve-se à complexidade que a vinhaça apresenta em sua composição. Para que se obtenha uma separação cromatográfica eficiente, estas amostras precisam ser tratadas previamente de forma a eliminar estes compostos que se configuram potenciais interferentes na determinação de ácidos orgânicos. Este procedimento demanda tempo e não foi possível a conclusão de uma separação eficiente desta classe de compostos para a identificação e quantificação dos principais ácidos orgânicos presentes na vinhaça em estudo.

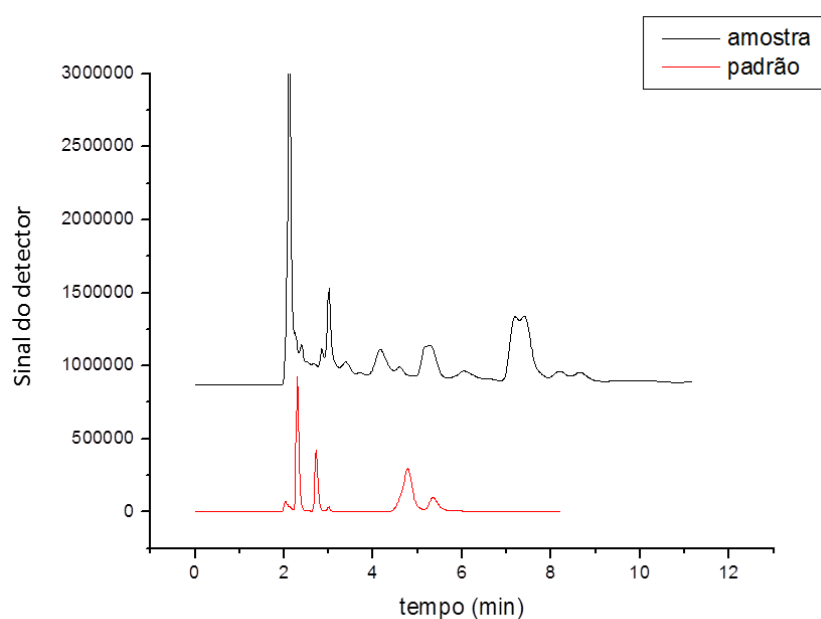


Figura 9. Cromatogramas da mistura dos padrões e da amostra de vinhaça usada em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.

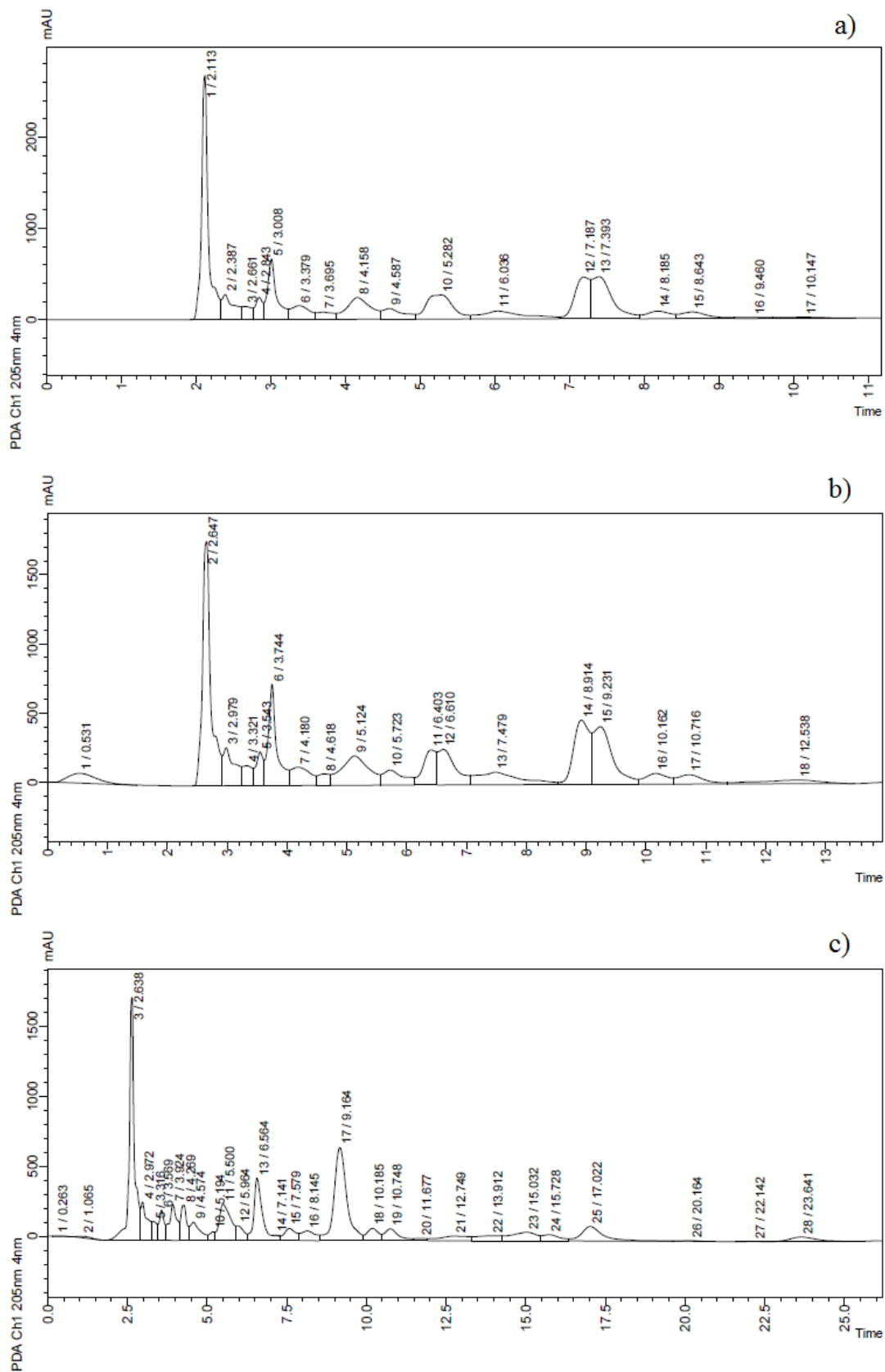


Figura 10. Cromatogramas da amostra de vinhaça, com ampliação no tempo de corrida. Amostra usada em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: a) 11 minutos, b) 14 minutos e c) 25 minutos.

5.2. ENSAIO 1: AVALIAÇÃO DA FORMA DE APLICAÇÃO DE VINHAÇA E PÓ DE BASALTO

Nos resultados do primeiro ensaio foi observado que as amostras coletadas após um dia de experimento em todos os tratamentos, apresentaram os maiores valores para todos os parâmetros analisados, significativos ou não no nível de 95 % de confiança. Isto porque a vinhaça aplicada ainda estava na superfície do solo e os nutrientes provenientes deste efluente estariam concentrados na camada superficial.

A condutividade hidráulica varia de acordo com características do solo como porosidade total, distribuição do tamanho dos poros, tortuosidade e textura, e também em função das características do fluido, como densidade e viscosidade (MEDEIROS et al., 2009). De acordo com Carvalho et al. (2009), a vinhaça apresenta viscosidade 10 % maior do que a água. Com isso, sua velocidade de infiltração é menor. Assim, na coleta de um dia, não houve tempo para distribuição da vinhaça ao longo da coluna.

Já aos sete dias, os teores de nutrientes apresentaram-se menores do que na primeira coleta. Neste momento, a vinhaça já teria se distribuído no perfil por gravidade. Além disso, aos sete dias, já haviam sido aplicados 35 mm de água destilada, provocando diluição da vinhaça anteriormente aplicada. Segundo Lelis Neto (2008), o mecanismo de difusão-dispersão hidrodinâmico é um dos processos de transporte de solutos no solo, no qual o soluto se movimenta pelo meio poroso; a dispersão age diluindo o soluto.

Na comparação entre os tratamentos com pó de basalto incorporado e pó de basalto incubado, não houve diferença significativa nos atributos P, MO, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC, V, B, Cu, Fe, Mn e Zn, enquanto que pH em CaCl₂ e teores de K e S apresentaram diferença significativa (Tabelas 5 a 38 do Apêndice 1).

Na comparação entre tratamentos com vinhaça (com pó incubado ou incorporado) e com água destilada, observou-se que os primeiros apresentaram maiores valores para os atributos MO, pH CaCl₂, K, Ca, Mg, SB, CTC, V, S e Mn do que os tratamentos com água. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os teores de Zn, Cu, B, Al e P e os atributos H+Al e Fe foram os únicos nos quais o tratamento com água apresentou maiores valores do que os que continham vinhaça (Figura 11).

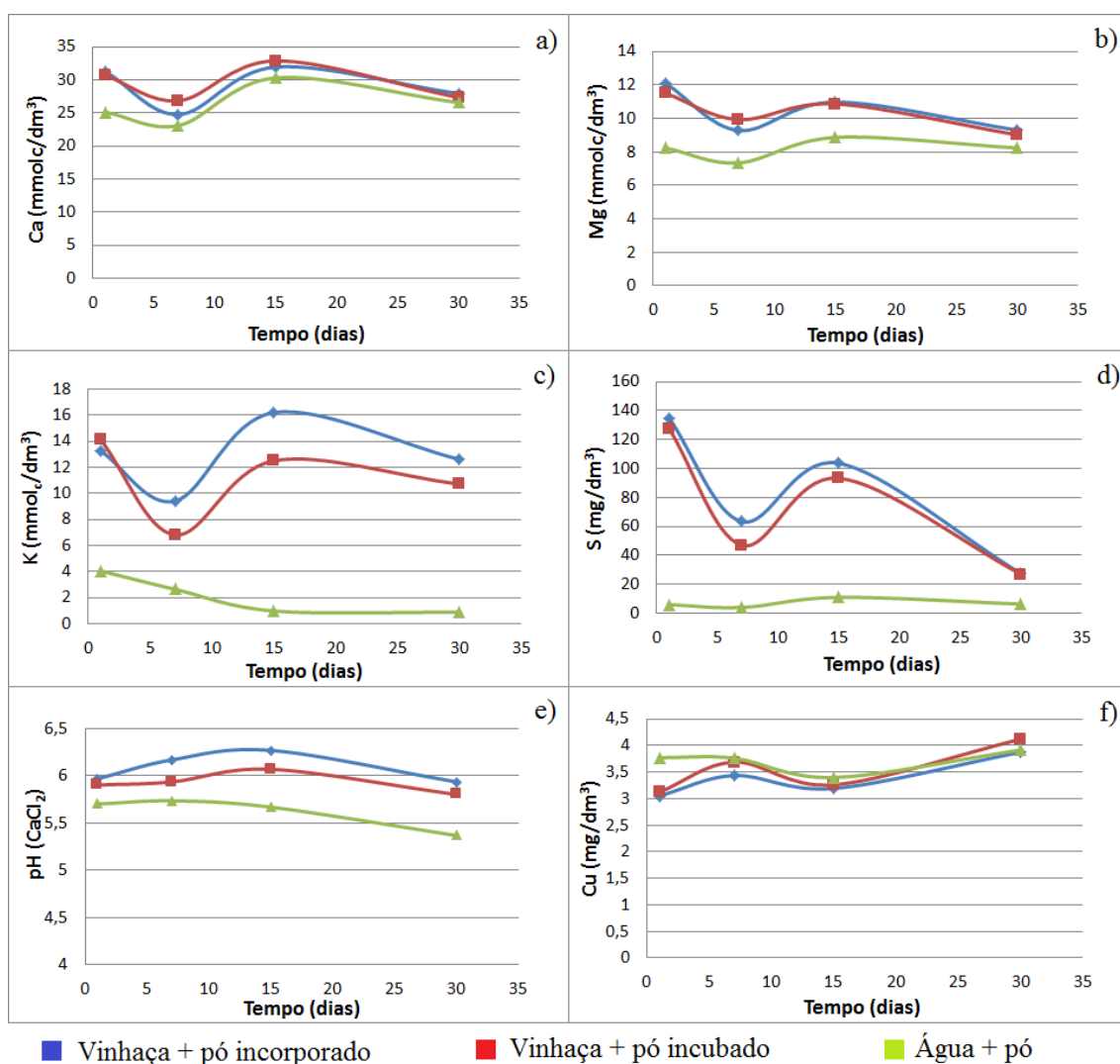


Figura 11. Valores de (a) cálcio, (b) magnésio, (c) potássio, (d) enxofre, (e) pH em cloreto de cálcio e (f) cobre obtidos durante o período de 30 dias de experimento.

A vinhaça é um material ácido mas nos tratamentos com este subproduto observou-se que a diferença do pH entre os tratamentos com vinhaça e pó de basalto, incubado e incorporado foi relativamente pequena a partir do 7º dia, com ligeira queda após 15 dias de ensaio. Isto porque, quando a matéria orgânica presente na vinhaça é adicionada ao solo, sofre ação de micro-organismos que a transformam em húmus, que neutraliza a acidez do meio (SILVA et al., 2007). A adição da vinhaça altera a acidez ativa do solo, ou seja, a quantidade de íons H^+ presentes na solução do solo, mas não altera a acidez potencial, responsável por realizar trocas entre o colóide e a solução.

A matéria orgânica atua na regulação de uma série de processos do solo, como ciclagem e disponibilidade de nutrientes, solubilização de fertilizantes, complexação de

metais tóxicos, poder tampão, fluxo de gases para a atmosfera e estabilidade de agregados (SOARES et al., 2008). Segundo Boeira (2006), a decomposição da matéria orgânica afeta duas propriedades relativas à acidez do solo: pH e poder tampão do solo. As mudanças no poder tampão podem refletir-se no pH, sem que haja, quaisquer relações proporcionais entre essas duas propriedades, em solos com diferentes manejos.

Harley e Gilkes (2000), discutindo fatores que influenciam a solubilização de minerais contidos em pó de rochas silicáticas, salientaram que o pH desempenha papel importante na solubilização de silicatos, sendo que esta aumenta com o aumento de íons H^+ na solução. Assim, de um modo geral, a liberação de cátions presentes nos minerais contidos no pó de basalto pode ser maior em presença de vinhaça do que em água.

Conforme decisão que estabelece valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005), o valor de referência de quantidade (VRQ) para o Cu é de 35 mg kg^{-1} em solos, sendo que em água, teores de 2 mg L^{-1} são considerados valores de intervenção (VI). Nos tratamentos realizados com pó de basalto em água e em vinhaça, verificou-se que os teores de Cu mantiveram-se em níveis muito baixos. Embora não tenham diferido estatisticamente, verifica-se que após a aplicação dos tratamentos ocorreu diminuição do teor de Cu. O solo inicial apresentava 6,0 mg dm^{-3} , enquanto que os teores deste elemento medidos nos tratamentos variaram de 3,0 a 3,8 mg dm^{-3} .

Os parâmetros SB, CTC e V são calculados com base nos teores de Ca, Mg, K e H+Al. Portanto, como nos tratamentos com vinhaça houve maior disponibilização de Ca, Mg, K e queda no H+Al (Figura 11), houve alteração dos valores de SB, CTC e V.

A comparação dos atributos medidos na vinhaça com os determinados na vinhaça incubada com pó de basalto durante 24 horas revelou que não houve diferença significativa de pH e de teores de nutrientes disponíveis, com exceção do teor de Fe, que foi superior na mistura de pó de basalto e vinhaça (Tabela 6). Estes resultados contrariam aqueles obtidos por Lopes et al. (2010) e Costa et al. (2010), em experimentos em laboratório com misturas de vinhaça e diferentes doses de pó de diabásio, incubados durante 24 horas. Nesses trabalhos, verificou-se que não houve efeito da vinhaça no pH, mas houve disponibilização de nutrientes nas misturas de vinhaça e pó de diabásio após 24 horas de incubação.

Em outro trabalho, Lopes et al. (2011), avaliando o efeito da vinhaça na solubilização de minerais contidos em pó de diabásio, em diferentes concentrações,

foram testados três períodos de incubação (0, 15 e 30 dias). Verificou-se que quanto maior o período de incubação maior foi a disponibilização de nutrientes.

Tabela 6. Disponibilidade de nutrientes em vinhaça pura e vinhaça e pó de basalto incubados por 24 horas.

| Tratamentos | pH | Kg m ⁻³ | | | | | | | mg dm ⁻³ | | | |
|--------------|--------|--------------------|--------|-------------------------------|------------------|--------|--------|-----------------|---------------------|----------|----------|---------|
| | | C | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca O | Mg O | SO ₄ | Cu | Fe | Mn | Zn |
| Vinhaça + pó | 4,23 a | 20,93 a | 0,67 a | 0,13 a | 4,99 a | 1,43 a | 0,53 a | 4,0 a | 30,1 a | 897,26 a | 517,59 a | 66,85 a |
| vinhaça pura | 4,17 a | 21,83 a | 0,62 a | 0,14 a | 5,13 a | 1,48 a | 0,50 a | 4,45 a | 30,1 a | 580,58 b | 313,11 a | 54,2 a |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Tukey (a: maior média).

Embora trabalhos sobre os efeitos da mistura de vinhaça e pó de rocha sejam praticamente inexistentes, muitos pesquisadores têm buscado conhecer o comportamento dos ácidos orgânicos nos solos e seu papel na dissolução de minerais. Maurice et al. (1995) realizaram estudo sobre a influência da estrutura da superfície mineral e da microtopografia na dissolução de hematita em ácidos oxálico e cítrico, através de experimentos *in situ* e *ex situ* com diferentes concentrações dos ácidos. Analisando em microscópio de força atômica as imagens das superfícies, os autores observaram que para os dois ácidos o plano basal da hematita apresentava-se praticamente inerte, embora tenha ocorrido dissolução ao longo da borda das partículas.

Huang e Keller (1971) realizaram experimento para quantificar a dissolução de minerais de argila em ácidos orgânicos. Utilizaram caulinita, illita e montmorilonita provenientes de diferentes localidades e os ácidos aspártico, cítrico, salicílico, tartárico e tânico. Para quantificar a dissolução, prepararam amostras com água destilada e com os ácidos e mediram as quantidades de silício, Al, Fe, Mg, Ca, Na e K liberadas. Os autores observaram que a dissolução em ácido foi muito maior do que em água destilada. Em outro trabalho, Huang e Keller (1970) realizaram experimento para analisar a diferença de dissolução de olivina, augita, muscovita, labradorita e microclina em água destilada, água carregada com CO₂ e quatro ácidos orgânicos (acético, aspártico, tartárico e salicílico). Foram medidas as quantidades de silício, Al, Fe, Ca, Mg, K e sódio liberadas para cada solvente. Os autores observaram que nas amostras com os ácidos orgânicos a liberação dos nutrientes foi maior do que com os dois tipos de água.

A menor liberação nos tratamentos em água pode também ser verificada em trabalho realizado por Alcarde e Vale (2003). Esses autores realizaram um experimento

medindo a solubilização de micronutrientes em fertilizantes comerciais, utilizando como extratores, água, solução de ácido cítrico e solução de citrato neutro de amônio. Eles observaram que para Fe e Cu a utilização da água não foi suficiente para extração dos elementos, chegando à conclusão que a solubilidade desses elementos nesse solvente é praticamente nula e quando utilizados os outros extratores a solubilização ocorreu normalmente.

A vinhaça possui uma grande carga de ácidos orgânicos, sendo que o principal deles é o ácido aconítico (VOLL, 2005). Portanto, o poder de solubilização da vinhaça é maior do que o da água, conforme observado neste primeiro ensaio. Entretanto, como não houve diferença significativa na solubilização de pó de basalto incubado por 24 horas, quando comparado com o pó de basalto incorporado diretamente no solo (Tabela 6), optou-se por não adotar tratamentos com incubação prévia. Isto porque a alternativa de fazer a incorporação direta parece ser mais viável para o produtor rural do que a incubação preliminar.

5.3. ENSAIO 2: EFEITO DE VINHAÇA E DOSES DE PÓ DE BASALTO EM DOIS TIPOS DE SOLOS

5.3.1. Variações nas características químicas da camada superficial

Neste ensaio, que envolveu dois tipos de solos, dois tipos de solvente e três doses de pó de basalto, os resultados obtidos para a camada 0 – 0,20 m apontaram diferenças significativas em vários dos atributos medidos, principalmente devidas ao tipo de solo e ao tipo de solvente (Tabela 7). O efeito da dose só ocorreu para os teores de B e Fe. Nos desdobramentos, a interação entre solo e solvente foi significativa para todos os atributos, com exceção de Mg, MO, B, Fe e Cu (Tabela 7). A interação solo e dose de pó de rocha foi significativa apenas para pH, CTC e teores de Ca, Mn e MO, enquanto que a interação solvente e dose não foi significativa para nenhum dos atributos avaliados (Tabelas 39 a 55 do Apêndice 1).

As diferenças de textura dos dois tipos de solo induzem diferenças na retenção e movimentação de íons. A textura do solo interfere em sua reatividade, portanto provoca alteração na capacidade de troca de íons pelos processos de adsorção e dessorção de elementos presentes na solução do solo. Outra fonte de variação dos resultados obtidos está relacionada com as características da vinhaça aplicada, dada a grande quantidade de nutrientes e matéria orgânica que este resíduo possui.

As variações ao longo do tempo na camada 0 – 0,20 m também foram significativas em vários dos atributos medidos (Tabela 7). Nos desdobramentos feitos, ao longo do período de ensaio, houve efeito do solo, para todos os atributos estudados, com exceção do teor de B, do solvente, para todos os atributos estudados, com exceção dos teores de B e Zn, e da dose de pó de rocha, para todos os atributos estudados, com exceção dos teores de MO, S e Mn (Tabela 7).

Tabela 7. Graus de significância definidos a partir de análise de variância (ANOVA) para as parcelas (tratamentos) e subparcelas (tempo) para os atributos medidos na camada 0 - 0,2 m de Latossolo e Neossolo em experimento com vinhaça e pó de basalto.

| FV | ns | * | ** | *** |
|----------------------|--|------------|-------------------|--|
| ANOVA | | | | |
| Tratamentos | - | B | - | Todos exceto B |
| Parcelas | | | | |
| Solo (S) | - | - | B e S | Todos exceto B e S |
| Solvente (Sv) | Cu e Zn | MO | P, CTC e B | Ca, Mg, K, S, pH, H+Al, Al, SB, V, Fe e Mn |
| Dose (D) | Todos exceto B e Fe | B e Fe | - | - |
| S x Sv | Mg, MO, B, Fe e Cu | P, SB e Zn | Ca, S, H+Al e CTC | K, pH, Al, V e Mn |
| S x D | Mg, K, P, S, H+Al, V, B, Fe, Cu, Zn e SB | pH e CTC | Ca e Mn | MO |
| Sv x D | Todos | - | - | - |
| S x Sv x D | Todos exceto pH, Fe e Mn | pH e Mn | - | Fe |
| Subparcelas | | | | |
| Tempo (T) | - | - | - | Todos |
| S x T | B | - | - | Todos exceto B |
| Sv x T | B e Zn | Cu | MO | Todos exceto MO, B, Cu e Zn |
| D x T | Todos exceto S, MO e Mn | S | Mn | MO |

FV: fator de variação; ns = não significativo ($p > 0,05$); * significativo (p entre 0,01 e 0,05); ** muito significativo (p entre 0,001 e 0,01); *** extremamente significativo (p menor que 0,001).

5.3.1.1. Efeitos na matéria orgânica e na acidez do solo

A matéria orgânica do solo (MO) pode se comportar como fonte e dreno de nutrientes, seja por sua mineralização e liberação de nutrientes, ou pela complexação de elementos presentes no solo, respectivamente. Os resultados para a MO podem ajudar a explicar o comportamento de grande parte dos parâmetros analisados neste trabalho, como os teores de nutrientes como P e S, CTC e micronutrientes.

Na comparação das médias dos tratamentos, observou-se que os tratamentos que apresentaram os maiores teores de MO foram aqueles com solo argiloso, sem efeito da dose de pó de rocha ou do solvente (Figura 12a) (Tabela 56 do Apêndice 1).

Houve diminuição do teor de MO ao longo do tempo, com diferença significativa entre os solos estudados (Figura 12b). Ao longo do período de experimento também houve efeito do solvente (Figura 12c) e da dose (Figura 12d), sendo que a vinhaça proporcionou maiores teores de MO.

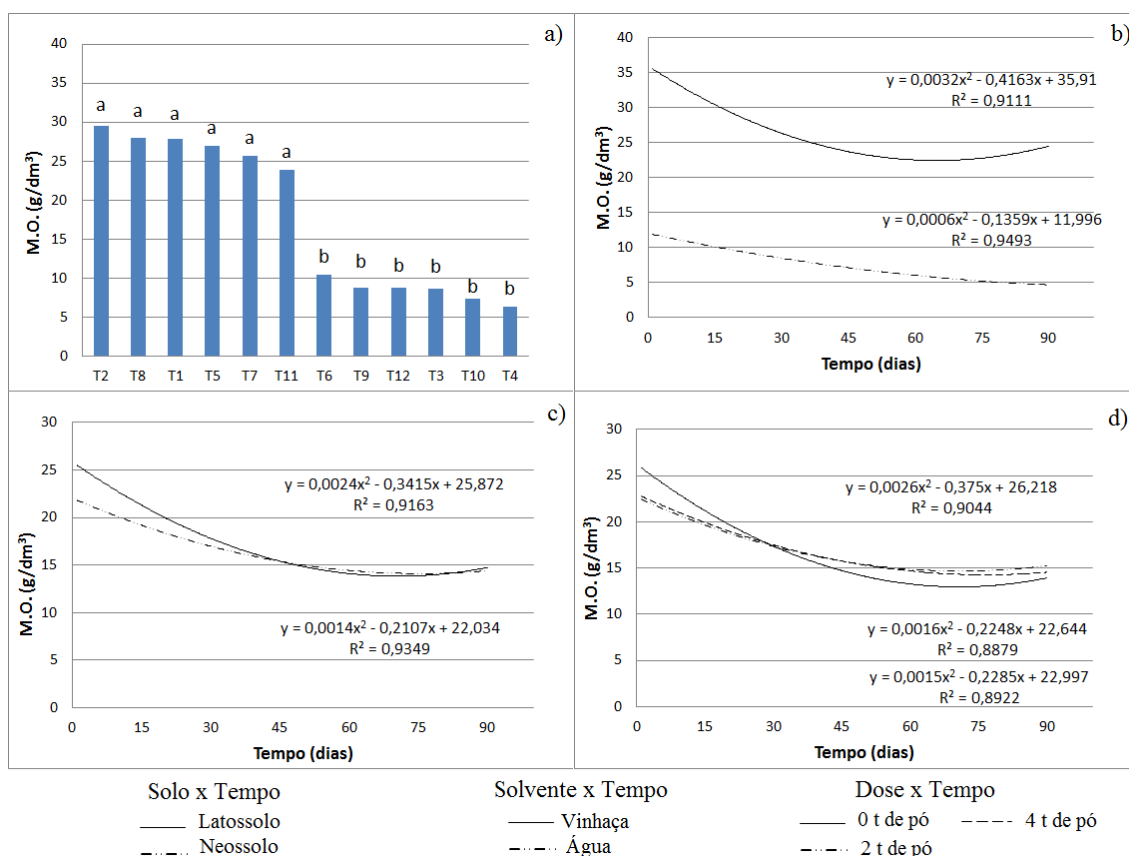


Figura 12. Teores de matéria orgânica em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) médias nos diferentes tratamentos; (b) interação solo x tempo; (c) interação solvente x tempo; (d) interação dose x tempo. T1= vinhaça + 2t +Latosolo; T2 = vinhaça + 4t +Latosolo; T3 = vinhaça + 2t +Neossolo; T4 = vinhaça + 4t +Neossolo; T5 = vinhaça + Latossolo; T6 = vinhaça + Neossolo; T7= água + 2t +Latosolo; T8 = água + 4t +Latosolo; T9 = água + 2t +Neossolo; T10 = água + 4t +Neossolo; T11 = água + Latossolo; T12 = água + Neossolo.

A variação dos teores de MO está relacionada com a quantidade original de matéria orgânica dos solos utilizados e com a quantidade adicionada. De acordo com Bayer e Mielniczuk (2008), a quantidade de matéria orgânica do solo é dada pela diferença entre a quantidade de carbono adicionada e perdida, sendo que a quantidade perdida está relacionada com a decomposição microbiana, erosão e lixiviação desse material. No presente estudo, os teores iniciais de MO (Tabela 4) do solo arenoso e do solo argiloso foram aumentados nos tratamentos com vinhaça. Ao longo do experimento não foi adicionada nenhuma fonte de carbono ao solo. Com a aplicação de água ao longo do experimento, a ação dos micro-organismos foi mantida e o teor de matéria orgânica decaiu. Bayer e Mielniczuk (2008), também observaram que em Latossolo a matéria orgânica está protegida fisicamente pela formação dos agregados e está ligada a óxidos de ferro, o que promove maior estabilidade química. No presente trabalho, o Latossolo proporciona maior proteção física e maior estabilidade química a matéria orgânica do que o Neossolo, que não possui estrutura bem desenvolvida e apresenta, em geral, baixos conteúdos de óxidos de ferro.

Não houve diferença significativa de teores de matéria orgânica entre os tratamentos com ou sem pó de basalto. Esse resultado é diferente dos obtidos por Silva et al. (2008) que testaram diferentes doses de pó de basalto com diferentes resíduos orgânicos. Esses autores observaram que os tratamentos que apresentaram maiores quantidades de matéria orgânica foram os que continham aguapé e esterco com as maiores doses de pó de rocha.

Com relação aos tratamentos com vinhaça, resultados diferentes foram obtidos por Camilotti et al. (2006), que testaram diferentes doses de lodo de esgoto e vinhaça em Latossolo Vermelho. Esses autores observaram que a adição de vinhaça ao solo não alterou o teor de matéria orgânica.

Já em trabalho realizado por Silva et al. (2006), com objetivo de testar o efeito de diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar em um Argissolo, foram utilizadas áreas com irrigação, sem irrigação, com aplicação de vinhaça e floresta nativa. Observou-se que as áreas de floresta nativa e as com aplicação de vinhaça apresentaram maiores teores de carbono orgânico total em superfície, comparados com os tratamentos sem irrigação e com irrigação, com diminuição ao longo do perfil do solo.

Também em trabalho realizado por Vasconcelos et al. (2010), em um Latossolo Amarelo, verificou-se que o tratamento com vinhaça apresentou em superfície, maiores

teores de matéria orgânica e carbono orgânico total do que o tratamento que só recebeu irrigação.

A matéria orgânica atua na regulação de uma série de processos do solo, como a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes, a solubilização de fertilizantes, a complexação de metais tóxicos, o poder tampão, o fluxo de gases para a atmosfera e a estabilidade de agregados (SOARES et al., 2008). Segundo Boeira (2006), a decomposição da matéria orgânica afeta duas propriedades relativas à acidez do solo: pH e poder tampão do solo. As mudanças no poder tampão podem refletir-se no pH, sem que haja, quaisquer relações proporcionais entre essas duas propriedades, em solos com diferentes manejos.

Observou-se que os valores de pH nos solos estudados apresentaram diferenças significativas entre eles, sendo maiores para o solo argiloso. A acidez dos solos pode ser dada por diferentes maneiras. Os solos podem ser ácidos naturalmente, devido à ação de processos pedogenéticos que favorecem a perda de elementos básicos do solo ou podem ser ácidos devido à pobreza do material de origem. A acidez pode ser aumentada pela erosão, pela extração das bases pelas culturas e por lixiviação, na qual os ânions se comportam como carreadores dos cátions (RAIJ, 2011).

O pH em cloreto de cálcio nos tratamentos com Latossolo, com ou sem pó de basalto, apresentou maiores valores; destes, os que continham vinhaça foram significativos no nível de 5 % (Figuras 13a). Ao longo do tempo, houve efeito do solo (Figura 13b), com maiores médias para o Latossolo, e do solvente (Figura 13c), com maiores médias para os tratamentos com vinhaça (Tabela 57 do Apêndice 1).

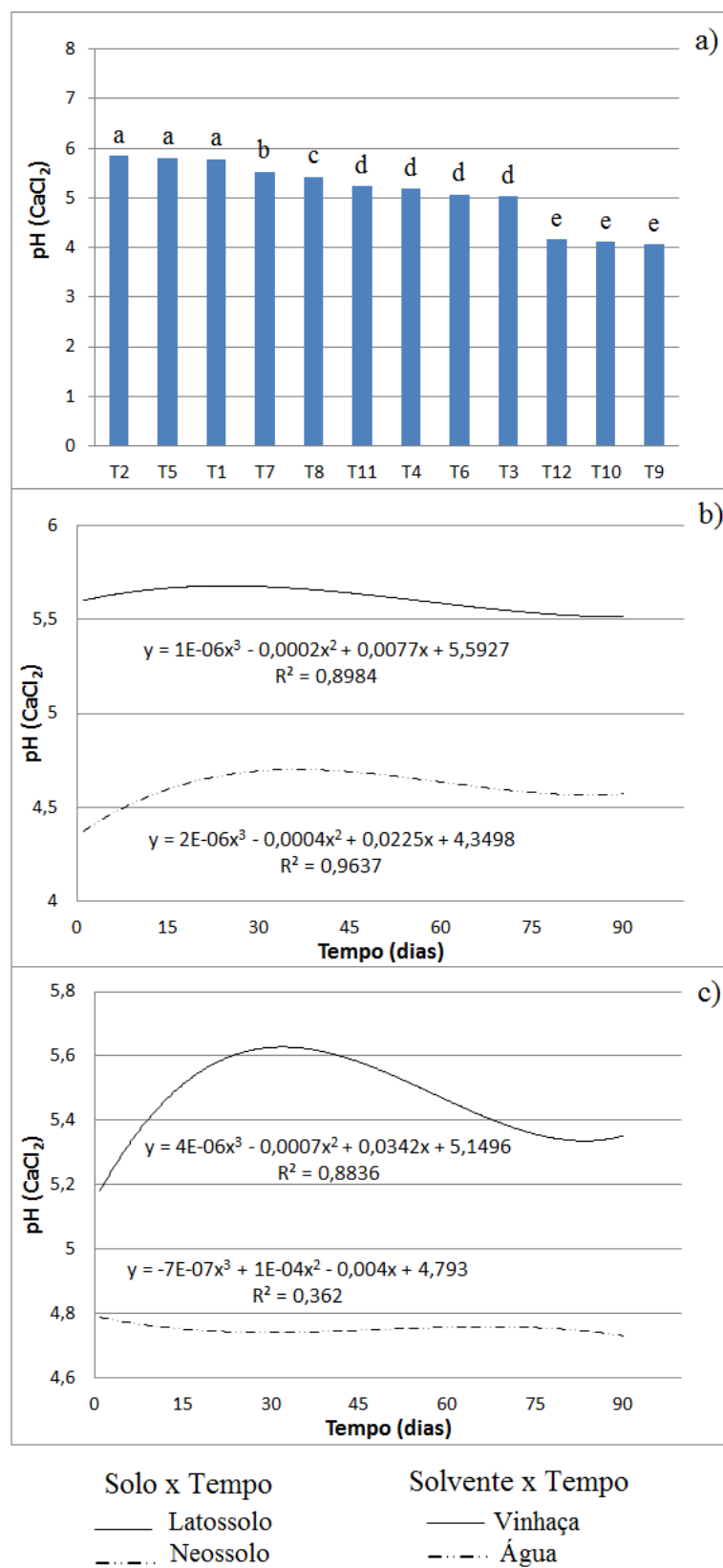


Figura 13. pH em CaCl₂ em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) médias nos diferentes tratamentos; (b) interação solo x tempo; (c) interação solvente x tempo. T1= vinhaça + 2t +Latossolo; T2 = vinhaça + 4t

+Latossolo; T3 = vinhaça + 2t +Neossolo; T4 = vinhaça + 4t +Neossolo; T5 = vinhaça + Latossolo; T6 = vinhaça + Neossolo; T7= água + 2t +Latossolo; T8 = água + 4t +Latossolo; T9 = água + 2t +Neossolo; T10 = água + 4t +Neossolo; T11 = água + Latossolo; T12 = água + Neossolo.

Os resultados de pH do presente trabalho diferem dos obtidos por Brito et al. (2009), que utilizaram três dosagens de vinhaça (0, 350 e 700 m³ ha⁻¹) em três tipos de solo (Nitossolo, Argissolo e Espodossolo). Esses autores observaram que no Nitossolo (textura argilosa) houve variação de pH apenas em superfície e não em profundidade. Já no Argissolo (textura média) e no Espodossolo (textura arenosa) houve variação apenas nos tratamentos com vinhaça. Em profundidade, observou-se que quanto mais profunda era a coleta de amostras, maior era o pH. De acordo com esses autores a diferença de pH obtida está relacionada com o nível de percolação desses solos. Para o Nitossolo, a elevação do pH na camada superficial foi devida ao maior teor de argila observado no horizonte superficial desse tipo de solo, que promove menor percolação da vinhaça. No caso do Argissolo e Espodossolo, o aumento dos valores de pH em profundidade está relacionado a característica de maior percolação desses solos devido a suas maiores quantidades de fração areia, e assim aumentaria as reações de redução em profundidade.

Em trabalho realizado por Bebé et al. (2009), testando o efeito de doses de vinhaça ao longo do tempo, verificaram que no Argissolo e no Espodossolo em que havia sido aplicado vinhaça por 15 e 7 anos respectivamente e no Argissolo sem aplicação de vinhaça, os valores de pH eram maiores em superfície e menores em profundidade. Segundo os autores, o aumento de pH do solo é devido ao aumento das bases trocáveis, principalmente do K, que pode ocorrer com a aplicação de vinhaça nas camadas superficiais.

Quanto aos valores de pH para os tratamentos com pó de basalto, não foi verificada diferença significativa entre a presença ou ausência de pó de basalto e também entre as doses testadas. Estes resultados não se assemelharam aos de Knapik e Angelo (2007), que realizaram trabalho testando o efeito de diferentes tipos de adubação no crescimento de mudas de *Prunus selowii*, dentre estes, pó de basalto e sem adubação. Foi observado que a adição de pó de basalto no substrato aumentava o pH do meio. Segundo os autores, a diferença obtida foi decorrente do material de origem do pó de basalto utilizado, que apresentava cerca de 9% de Ca.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2012), com objetivo de avaliar o efeito da aplicação de seis rochas nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, foram utilizadas diferentes dosagens de pós de rocha de acordo com a quantidade de K presente em cada uma. Observou-se que para a rocha ultramáfica (que apresenta composição mineralógica semelhante a do basalto), os valores de pH aumentaram proporcionalmente à quantidade adicionada de pó.

Os maiores teores de Al foram observados no solo arenoso, com diminuição ao longo do tempo, enquanto que no Latossolo o teor de Al permaneceu praticamente constante (Figura 14a) (Tabela 58 do Apêndice 1). Houve efeito do solvente ao longo do tempo (Figura 14b), sendo que os tratamentos com água e Neossolo (Figura 14b) apresentaram maiores médias, não diferindo com a adição ou não do pó de basalto.

O Al é um dos principais metais presentes no solo e pode interagir tanto com a fração inorgânica como a orgânica (CANELLAS et al., 2008). Segundo Motta e Melo (2009), a matéria orgânica apresenta grande capacidade de retenção de Al no solo, sendo extremamente importante na dinâmica do Al^{3+} , pois adsorve esse elemento e controla sua atividade em solução através de ligações de elevado grau de estabilidade.

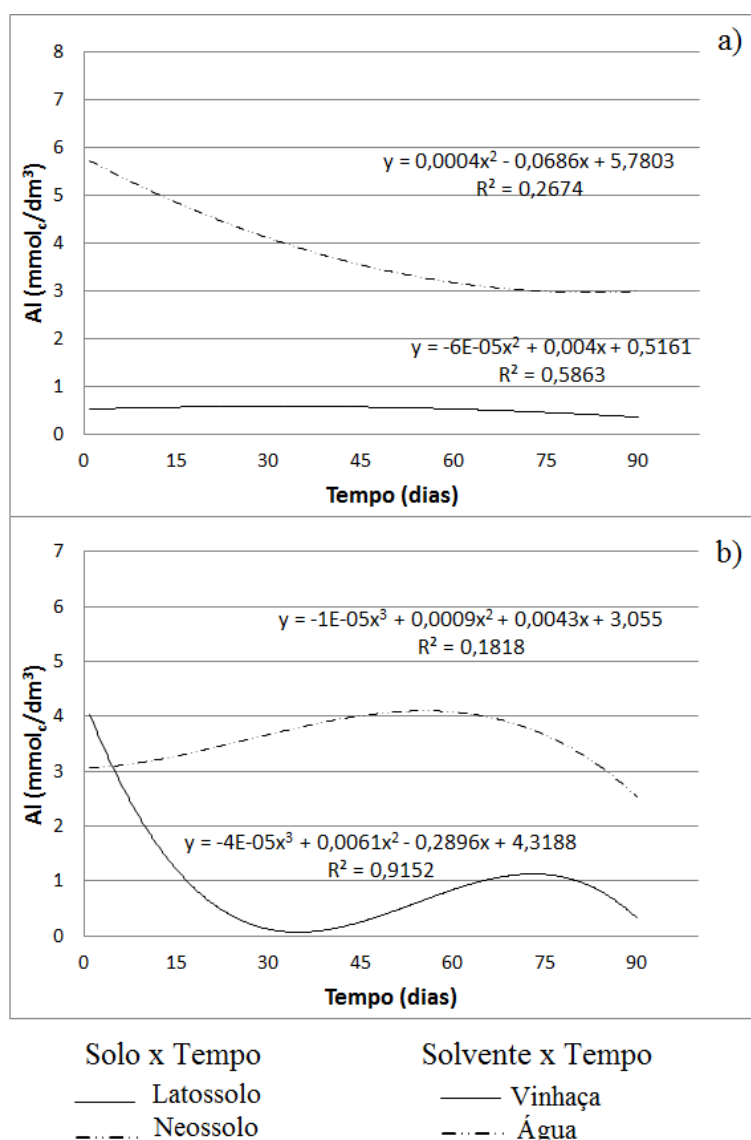


Figura 14. Teores de alumínio em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) interação solo x tempo; (b) interação solvente x tempo.

A acidez potencial teve pequena variação ao longo do tempo, com diferença significativa em função do solo (Figura 15a) e do solvente (Figura 15b). Os tratamentos com Latossolo apresentaram as maiores médias, e os tratamentos com vinhaça apresentaram queda na acidez potencial até 30 dias de ensaio e menores médias que os tratamentos com água destilada, que apresentou aumento na acidez potencial nesse mesmo período (Figura 15b) (Tabela 59 do Apêndice 1).

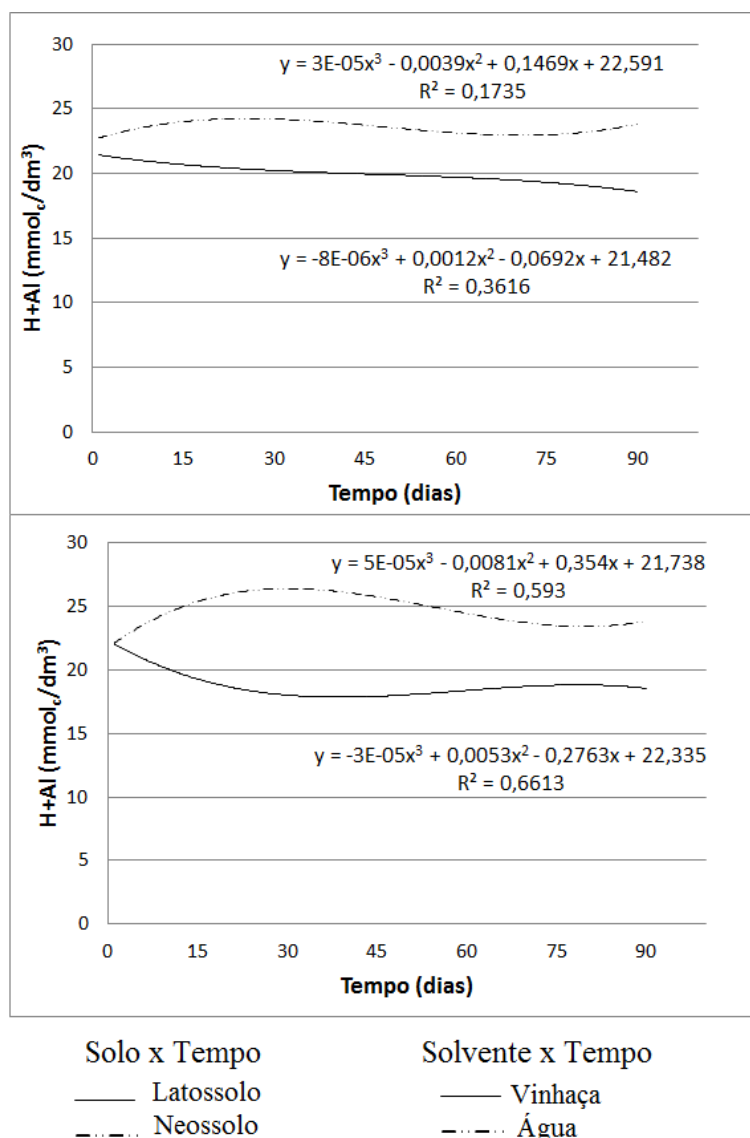


Figura 15. Teores de H+Al em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: (a) interação solo x tempo; (b) interação solvente x tempo.

Observou-se que os tratamentos com ou sem pó de basalto não diferiram entre si tanto em Latossolo quanto em Neossolo. Este resultado é semelhante aos obtidos por Silva et al. (2008), que testaram doses de pó de basalto com diferentes resíduos orgânicos. Estes autores observaram que a adição de basalto não promoveu variação significativa de Al e acidez potencial em nenhum dos tratamentos, com exceção dos tratamentos subsolo + lodo doméstico e apenas lodo, mas sem diferença em relação a utilização de pó de rocha.

Melo et al. (2012) realizaram avaliação do efeito da aplicação de diferentes dosagens de basalto em um Latossolo Amarelo e observaram que os teores de Al

trocável e a acidez potencial diminuíram com a aplicação do pó de basalto. O teor de Al teve um pequeno aumento na fase inicial da reação do pó de rocha com a solução, devido à liberação de Al pelo intemperismo dos silicatos.

5.3.1.2. Efeitos nos teores de macronutrientes primários e secundários.

Durante os 90 dias de experimento houve efeito significativo do solo (Figura 16) e do solvente (Figura 17) nos teores de Ca, Mg e K, enquanto que para o teor de S houve também efeito da dose (Figura 18). Houve queda dos teores de Ca, Mg, K e S em todos os tratamentos e as médias obtidas em Latossolo foram superiores às medidas em Neossolo (Figuras 16a, 16b e 16c) (Tabelas 60 a 63 do Apêndice 1), com exceção do S que no Neossolo foi superior ao valor médio no Latossolo ao final do experimento (Figura 16d). Os valores medidos em vinhaça foram superiores aos medidos em água, principalmente para o K (Figura 17c). Não houve efeito da presença ou ausência de pó de basalto.

Estes resultados são diferentes dos encontrados por Bebé et al. (2009), avaliando mudanças químicas em superfície e em profundidade em Espodossolo e Argissolo tratados com vinhaça. Os autores verificaram aumento de K, Ca e Mg apenas em superfície e diminuição em profundidade. Por outro lado, Brito et al. (2009), utilizando diferentes dosagens de vinhaça em Argissolo, Nitossolo e Espodossolo, verificaram que houve aumento de Ca em todos os solos analisados apenas em superfície e diminuição em profundidade. Já no caso do Mg houve aumento em profundidade para o Argissolo e Nitossolo mas diminuição para o Espodossolo. Para o K ocorreu aumento nas camadas superficiais de todos os solos, com exceção do Espodossolo que apresentou aumento em todas as camadas. De acordo com os autores, nos solos que possuem maior teor de argila, o K permaneceu adsorvido nas camadas superficiais, e no solo arenoso há facilidade de percolação de K encontrado na solução do solo.

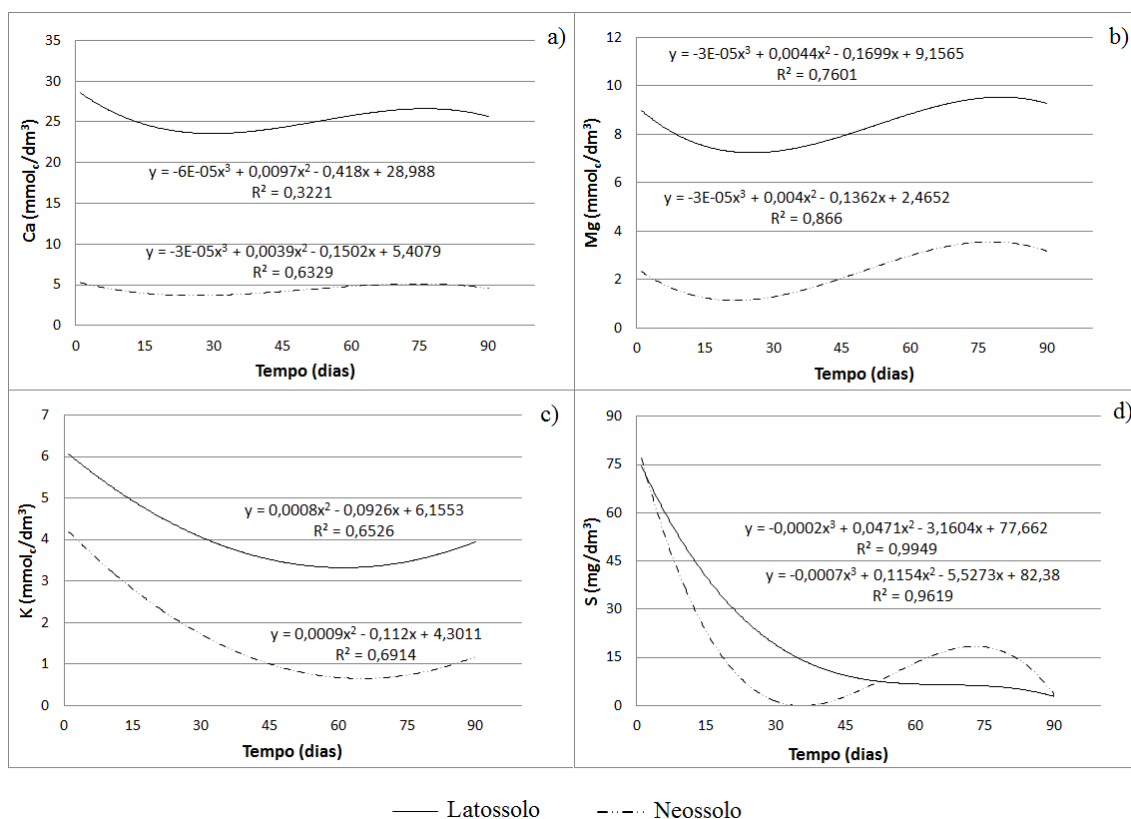


Figura 16. Efeito do solo na variação dos teores de macronutrientes em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: a) Ca; b) Mg, c).K e d) S.

Melo et al. (2012), realizaram avaliação do efeito da aplicação de diferentes doses de basalto em um Latossolo Amarelo e observaram que não houve altos incrementos de Ca e Mg, porque estes se encontram em minerais de baixa solubilidade e lenta alteração. Por outro lado, Silva et al. (2012) verificaram que a rocha ultramáfica, promoveu um aumento nas concentrações de Ca, Mg e K no solo. Segundo os autores, a maior liberação desses nutrientes está relacionada com sua composição mineralógica; os piroxênios presentes forneceram Ca e Mg e os feldspatos Ca, Mg e K.

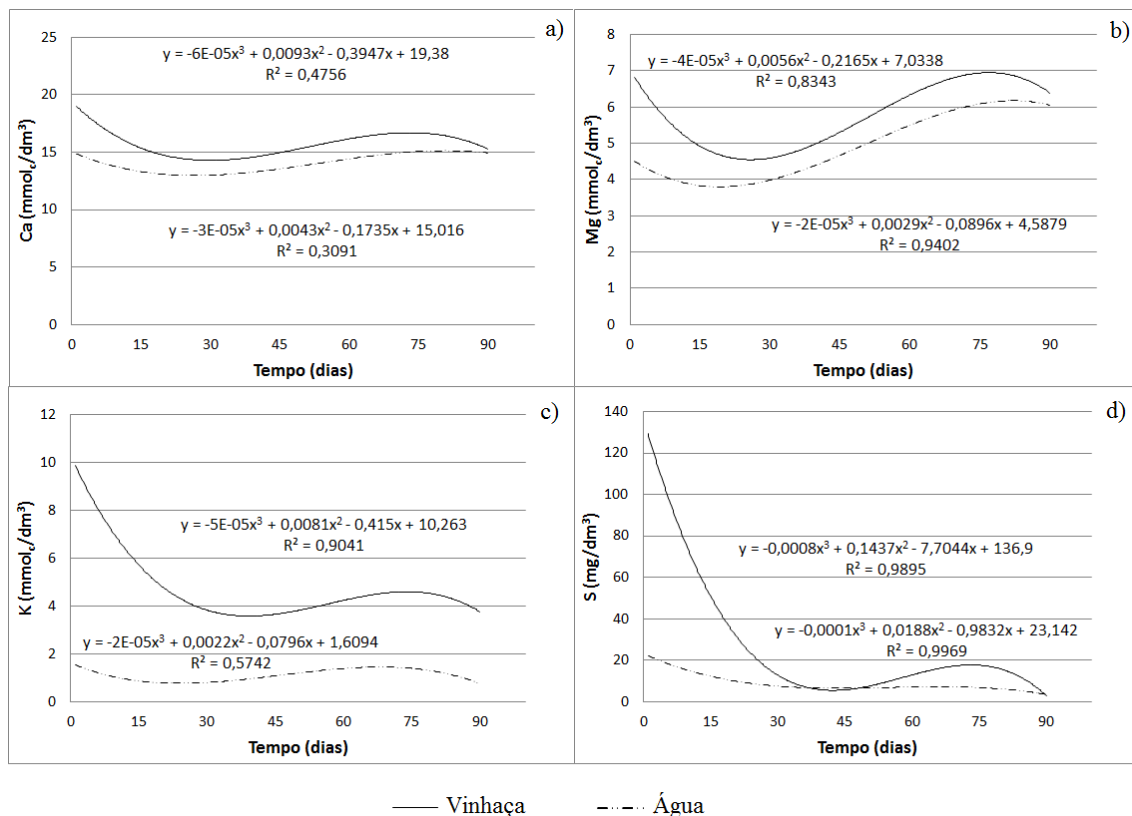


Figura 17. Efeito do solvente na variação dos teores de macronutrientes em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo: a) Ca; b) Mg, c) K e d) S.

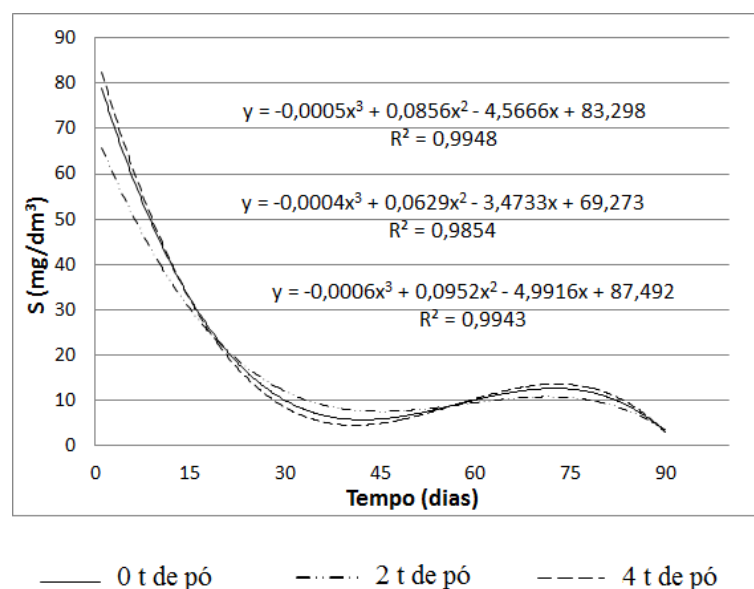


Figura 18. Efeito da dose de pó de rocha na variação do teor de S em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.

Segundo Aita e Giacomini (2007), o S presente nos compostos orgânicos da matéria orgânica do solo corresponde a 95% da fonte desse elemento nos solos minerais. O S orgânico no solo está em três formas, sendo elas o S ligado ao oxigênio representado pelos sulfatos de ésteres, o S ligado diretamente com carbono e o S inerte ou residual (CAMARGO et al., 2008). Os ésteres de sulfato além de representar de 33 a 78 % do S orgânico total dos solos minerais, também são a fração mais lábil do S orgânico, e assim sendo facilmente mineralizado (AITA e GIACOMINI, 2007). Conforme Camargo et al. (2008), os sulfatos de ésteres possuem taxas de mineralização maiores devido a facilidade em ser hidrolisados em sulfato inorgânico. Já o S ligado ao carbono e o residual, apresentam maior estabilidade no solo.

O processo de mineralização, realizado pelos micro-organismos é o que permite a transformação do S orgânico que está na matéria orgânica do solo e em resíduos vegetais para uma forma mineral. As condições aeróbicas e anaeróbicas resultam em compostos diferentes na mineralização. Na primeira, há produção de CO₂, amônio e sulfato, e na segunda há CO₂, CH₄, sulfitos e amônia. A mineralização e liberação de S nos compostos orgânicos ocorre rapidamente, enquanto que no S presente na matéria orgânica do solo é lenta devido a maior resistência à hidrolise enzimática dos ésteres de sulfato que estão presentes no húmus (AITA e GIACOMINI, 2007).

Com relação ao teor de P também houve variação ao longo dos 90 dias de experimento, com efeito significativo do solo e do solvente (Figura 19), com um máximo em torno dos 45 dias (Tabela 64 do Apêndice 1). Do mesmo modo que nos demais macronutrientes as maiores médias foram observadas nos tratamentos com Latossolo (Figura 19a).

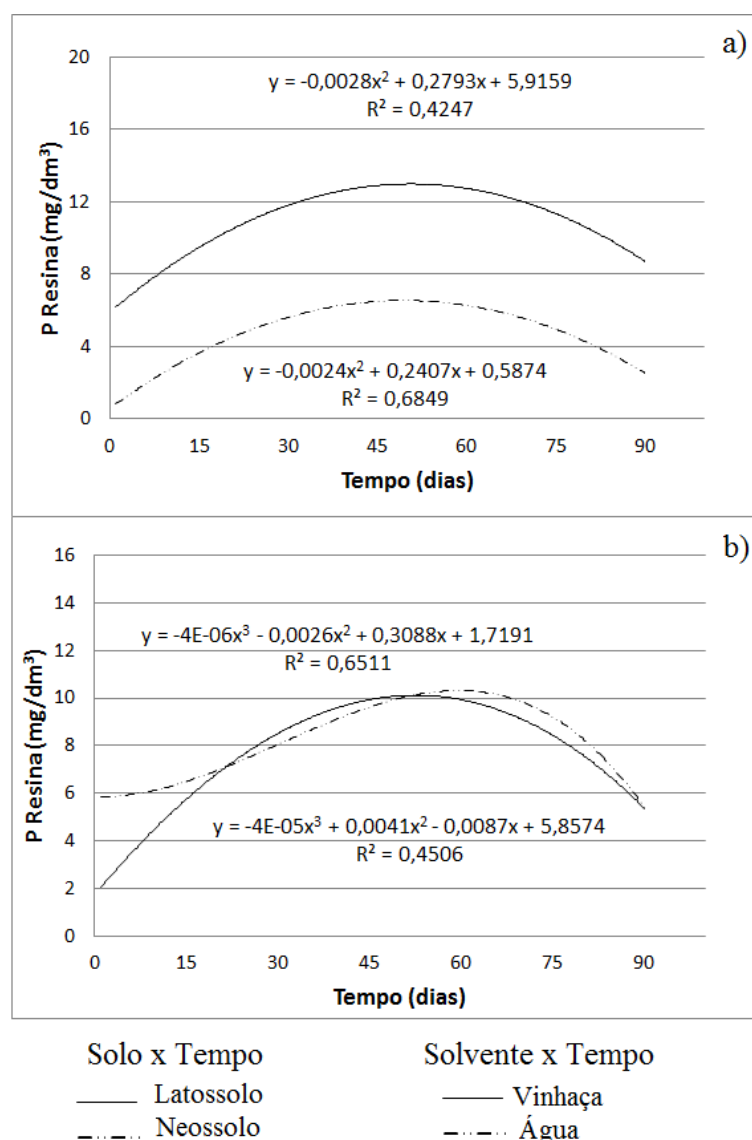


Figura 19. Efeito do solo (a) e do solvente (b) na variação do teor de fósforo em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.

Ribeiro et al. (2011), em trabalho desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da vinhaça, da sorção de P e da interação vinhaça-fósforo no potencial zeta e o ponto de carga zero de dois solos, verificaram que a adição de vinhaça contribui para a disponibilidade de P em Latossolos. Segundo estes autores, a aplicação de vinhaça proporcionou a geração de cargas negativas nos colóides do solo e bloqueou os sítios de adsorção de P pelo aumento da quantidade de compostos orgânicos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Canellas et al. (2003), que estudaram o efeito da preservação da palhada por longo prazo e adição de vinhaça em um Cambissolo Háplico cultivado com cana-de-açúcar. Estes autores verificaram que na

área de aplicação de vinhaça, os teores de P disponível foram maiores do que na área sem vinhaça, tanto em superfície quanto em profundidade.

Silva et al. (2008), testaram diferentes resíduos orgânicos em combinação com diferentes dosagens de pó de basalto e não constataram efeito do pó de basalto nos teores de P. Em contrapartida, Silva et al. (2012), testando seis tipos de rochas em um Latossolo Vermelho Amarelo, verificaram que a disponibilidade de P aumentou com aplicação de rochas silicáticas, com destaque para a rocha ultramáfica que liberou maiores teores. De acordo com os autores, este resultado é devido à presença de composto ricos em P das rochas máficas que ao reagir com o solo, liberam esse nutriente.

5.3.1.3. Efeitos na soma de bases, na capacidade de troca catiônica e na saturação por bases

De acordo com Raij (2011), a determinação da SB, da CTC e V envolve as concentrações de Ca, Mg, K, sódio e acidez potencial (H+Al). Portanto, acompanhando o comportamento dos cátions medidos ao longo dos 90 dias de experimento, houve efeito significativo do solo (Figura 20) e do solvente (Figura 21) nos valores de SB, a CTC e V. As médias obtidas em Latossolo foram superiores às medidas em Neossolo (Figuras 20a, 20b e 20c) e os valores medidos em vinhaça foram superiores aos medidos em água (Figura 21) (Tabelas 65 a 67 do Apêndice 1). Não houve efeito da presença ou ausência de pó de basalto.

Barros et al. (2010), em experimento para avaliar o efeito da aplicação de vinhaça em Argissolo Vermelho Amarelo, avaliaram duas áreas, uma com cultivo de cana-de-açúcar e vinhaça e outra área apenas com cultivo. Os autores observaram que na área com aplicação de vinhaça, os valores de macronutrientes, CTC, V e SB aumentaram. Segundo eles, o aumento de valor da CTC foi ocasionado pela grande quantidade de matéria orgânica adicionada pela vinhaça que, por apresentar característica coloidal, promove uma elevação de cargas negativas que diminuem a capacidade de lixiviação dos cátions. Outro resultado semelhante foi obtido por Vasconcelos et al. (2010) que observaram que a adição de vinhaça promoveu aumento dos teores de Ca e Mg, da CTC, do valor V e da SB de um Latossolo Amarelo.

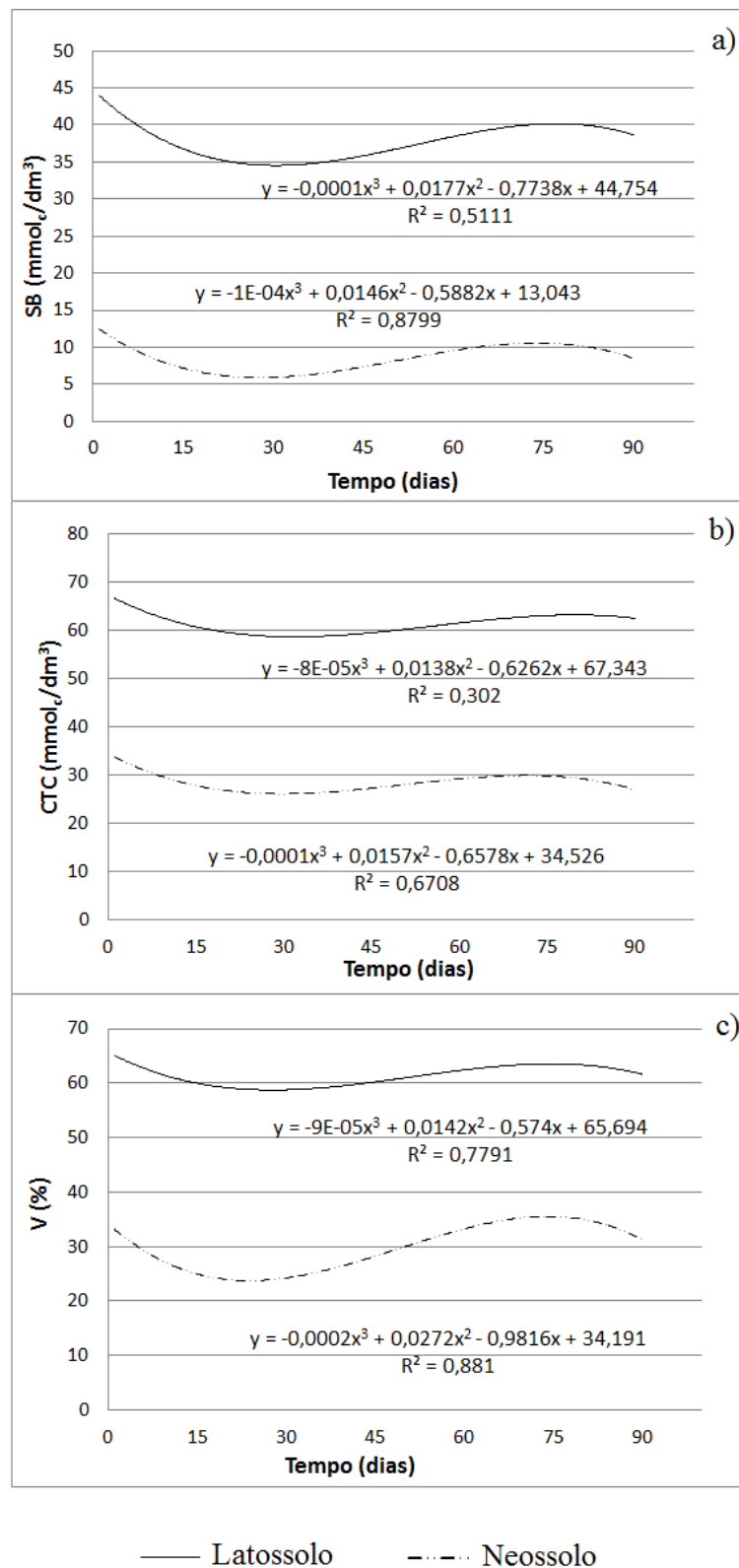


Figura 20. Efeito do solo na variação da soma de bases (a), da capacidade de troca catiônica (b) e da saturação por bases (c) em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.

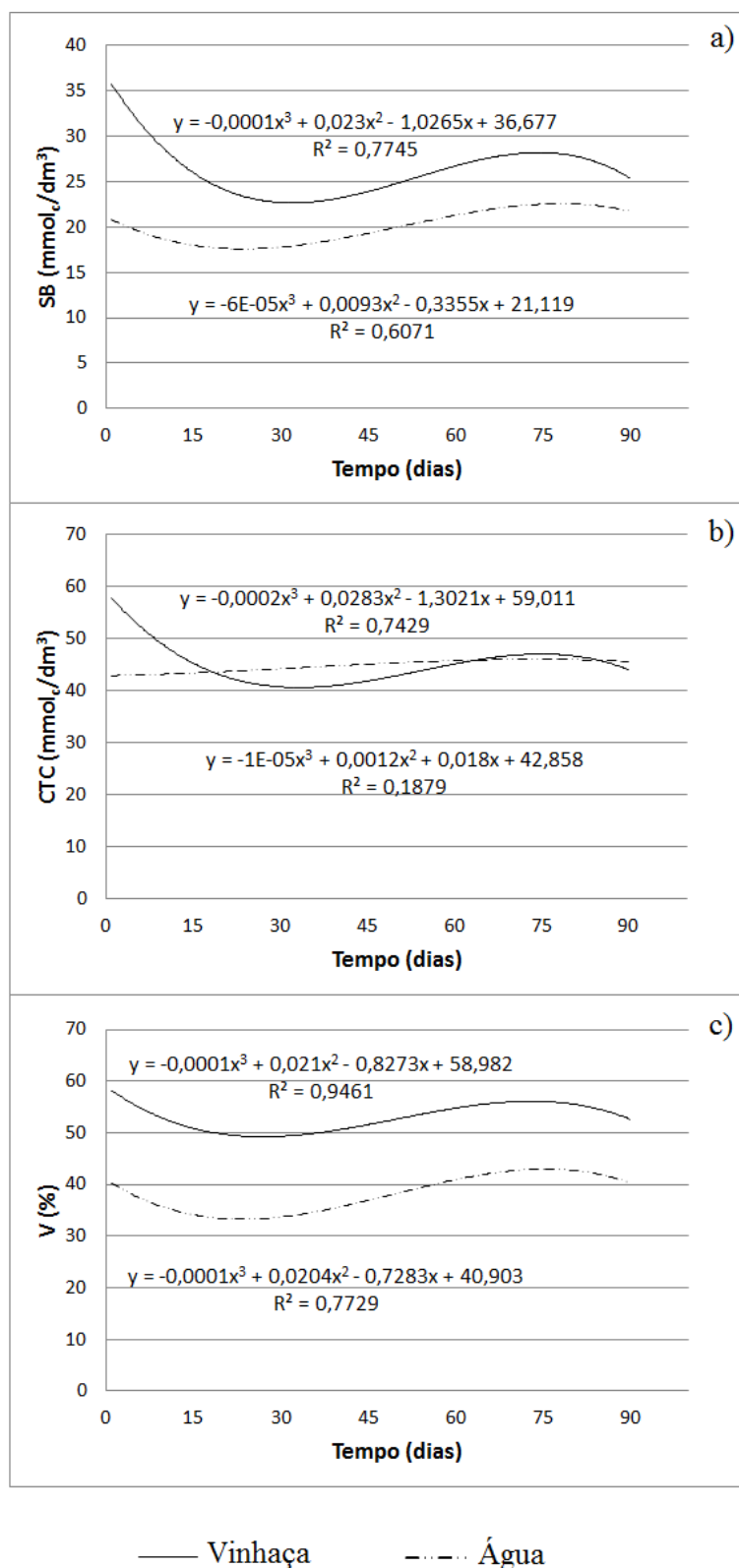


Figura 21. Efeito do solvente na variação da soma de bases (a), da capacidade de troca catiônica (b) e da saturação por bases (c) em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.

No presente experimento não houve efeito da dose de pó de rocha na CTC, no valor V e na SB. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2008), que testaram diferentes doses de pó de basalto com diferentes resíduos orgânicos para o possível efeito nos aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto com cultivo de Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium*). Os autores observaram que a adição de pó de basalto pouco alterou a CTC, a V e a SB, não atingindo resultados significativos. Segundo os autores, este resultado pode ter ocorrido devido à possibilidade das doses utilizadas terem sido baixas, insuficientes para alterar esses parâmetros.

Resultados diferentes foram observados por Silva et al. (2012), que avaliaram o efeito de aplicação de diferentes rochas em um Latossolo Vermelho Amarelo e observaram que a aplicação de rocha ultramáfica proporcionou aumento nos valores de CTC e do valor de V do solo utilizado.

5.3.1.4. Efeitos nos teores de micronutrientes

Conforme já mencionado, o B foi o único atributo medido ao longo do experimento que apesar de ter apresentado variação ao longo do tempo, não teve efeito dos tratamentos nem apresentou efeito significativo do solo, do solvente e das doses de pó de basalto (Tabela 7) (Tabela 68 do Apêndice 1). Houve aumento da concentração de B até os 45 dias de ensaio seguido de queda até 90 dias. Esse comportamento pode estar relacionado com a diminuição dos teores de matéria orgânica em todos os tratamentos, visto que tanto a vinhaça quanto o pó de basalto apresentam teores muito baixos desse elemento. Com a decomposição da matéria orgânica houve liberação de B para o solo e em seguida lixiviação. Conforme Raij (2011), com exceção do cloro, o B é o micronutriente mais móvel no solo, portanto com alta capacidade de lixiviação no perfil.

De acordo com Dantas (1991), os fatores que influenciam na disponibilidade de B no solo são o pH, a matéria orgânica, compostos de ferro e alumínio, textura e umidade do solo. Quanto ao pH, em valores mais altos ocorre maior adsorção desse elemento. Já a matéria orgânica representa a maior fonte de B presente no solo, adsorvendo este elemento e formando compostos organoborados. Os hidróxidos de ferro e alumínio também apresentam grande capacidade de reter o B. Quanto à textura e umidade, há maior adsorção em solos argilosos e em teores baixos de umidade respectivamente.

Durante os 90 dias de experimento houve efeito significativo do solo (Figuras 22a e 22c) e do solvente (Figura 22b e 22d) nos teores de Cu e Fe, enquanto que para teor de Mn houve também efeito da dose (Figura 23d). Todos os micronutrientes avaliados apresentaram queda dos teores em todos os tratamentos ao longo do tempo. As médias obtidas em Latossolo foram superiores às medidas em Neossolo (Figuras 22a, 22c, 23a e 23d). Os teores de Cu, Fe e Mn medidos em vinhaça foram superiores aos medidos em água (Figuras 22b, 22d e 23b) (Tabelas 69 a 71 do Apêndice 1), mas os teores de Zn não apresentaram diferença significativa em função do solvente, ao longo do tempo (Tabela 72 do Apêndice 1). Não houve efeito da presença ou ausência de pó de basalto nos teores de Cu, Fe e Zn. Mas os teores de Mn apresentaram efeito muito significativo em função da dose de pó de basalto ($p = 0,0003$).

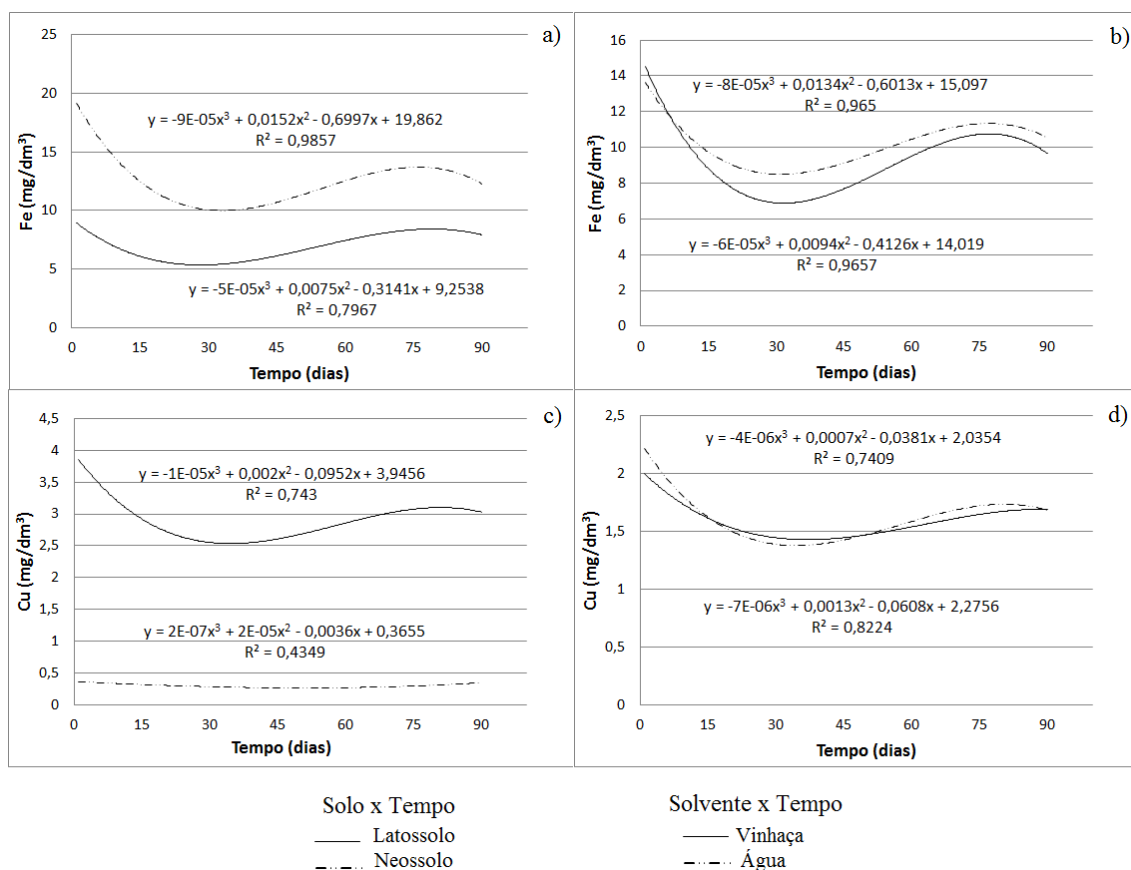


Figura 22. Efeito do solo e do solvente na variação dos teores de Cu e Fe em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo. (a) e (c) interação solo x tempo; (b) e (d) interação solvente x tempo.

De acordo com Raij (2011), o Cu é pouco móvel no solo e reage facilmente com a fração mineral e orgânica do solo. Este elemento pode ser adsorvido nos componentes minerais e também complexado pela matéria orgânica, sendo essa complexação importante para determinar a dinâmica desse elemento nos solos. A deficiência de Cu nos solos orgânicos é frequente, pois mesmo com altos teores desse elemento, este é retido na forma de complexos muito estáveis.

Para Ferreira e Cruz (1991), dentre os fatores que afetam a disponibilidade de Cu no solo podem ser citados o pH, matéria orgânica e textura do solo. Quanto ao pH, seu aumento provoca diminuição dos teores desse elemento devido a diminuição da solubilidade dos óxidos de cobre, aumento da adsorção sobre superfícies e maior estabilidade quando ligado a matéria orgânica. Esta ligação com compostos orgânicos é dada nos grupos fenólicos e carboxílicos presentes nesse material, apresentando uma forte complexação desse elemento.

Segundo Raij (2011), o Fe está presente nos solos principalmente nas formas de óxidos e hidróxidos. Já em solos ricos em matéria orgânica está na forma de quelatos. De acordo com Bataglia (1991), as variações no pH estão ligadas com a solubilidade desse elemento no solo, quando o solo apresenta pH baixo a quantidade de Fe aumenta. Outro processo que interfere na quantidade de Fe presente no solo é a formação de complexos solúveis e quelatos com a matéria orgânica, pois aumentam o suprimento de Fe no solo, sendo assim importantes para determinar a movimentação desse elemento no perfil do solo.

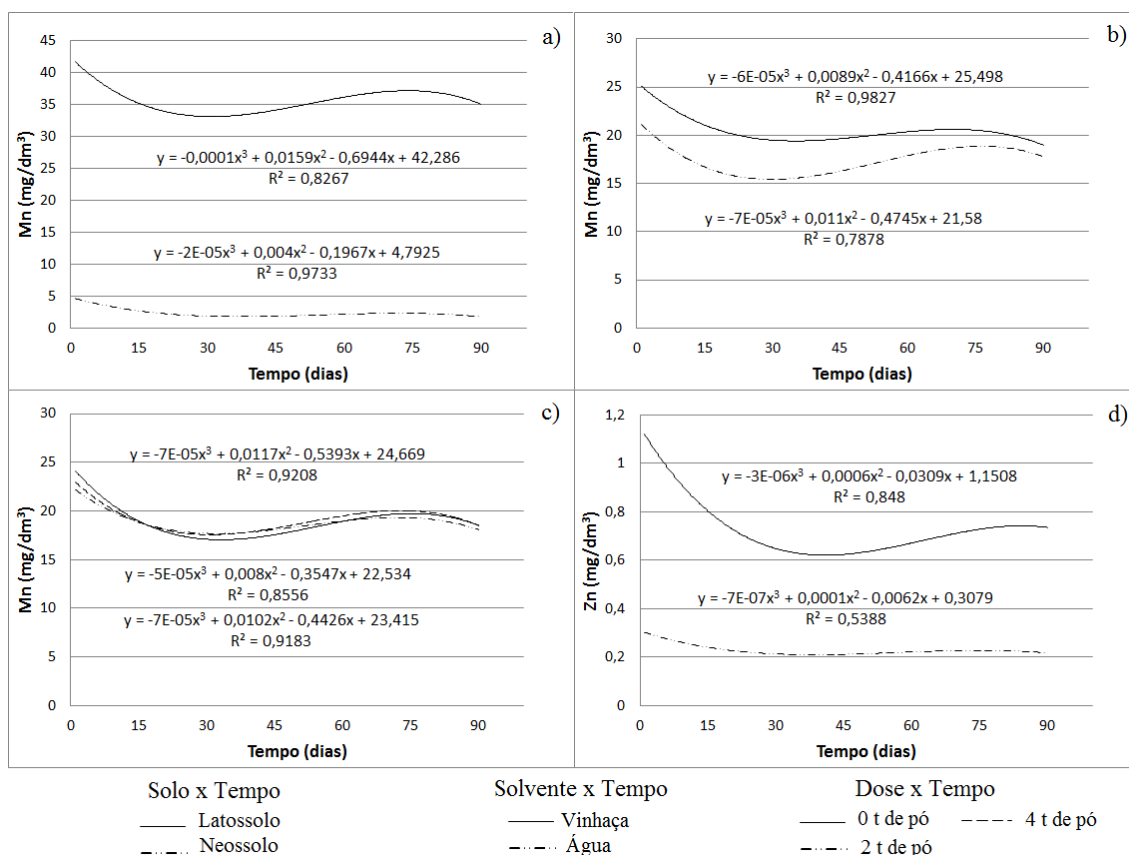


Figura 23. Efeito do solo (a), do solvente (b) e da dose (c) na variação dos teores de Mn e efeito do solo na variação dos teores de Zn (d) em experimento de aplicação de vinhaça e de pó de basalto em Latossolo e em Neossolo.

De acordo com Borkert (1991), os teores de Mn presentes na solução do solo são o Mn^{2+} na forma iônica e Mn orgânico complexado. A disponibilidade deste elemento no solo está relacionada com o pH, potencial redox, atividade microbiana e teor de matéria orgânica. Como nos demais micronutrientes metálicos, a concentração de Mn na solução tende a aumentar com a diminuição do pH, devido a alteração na solubilidade dos óxidos, diminuição da quantidade do elemento adsorvido nas superfícies, aumento das formas precipitadas e maior estabilidade dos complexos formados com a matéria orgânica. A complexação do Mn pode dar origem a complexos solúveis, que aumentam a concentração desse micronutriente no solo e também pode dar origem a complexos estáveis que diminuem sua disponibilidade.

Segundo Souza e Ferreira (1991), fatores como pH, matéria orgânica, teor de fosfatos podem alterar a disponibilidade de Zn no solo. No caso do pH, como já visto anteriormente para os micronutrientes metálicos, ocorre o aumento nos teores desse nutriente quando há diminuição do pH. Já para a matéria orgânica, esta é capaz de

complexar esse elemento na forma de quelatos e assim diminuir sua disponibilidade. Quanto ao fosfato, a adição de fosfatos aumenta a adsorção de Zn, pois aumenta as cargas negativas dos sistemas de óxidos de ferro e alumínio. Portanto a diminuição de teores de Zn observada pode ser decorrente da complexação provocada pela matéria orgânica e também pela adsorção promovida pela elevação dos teores de P observados no período do experimento.

Em trabalho desenvolvido por Canellas et al. (2003), que estudaram o efeito da preservação da palhada por longo prazo e adição de vinhaça em um Cambissolo Háplico cultivado com cana-de-açúcar, foi observado que na área de aplicação de vinhaça, os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram maiores do que na área sem vinhaça, tanto em superfície (0-20 cm) quanto em profundidade (20-40 cm).

Neste trabalho não houve efeito da dose de pó de basalto. Entretanto, Melo et al. (2012), avaliando o efeito da aplicação de diferentes doses de pó de basalto em um Latossolo Amarelo, observaram que houve aumento dos teores de Cu, Zn e Fe em função da quantidade de pó de basalto aplicada. No caso do Mn, houve aumento apenas até a dose de 2 t ha⁻¹. Segundo os autores estes resultados estão relacionados com a maior dissolução da quantidade de pó adicionada e de minerais silicatados, sob condições de alta temperatura e umidade, comuns em regiões tropicais.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2012), com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes dosagens de seis pós de rochas nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo, considerou-se a quantidade de K presente em cada rocha para determinação das quantidades aplicadas. Os autores observaram que no pó de rocha ultramáfica, de composição mineralógica semelhante à do basalto, os valores de Cu e Zn se mantiveram baixos. Segundo Silva et al. (2012), este resultado está relacionado com a composição dessas rochas (maior ou menor quantidade de componentes com esses nutrientes) e pela alteração do pH. Por outro lado, trabalho de Knapik e Angelo (2007) testando o efeito de pó de basalto e outros tipos de adubação no crescimento de mudas de *Prunus selowii* observaram que a adição de pó de basalto no substrato diminuiu a quantidade de Cu e Zn devido a variação no pH e promoveu aumento nos teores de Fe e Mn.

5.3.2. Variações nos atributos químicos da camada subsuperficial e do lixiviado

O comportamento de todos os atributos estudados na camada superficial variou ao longo do tempo, o que gerou ajustes de equações polinomiais de segundo e terceiro graus. A vinhaça e o pó de basalto são materiais de composição diversa e, quando misturados em um sistema complexo como o solo, desencadeiam múltiplos processos físico-químicos. Neste item e no próximo será dada ênfase às variações observadas no pH e nos teores dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

Os decréscimos observados nos valores dos cátions estudados, sem variação significativa do pH em ambos os solos, sugerem um processo de lixiviação do horizonte superficial. Com efeito, na camada subsuperficial, verificou-se que para ambos os solos não houve diferença de pH em relação aos valores iniciais, mas foram observadas variações em relação aos cátions solúveis (Tabela 8) (Tabela 73 do Apêndice 1). Houve aumento significativo de Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidade, em relação ao solo inicial, nos tratamentos com Latossolo, enquanto que nos tratamentos com Neossolo os teores de Ca^{2+} permaneceram estatisticamente iguais ao solo inicial e os teores de Mg aumentaram (Tabela 8). Por outro lado, os teores de K^+ em profundidade nos tratamentos com Latossolo aumentaram em presença de vinhaça e diminuíram em presença de água destilada, enquanto nos tratamentos com Neossolo houve queda do valor inicial para todos os tratamentos (Tabela 8).

No lixiviado, observou-se a presença de cátions solúveis em todos os tratamentos, com destaque para a presença de K^+ nos tratamentos com vinhaça em Neossolo, com ou sem presença de pó de basalto (Tabela 8) (Tabela 74 do Apêndice 1). A textura do solo e a quantidade de cátions presentes na vinhaça explicam apenas parcialmente os resultados obtidos. O movimento de solutos no solo depende de fatores como tipo de solo, mineralogia, capacidade de troca catiônica, espécies de cátions absorvidos, velocidade de percolação, teor de matéria orgânica e pH do meio. Como a fase sólida do solo interage com os íons em solução (adsorção), esses tem seu transporte retardado em relação à água.

Tabela 8. Concentrações de nutrientes em amostras coletadas na camada 20-50 cm e no lixiviado, após 90 dias de experimento de aplicação de pó de basalto e vinhaça em Latossolo e Neossolo.

| Tratamentos | pH em CaCl ₂ | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K |
|--------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------|------------------|--------------------|
| | | mmol _c dm ⁻³ | | | mmol _c dm ⁻³ | | |
| Vin+2t+Latossolo | 5,47 ^a | 27,49 ^a | 9,45 ^a | 4,03 ^a | 14,5 ^a | 4,1 ^a | 13,9 ^c |
| Vin+4t+ Latossolo | 5,40 ^a | 26,19 ^a | 9,34 ^a | 3,97 ^a | 14,5 ^a | 4,6 ^a | 7,1 ^c |
| Vin+2t+Neossolo | 4,17 ^b | 4,08 ^c | 3,38 ^c | 1,0 ^b | 10,3 ^a | 1,3 ^c | 78,1 ^b |
| Vin+4t+ Neossolo | 4,53 ^b | 3,15 ^c | 3,07 ^c | 1,93 ^b | 8,0 ^a | 1,2 ^c | 152,0 ^a |
| Vin+ Latossolo | 5,2 ^a | 28,41 ^a | 9,49 ^a | 3,97 ^a | 25,4 ^a | 3,6 ^b | 21,3 ^c |
| Vin+ Neossolo | 4,47 ^b | 5,19 ^c | 3,71 ^c | 1,63 ^b | 6,8 ^a | 1,4 ^c | 132,7 ^a |
| Água+2t+ Latossolo | 5,3 ^a | 27,11 ^a | 9,46 ^a | 1,13 ^b | 10,9 ^a | 3,1 ^b | 6,4 ^c |
| Água+4t+ Latossolo | 5,27 ^a | 29,15 ^a | 10,18 ^a | 1,2 ^b | 17,4 ^a | 3,0 ^b | 11,2 ^c |
| Água+2t+ Neossolo | 4,17 ^b | 5,01 ^c | 3,6 ^c | 0,4 ^c | 3,5 ^a | 0,6 ^d | 3,2 ^c |
| Água+4t+ Neossolo | 4,13 ^b | 3,34 ^c | 2,99 ^c | 0,37 ^c | 1,6 ^a | 0,2 ^d | 2,5 ^c |
| Água+ Latossolo | 5,17 ^a | 26,36 ^a | 9,24 ^a | 1,1 ^b | 14,5 ^a | 2,6 ^b | 8,8 ^c |
| Água+ Neossolo | 4,2 ^b | 5,19 ^c | 3,37 ^c | 0,47 ^c | 2,9 ^a | 0,5 ^d | 2,7 ^c |
| Latossolo | 5,53 ^a | 18,79 ^b | 7,3 ^b | 2,2 ^b | - | - | - |
| Neossolo | 4,03 ^b | 1,04 ^c | 0,54 ^d | 2,1 ^b | - | - | - |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Trabalhos têm apontado que a vinhaça pode promover movimentação de cátions do solo e a presença de pó de rocha pode estar interferindo nesse processo, embora os dados obtidos não apontem efeito de dose, com exceção do K⁺ na dose mais alta de pó de rocha. Matos et al. (2013), em estudo conduzido em laboratório com o objetivo de avaliar o fator de retardamento de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ presentes na vinhaça em três tipos de solos, observaram que os maiores valores de fator de retardamento foram obtidos para o K⁺ em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), seguido do Ca²⁺ em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) e por último, o K⁺ em LVAd. Os menores fatores de retardamento para todos os cátions avaliados foram obtidos no Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e o Mg²⁺ apresentou os menores valores de fator de retardamento.

5.3.3. Balanço de cátions ao longo do experimento

A partir dos teores de cátions solúveis medidos nas camadas superficiais e subsuperficiais e no soluto lixiviado, e considerando um sistema fechado sem exportação de cátions, foi feito o balanço apenas dos teores de cátions solúveis entre o

início e o fim do experimento (Tabela 9). Observou-se que, em relação ao solo inicial, os tratamentos com água e pó de rocha apresentaram aumento nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ disponíveis. Em presença de pó de rocha e água, o aumento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram proporcionais à dose de pó de basalto aplicada nos dois tipos de solos estudados. Já para os teores de K^+ , o aumento foi proporcional à dose de pó de rocha apenas no Latossolo. No Neossolo, o incremento no teor de K^+ foi nulo ou praticamente nulo nas duas doses aplicadas. Resultados similares foram obtidos por Silva et al. (2012) que, em ensaio de incubação por 100 dias de vários tipos de rochas com material de solo da camada 0-20 cm de um Latossolo Amarelo textura média, verificaram que uma rocha ultramáfica promoveu aumento nas concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ disponíveis no solo. Segundo os autores, a maior liberação desses nutrientes estava relacionada com a composição mineralógica da rocha ultramáfica, sendo que os piroxênios presentes forneceram Ca^{2+} e Mg^{2+} e os feldspatos Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Em outro trabalho, realizado com o objetivo de avaliar o desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*) em função de doses de pó de basalto, foram utilizadas diferentes doses de basalto (0; 0,42; 1,04; 2,08; 4,17 e 8,33 g kg⁻¹), duas granulometrias (0,05 e 0,10 mm de diâmetro) e uma testemunha (WELTER et al., 2011). Foi observado que os tratamentos sem pó de basalto e a dose de 0,42 g kg⁻¹ produziram mudas de menor qualidade nas duas granulometrias testadas. As melhores mudas foram obtidas nos tratamentos com 4,17 e 8,33 g kg⁻¹ de pó de basalto com a granulometria de 0,05 mm. Welter et al. (2011) afirmaram que esses resultados se devem à disponibilização mais rápida dos nutrientes na granulometria mais fina e ao maior aporte de nutrientes quando foram aplicadas maiores quantidades de pó de rocha. Esses resultados confirmam o papel que pó de rochas silicáticas pode ter no fornecimento de quantidades não desprezíveis de cátions solúveis, mesmo após um período relativamente curto de incubação no solo.

Tabela 9. Balanço de teores de cálcio (ΔCa), magnésio (ΔMg) e potássio (ΔK) ao final de 90 dias de experimento de tratamento de Latossolo e Neossolo com vinhaça e pó de basalto.

| Tratamentos | ΔCa | ΔMg | ΔK |
|--------------------|------------------------------------|-------------------|------------------|
| | mmol _c dm ⁻³ | | |
| Vin+2t+Latossolo | -16,49 | -11,16 | -43,2 |
| Vin+4t+ Latossolo | -16,91 | -10,42 | -50,76 |
| Vin+2t+Neossolo | -12,76 | -7,67 | 15,1 |
| Vin+4t+ Neossolo | -17,21 | -8,62 | 89,53 |
| Água+2t+ Latossolo | 18,93 | 5,12 | 2,4 |
| Água+4t+ Latossolo | 26,41 | 5,51 | 7,4 |
| Água+2t+ Neossolo | 8,86 | 5,17 | 1,1 |
| Água+4t+ Neossolo | 11,77 | 6,44 | 0 |
| Vin+ Neossolo | -14,97 | -7,39 | 70,13 |
| Vin+ Latossolo | 1,63 | -9,28 | -35,9 |
| Água+ Latossolo | 17,22 | 3,38 | 4,53 |
| Água+ Neossolo | 14,75 | 6,26 | 0,07 |

Por outro lado no balanço entre o início e o fim do experimento, nos tratamentos com vinhaça e pó de rocha em Latossolo (Tabela 9) observou-se um déficit de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Já nos tratamentos com vinhaça e pó de rocha em Neossolo, ocorreu um déficit de Ca^{2+} e de Mg^{2+} e aumento de K^+ , proporcional à dose de pó de rocha aplicada.

Os tratamentos com vinhaça, tanto com Latossolo quanto Neossolo apresentaram balanço negativo, indicando que houve retenção de nutrientes ao longo do perfil do solo durante o período de experimento. Esta retenção pode ser verificada tanto na camada superficial quanto na camada mais profunda. Em profundidade (Tabela 8) observamos para Latossolo com vinhaça aumento nos teores de Ca, Mg e K em relação ao Latossolo inicial. Já no Neossolo houve aumento em profundidade nos tratamentos com vinhaça apenas para o Mg.

Nos tratamentos com vinhaça, observou-se diferença entre os tratamentos com e sem pó de basalto, em ambos houve retenção de cátions. Mas nos tratamentos com pó de basalto esta retenção foi maior do que no tratamento com apenas vinhaça e solo. Nos tratamentos com Latossolo, pó de rocha e vinhaça, a utilização do pó de rocha promoveu grande quantidade de Ca, Mg e K retida. Como exemplo, no caso do Ca, o tratamento sem pó de basalto apresentou balanço positivo de 1,63 mmol_c dm⁻³, enquanto que nos tratamentos com pó de basalto houve balanço negativo de -16,49 mmol_c dm⁻³ para 2 toneladas de pó por hectare e -16,91 mmol_c dm⁻³ para a dose de 4

toneladas por hectare de pó de basalto. Nos tratamentos com Neossolo, pó de rocha e vinhaça também observou-se maior retenção de Ca e Mg do que nos tratamentos com apenas Neossolo, vinhaça e sem pó de rocha. No caso do Mg, o tratamento sem pó de basalto apresentou balanço negativo de $-7,39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto que nos tratamentos com pó de basalto o balanço foi de $-7,67 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para 2 toneladas por hectare e $-8,62 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para 4 toneladas por hectare. Estes resultados indicam que a utilização de pó de basalto interferiu na retenção destes cátions.

Quanto aos tratamentos com vinhaça, pó de basalto e os dois tipos de solo, para os teores de Ca e Mg não houve grande diferença entre os valores obtidos para Latossolo e Neossolo. No caso do cálcio, estes valores variaram de $-16,49 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Latossolo a $-17,21 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Neossolo. Enquanto que para o K houve grande diferença, com valores para o Neossolo atingindo $89,53 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e para o Latossolo, $-50,76 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Estes resultados indicaram que as texturas contrastantes dos dois solos utilizados não provocaram diferenças de retenção de Ca e Mg.

Estes resultados permitem afirmar que esta mistura pode propor um manejo diferente para a aplicação de vinhaça. A utilização de vinhaça e pó de basalto promove maior retenção de cátions no solo do que apenas a vinhaça e o solo. Portanto a mistura com pó de basalto pode diminuir o impacto que a vinhaça poderia causar no solo. Deste modo pode dar uma finalidade diferente ao uso da vinhaça, fazendo com que a vinhaça também contribua no condicionamento do solo. Do ponto de vista nutricional, a retenção dos cátions no perfil do solo representa um benefício para a fertilidade do solo, pois surge a possibilidade de aproveitar esses nutrientes que estão sendo retidos em um prazo maior, ou seja, serão liberados de forma gradativa ao longo do tempo.

A diminuição de cátions solúveis num sistema fechado pode ser atribuída a processos de sorção, tanto por parte de ácidos orgânicos presentes na vinhaça quanto por parte de novas fases minerais produzidas em função de processos de alteração de minerais contidos no pó de rocha. O termo sorção é usado aqui, de acordo com Dick et al. (2009), por ser mais genérico e não específico, abrangendo fenômenos como adsorção, precipitação (incluindo a formação de novas estruturas em superfícies já existentes).

Segundo Blake e Walter (1996), a formação de complexos por ácido orgânico com alumínio e silício tem sido sugerida como o mecanismo pelo qual ácidos orgânicos melhoram a taxa de dissolução de feldspato e quartzo. Harley e Gilkes (2000) afirmam que a dissolução de minerais envolve duas forças opostas, nas quais íons fortemente

ligados ao mineral competem com o processo de hidratação. Primeiramente há uma reação de troca rápida entre os cátions da superfície e íons H^+ , H_3O^+ ou moléculas de água. Para ocorrer maior dissolução são liberados elementos estruturais pela destruição de ligações oxigênio-metal e hidróxido-metal. Assim, pode envolver cátions de base ou o desprendimento de um complexo ativado da superfície mineral. O complexo ativado pode ser um grupo funcional ou um complexo de superfície que envolva um metal exposto na superfície do sólido e um ligante da solução.

Embora a complexação pela matéria orgânica possa ter alterado a retenção dos cátions no solo, podemos observar que não foi apenas a complexação que influenciou na retenção. Nos tratamentos com vinhaça e solo observou-se menores valores de cátions retidos do que nos tratamentos com vinhaça e pó de basalto. Ou seja, a mistura com pó de basalto aumentou a eficiência na retenção dos cátions. Este resultado indica que o pó de basalto teria passado por alterações mineralógicas e formado mesmo em curto prazo uma pequena quantidade de novas formas minerais que poderiam estar retendo esses nutrientes tanto em Latossolo como em Neossolo.

Alguns trabalhos têm apontado que pó de rochas silicáticas podem gerar, por processos de alteração no solo, fases minerais de maior capacidade reativa. Camargo et al. (2012) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar características agronômicas desejáveis de frutos de morangueiro submetidos a diferentes doses de esterco bovino e pó de basalto. Foram utilizados tratamentos com 0, 50 e 100 t ha⁻¹ de esterco bovino e 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de pó de basalto. Os pesquisadores observaram que tanto a produtividade quanto a produção comercial de frutos tiveram melhor desempenho na associação das maiores doses de esterco bovino com doses intermediárias de pó de basalto. De acordo com estes autores os resultados obtidos para o pó de rocha são devidos a este material fornecer ao solo colóides eletronegativos pela presença de sílica e assim possibilitar a adsorção de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ impedindo sua percolação no solo. Por outro lado, Melo et al. (2012) realizaram avaliação do efeito da aplicação de diferentes doses de basalto em um Latossolo Amarelo e observaram que não houve altos incrementos de Ca^{2+} e Mg^{2+} , porque estes íons se encontram em minerais de baixa solubilidade e lenta alteração.

O pó de basalto utilizado neste estudo é proveniente de uma pedreira que integra as formações rochosas intrusivas, na forma de sills e diques, associadas ao Vulcanismo Serra Geral, na porção leste da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. Dados petrográficos de Machado et al. (2005) mostraram que as rochas estudadas são constituídas essencialmente de plagioclásios, piroxênios e minerais opacos,

constituindo, do ponto de vista da composição, um latíandesito. Os minerais predominantes nessa rocha apresentam portanto diferentes tipos de estruturas cristalinas, de arranjo de átomos e de composição química, o que leva a diferentes velocidades de alteração e de liberação de íons no solo (ESCOSTEGUY e KLAMT, 1998). Esses autores apontaram que algumas reações de alteração de minerais podem reduzir a disponibilidade dos cátions no solo, através da precipitação de polímeros de alumínio e de neoformação de minerais, da adsorção de cátions em óxidos e hidróxidos de Fe e de Al (complexos de superfície e adsorção específica) e da fixação de cátions em minerais clorotizados, montmorilonitas e vermiculitas. No balanço de cátions, observou-se também que na ausência de pó de rocha, nos tratamentos com vinhaça, em ambos os solos, o balanço foi negativo, com exceção do teor de Ca no Latossolo que apresentou um aumento muito pequeno. Por outro lado, nos tratamentos com água, em ambos os solos, na ausência de pó de rocha, observou-se um aumento dos cátions estudados, com exceção do teor de K^+ no Neossolo, cujo balanço pode ser considerado nulo. Esses resultados, aparentemente contraditórios, sugerem que os ácidos orgânicos da vinhaça podem estar complexando cátions.

Os resultados obtidos neste trabalho levantam vários aspectos que precisam ser melhor investigados. A rochagem, técnica de adubação de solos que utiliza principalmente resíduos de pedreiras e de mineradoras, tem sido apontada como importante na remineralização de solos por seu efeito residual. Em experimento realizado por Bakken et al. (2000), por exemplo, foram utilizadas rochas moídas e rejeitos de mineração contendo biotita, feldspato potássico e nefelina, como fertilizantes potássicos em campos experimentais com grama, durante quatro anos. Foram utilizados tratamentos com KCl, três rejeitos de mineração e dois tipos de carbonatitos. Observou-se que o tratamento com KCl apresentou maior rendimento do que os tratamentos com pó de rocha no primeiro e segundo ano de experimento. Mas, no terceiro e quarto ano, quando nenhum fertilizante potássico estava sendo aplicado, os tratamentos com carbonatito e biotita mantiveram o crescimento da grama semelhante aos tratamentos com KCl (BAKKEN et al., 2000).

Por outro lado, a vinhaça, principal efluente líquido gerado nas indústrias sucroalcooleiras na fabricação de álcool e aguardente, pode promover a dispersão de partículas do solo, com redução da sua taxa de infiltração de água e elevação do escoamento superficial, com possível contaminação de águas superficiais (MATOS et al., 2013). Seu uso associado com pó de rocha silicática pode acelerar a alteração de

minerais contidos no pó, com liberação de cátions que permanecem adsorvidos em fases minerais neoformadas ou formando complexos solúveis com ácidos orgânicos. Além disso, o aproveitamento na agricultura de vinhaça e pó de rocha reveste-se de particular importância visto a produção crescente desses resíduos e à necessidade de se proceder logística reversa desses materiais para atender às exigências da Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os resultados aqui apresentados permitem levantar várias questões, principalmente quanto ao comportamento dos nutrientes no solo:

- A maior retenção de cátions no solo é devida a complexação por ácidos orgânicos e adsorção em novas fases minerais?
- Qual a intensidade de formação dessas novas formas no curto prazo?
- Quais são essas novas fases minerais?

Algumas sugestões de ajustes metodológicos podem ser feitas para responder a estas perguntas:

- Realizar análise mineralógica com difração de Raio-x para identificação e quantificação dos minerais presentes no solo antes e após a utilização da mistura de pó de basalto e vinhaça.
- Avaliar o efeito da microbiota do solo.
- Determinar os teores totais de cátions presentes na fase sólida do solo e contabilizá-los no balanço de nutrientes.
- Avaliar o teor de Si disponível no solo e presente no lixiviado, no início e no fim do experimento.
- Determinar o teor de Na no solo pois o plagioclásio, um dos minerais principais da composição do basalto apresenta grandes quantidades desse elemento juntamente com o Ca. Como no experimento observou-se liberação de cálcio pode ter havido liberação de Na.

6. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa buscou-se contribuir para os estudos em curso no Brasil visando avaliar pó de rocha como fonte alternativa para a fertilização de solos agrícolas. Neste sentido, e buscando-se também propor novas alternativas para o aproveitamento de resíduos de agroindústrias de produção de álcool e de mineradoras, foi avaliado o efeito de misturas de pó de basalto e vinhaça nos atributos químicos de um solo argiloso e de um solo arenoso.

A avaliação do modo de aplicação da mistura indicou que não houve diferença significativa entre a utilização do pó de basalto incubado em vinhaça por 24 horas ou incorporação do pó de rocha no solo e em seguida aplicação de vinhaça. Os teores de nutrientes presentes na vinhaça incubada não diferiram estatisticamente da vinhaça sem incubação com exceção do teor de ferro. Ou seja, a vinhaça pré-incubada com pó de rocha não forneceu maior quantidade de nutrientes que a vinhaça e o pó aplicados diretamente no solo. Com isto, pode-se ter maior facilidade na utilização dessa mistura, pois não é necessário manter o pó de basalto incubado por um determinado tempo nem construir instalações apropriadas para incubação da mistura.

Durante todo o período de experimento verificou-se que houve efeito significativo do solvente e do solo, com variações nos teores dos atributos analisados durante o tempo. A dose de pó de basalto não foi significativa para a maioria dos atributos analisados, com exceção dos teores de boro e de ferro. Embora o efeito da dose não tenha sido significativo para todos os atributos analisados, a interação dose e tempo apresentou diferenças significativas para os teores de matéria orgânica, manganês e enxofre.

Também foi observado efeito do solvente. A vinhaça, quando comparada com água, proporcionou a liberação de maiores teores de cátions contidos no pó de basalto. Foram observadas diferenças na retenção dos cátions no solo devido principalmente a quantidade de matéria orgânica que já estava presente no solo e também da adicionada pela vinhaça.

Houve diferença significativa entre os solos analisados, com maiores teores no solo argiloso do que no arenoso. Esta variação ocasionada pela diferença de textura entre os dois solos e, portanto retenção de cátions.

No final do experimento, na camada subsuperficial não houve diferença significativa de pH. Mas, ao se analisar os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , foram observadas variações devidas a diferença de retenção de cada tipo de solo.

No balanço de teores medidos no início e no fim do experimento, houve aumento nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos tratamentos com água destilada e pó de rocha, confirmando o potencial da rochagem com fonte alternativa para a fertilização de solos. Entretanto, observou-se diminuição da quantidade destes cátions disponíveis nos tratamentos com vinhaça e pó de basalto. As técnicas utilizadas nesta pesquisa não permitiram determinar as causas desta diminuição. Entretanto, com base na bibliografia disponível, sugere-se que nas misturas de pó de basalto e vinhaça pode ter ocorrido processos de sorção desses cátions por ácidos orgânicos presentes na vinhaça e ou por novas fases minerais originadas de processos de alteração de pó por ácidos orgânicos.

Conclui-se que mistura de vinhaça e pó de basalto apresenta as seguintes vantagens:

- é uma alternativa de adubação, pelos efeitos observados nos atributos químicos do solo, ao longo de 90 dias de ensaio;
- deve ser vista como complemento à adubação convencional, pelo menos nos primeiros anos de cultivo, dadas as quantidades de nutrientes fornecidas;
- diminui, em relação à rochagem, o tempo para disponibilização de elementos importantes para nutrição de plantas e que estão contidos nos minerais do pó de rocha
 - permite reduzir o consumo de fertilizantes solúveis;
 - dá destino ambientalmente adequado para dois resíduos;
 - tem papel importante na remineralização do solo.

Cabe salientar, no entanto, que são necessários estudos complementares para avaliar fenômenos de sorção e de disponibilização de cátions em misturas de pó de basalto e vinhaça, os quais podem abrir novas possibilidades para a logística reversa desses materiais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 1-42.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da Acidez dos Solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: Anda, 2005. p. 20.

ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. 2003. Disponível em: <http://www.anda.org.br/boletins/fertilizantes_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; SVEISTRUP, T.; MYHR, K. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v. 56, p. 53-57, 2000.

BARIZON, R. R. M.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J. B.; PRATA, F.; TORNISIELO, V. L. Simulação do transporte e da sorção de imazaquin em colunas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 615-623, 2006.

BARROS, R. P.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M. BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346, 2010.

BATAGLIA, O. C. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 159-172.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 781-787, 2009.

BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J.; RIZZI, N. E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1841-1850, 2010.

BLAKE, R. E.; WALTER, L. M. Effects of organic acids on the dissolution of orthoclase at 80°C and pH 6. **Chemical Geology**, v. 132, p.91-102, 1996.

BOEIRA, R. C. **Lodo de Esgoto como Fertilizante em Culturas Anuais: Acidez do Solo**. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Boeira_lodoID-spUUitkGP7.pdf>. Acesso em: 12 maio 2013.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. **Movimento do herbicida tebutiuram no perfil de três tipos de solo através de colunas de lixiviação**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2005. 4 p.

BORGES, K. B.; BORGES, W. S.; PUPO, M.T.; BONATO, P. S. Endophytic fungi as models for the stereoselective biotransformation of thioridazine. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 77, p. 669–674, 2007.

BORKERT, C. M. Manganês. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. **P. Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 173-190.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº.12.305/2010)**. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 12 fev. 2013.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Concentração de cátions presentes no lixiviado de solos tratados com vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 773-781, 2007.(a)

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 318-323, 2007.(b)

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 52-56, 2005.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. R. M. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 456-462, 2009.

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2011.

CAMARGO, C. K.; RESENDE, J. T.V.; CAMARGO, L. K. P.; FIGUEIREDO, A. S. T.; ZANIN, D. S. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2985-2994, 2012.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; SANTOS, D. R.; KAMINSKI, J.; BISSANI, C. A. Fracionamento do nitrogênio, fósforo e enxofre orgânico. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 243-262.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M.A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77 p.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 738-747, 2006.

CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 45-64.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARVALHO, J. A.; AQUINO, R. F.; PEREIRA, G. M.; RODRIGUES, R. C.; CAMPOS, T. B. Perda de carga em tubos de PVC conduzindo água residuária do processamento de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 811-817, 2009.

CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R. Modelos químicos de adsorção. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: Parte 2 - aplicações**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 131-160.

CHOROVER, J.; AMISTADI, M. K.; CHADWICK, O. A. Surface charge evolution of mineral-organic complexes during pedogenesis in Hawaiian basalt. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, v. 68, n. 23, p. 4859-4876, 2004.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E**, de 23 de novembro de 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 10 maio 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Norma Técnica P4.231**. Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo: CETESB, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento Safra Brasileira: Cana de Açúcar, Safra 2012/13**. Brasília: Conab, 2012. 18 p.

COSTA, L. G.; LOPES, O. M. M.; LOPES-ASSAD, M. L. Efeito de vinhaça na disponibilização de macronutrientes catiônicos contidos em pó de diabásio. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2010, São Carlos. **Anais Congresso de Iniciação científica e tecnológica**. São Carlos: UFSCar, 2010. CD-ROM.

CUNHA, L. P.; MORAES, S. O. Avaliação do regime estacionário em colunas de amostras deformadas de solo sob saturação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1197-1203, 2007.

DAHER, E. **Uma crise de demanda**. 2008. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/multimedia/fertilizantes.pdf>>. Acesso em 26 dez. 2012

DANTAS, J. P. Boro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 113-130.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**: Parte 2 - aplicações. Viçosa, SBCS, 2009, p. 1-68.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/inoculacao.htm>>. Acesso em 12 jul. 2013.

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

FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 8, p. 111-121, 2009.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 131-158.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**., v.34, n. 13, p. 2045-2058, 2003.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, p. 715-720, 2006 .

GARCIA, A.; ROJAS, C. A. **Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos**. Tecnicaña, 2006. 11 p.

GONZALEZ, R. G.; GARLOBO, C. M. S. Vinhaça. In: **Manual dos derivados da cana-de-açúcar**. Brasília: ABIPTI, 1999. p. 435-442.

GUDBRANDSSON, S.; WOLFF-BOENISCH, D.; GISLASON, S. R.; OELKERS, E. H. An experimental study of crystalline basalt dissolution from $2 \leq \text{pH} \leq 11$ and temperatures from 5 to 75 °C. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, v. 75, p. 5496-5509, 2011.

GUTIERREZ, R. S.; INOCÊNCIO, M. F. Escória de siderurgia e pó-de-basalto na fertilização de solos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 1877-1880, 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**, v. 56, p. 11-36, 2000.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Advances in Agronomy**, v.37, p. 249-315, 1984.

HUANG, W. H.; KELLER, W. D. Dissolution of clay minerals in dilute organic acids at room temperature. **The American Mineralogist**, v. 56, p. 1082-1095, 1971.

HUANG, W. H.; KELLER, W. D. Dissolution of rock-forming silicate minerals in organic acids: simulated first-stage weathering of fresh mineral surfaces. **The American Mineralogist**, v. 55, p. 2076-2094, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000978.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2013

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Aquecidas as vendas e as entregas de fertilizantes em 2012**. Disponível em: <<http://www.iesa.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12431>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

INOCÊNCIO, M. F.; NOVELINO, J. O.; PAIM L. R.; GUTIERREZ, R. S. Efeito da aplicação de basalto triturado nas características químicas de amostras de solo do estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 145-151, 2009.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: Parte 1 - Conceitos básicos**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 333-379.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco eqüino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (Rosaceae). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 427-436, 2007.

LELIS NETO, J. A. **Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solo**. 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian view point. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v. 56, p. 3-9, 2000.

LIMA, C. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H. M.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 334-340, 2009.

LOPES, O. M. M.; COSTA, L. G.; LOPES-ASSAD, M. L. Disponibilização de nutrientes em misturas de pó de rocha com vinhaça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. CD-ROM.

LOPES, O. M. M.; COSTA, L. G.; LOPES-ASSAD, M. L. Efeito de vinhaça na disponibilização de micronutrientes contidos em pó de diabásio. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2010, São Carlos. **Anais Congresso de Iniciação científica e tecnológica**. São Carlos: UFSCar, 2010. CD-ROM.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S. R.. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2006.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA-MAGRI, M.M.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilization of mineral and rocks: microorganisms acting to improve soil fertility, chapter 6. In: MOHAMMAD M. (ed.). (Org.). **Soil Nutrients**. New York: Nova Publishers, 2011. ISBN 1613247850.

MACHADO, F. B.; MOREIRA, C. A.; ZANARDO, A; ANDRE, A. C.;GODOY, A. M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A. J. R.; ARTUR, A. C.; OLIVEIRA, M. A. F. 2012. **Enciclopédia Multimídia de Minerais**. ISBN: 85-89082-11-3. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acesso em: 23 dez. 2012.

MACHADO, F. B.; NARDY, A. J. R.; MELO, R. P.; OLIVEIRA, M. A. F.; SQUISATO, E. As rochas intrusivas da formação serra geral na porção leste da bacia do paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares. **Geociências**, v. 24, p. 5-17, 2005.

MARIN, F. R.; LOPES-ASSAD, M. L.; ASSAD, E. D.; VIAN C. E.; SANTOS, M. C. Eficiência de colheita de cana de açúcar em duas épocas de cultivo no Estado de São Paulo, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p.1449-1455, 2008

MARQUES, M. O. Aspectos Técnicos e Legais da Produção, Transporte e Aplicação de Vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em Produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 369-376.

MARTINS, J. C.; MARTINS, E. S.; A., REATTO. **Revisão de intemperismo de micas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 48 p.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. **Agrominerais – rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura** 2008. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/09-agrominerais-rochas-silicaticas.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2012

MATALLO, M. B.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; CERDEIRA, A. L.; MARIN, G. C. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, p. 83-90, 2003.

MATOS, A. T.; GARIGLIO, H. A. A.; LO MONACO, P. A. V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 743-749, 2013.

MAURICE, P. A.; HOHELLA JR., M. F.; PARKS, G. A.; SPOSITO, G.; SCHWERMANN, U. Evolution of hematite surface microtopography upon dissolution by simple organic acids. **Clays And Clay Minerals**, Virginia, v. 43, n. 1, p. 29-38, 1995.

McMAHON, P. B.; VROBLESKY, D. A.; BRADLEY, P. M.; CHAPELLE, F. H.; GULLETT, C. D. Evidence for Enhanced Mineral Dissolution in Organic Acid-Rich Shallow Ground Water. **Ground Water**, v. 33, n. 2, p. 207-216, 1995.

MEDEIROS, G. A.; DANIEL, L. A.; LUCARELLI, J. R. F.; REIS, F. A. G. V. Influência do sistema de preparo e manejo de um Latossolo vermelho nas suas propriedades físico-hídricas. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 453-465, 2009.

MEDINA, G. B. **Usos alternativos de las Vinazas de Acuerdo con su Composición Química**. Tecnicaña, 2006. 5 p.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. **Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. 2007. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-72.pdf>. Acesso em: 01 maio 2012.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 456-465, 2006.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 4, p.471-476, 2012.

MORAES, V. **Pó de rocha será nova fonte de potássio para agricultura**. 2004. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2004/novembro/bn.2004-12-10.8734344609/>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S.; GUMIERI, A. G.; VASCONCELOS, W. L. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 322, p.193-199, 2006.

MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: Parte 2 - aplicações**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 313-380.

NAHAS, E.; BANZATTO, D. A.; ASSIS, L. C. Fluorapatite solubilization by *Aspergillus niger* in vinasse medium. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 8, p. 1097-1101, 1990.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G. M. A.; LEME, E. J. A. Utilização Agrícola dos Resíduos da Agroindústria Canavieira. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e Adubação da Cana-de-Açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 229-264.

PALANDRI, J. L.; KHARAKA, Y. K. **A compilation of rate parameters of water-mineral interaction kinetics for application to geochemical modeling**. Menlo Park: United States Geological Survey, 2004. 70p.

PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 757-766, 2009.

PRATES, F. B. S.; LUCAS, C. S. G.; SAMPAIO, R. A.; BRANDÃO JUNIOR, D. S.; FERNANDES, L. A.; JUNIO, G. R. Z. Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 207-213, 2012.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M.; CURTI, N.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, P. L. T. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2011.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; SOUZA, F. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 54, p. 891-897, 2010.

ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; SILVA, A. A.; BOSO, W. Estudo da influência da aplicação de diferentes doses de vinhaça no crescimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em Latossolo Roxo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 67-70, 1999.

RODELLA, A. A. Métodos de análise de solo, tecido vegetal, vinhaça e torta de filtro. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 351-368.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos sub-produtos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-Açúcar Cultivo e Utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 435-504.

SAMPAIO, S. C.; CAOVILO, F. A.; OPAZO, M. A. U.; NÓBREGA, L. H. P.; SUSZEK, M.; SMANHOTTO, A. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.1, p. 150-159, 2010.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, A.; PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C. Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 147-152, 2011.

SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; SPEHAR, C. R.; GUILHERME, L. R. G.; REIN, T. A.; SOARES, D. A.; ÁVILA, F. W. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical Changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 951-962, 2012.

SILVA, E. A.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, p. 323-333, 2008.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVEIRA, M. L.; LIMA, F. M. R. S. **O uso de pó de rocha fosfática para o desenvolvimento da agricultura familiar no Semi-Árido brasileiro**. 2007. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XV_jic_2007/Maira_Leao_Francisco_Mariano.pdf>. Acesso em: 01 maio 2012.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O.; BETTIOL, W.; BELIZÁRIO, M. H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1231-1240, 2008.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Zinco. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 219-242.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1989. 277 p.

THEODORO, S. C. H. **A Fertilização da Terra pela Terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. 241 f. Tese (Doutorado em Gestão e Política Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, p. 721-730, 2006 .

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**, v. 9, p. 263-292, 2006.

THEODORO, S. H.; ROCHA, E. J. P. L.; REGO, K. G. **Rochagem e agrofloresta: um caminho para a recuperação da área de proteção ambiental do reservatório de Tucuruí/PA**. 2009. Disponível em: <<http://www.sct.embrapa.br/cdagro/tema03/03tema32.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2012

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Setor Sucroenergético - Histórico**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode=9E97665F-3A81-46F2-BF69-26E00C323988>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

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

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, A. J. N.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, Y. J. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 639-648, 2010

VOLL, C. E. **Aplicação de vinhaça e do extrato de palhão de cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas**. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

WELTER, M. K.; MELO, V. F.; BRUCKNER, C. H.; GOES, H. T. P.; CHAGAS, E. A.; UCHÔA, S. C. P. Efeito da aplicação de pó de basalto no desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 922-931, 2011.

APÊNDICE 1

Tabela 1. Análise da composição do pó de basalto

| Parâmetro | Basalto | Unidade | Limite de detecção | Parâmetro | Basalto | Unidade | Limite de detecção |
|----------------------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|
| Al ₂ O ₃ * | 13,94 | % | 0,01 | Sm* | 3,01 | ppm | 0,05 |
| Ba* | 198 | ppm | 1 | Sn* | <1 | ppm | 1 |
| Be* | <1 | ppm | 1 | Sr* | 207,4 | ppm | 0,5 |
| CaO* | 10,16 | % | 0,01 | (Sum) | 99,74 | % | 0,01 |
| Ce* | 19,3 | ppm | 0,1 | Ta* | 0,3 | ppm | 0,1 |
| Co* | 46,7 | ppm | 0,2 | Tb* | 0,62 | ppm | 0,01 |
| Cr ₂ O ₃ * | 0,015 | % | 0,002 | Th* | 2,2 | ppm | 0,2 |
| Cs* | 1,1 | ppm | 0,1 | TiO ₂ * | 1,02 | % | 0,01 |
| Dy* | 3,91 | ppm | 0,05 | Tm* | 0,34 | ppm | 0,01 |
| Er* | 2,22 | ppm | 0,03 | U* | 0,7 | ppm | 0,1 |
| Eu* | 0,93 | ppm | 0,02 | V* | 322 | ppm | 8 |
| Fe ₂ O ₃ * | 12,62 | % | 0,04 | W* | 2,9 | ppm | 0,5 |
| Ga* | 15,1 | ppm | 0,5 | Y* | 21,8 | ppm | 0,1 |
| Gd* | 3,41 | ppm | 0,05 | Yb* | 2,15 | ppm | 0,05 |
| Hf* | 2,1 | ppm | 0,1 | Zr* | 74,6 | ppm | 0,1 |
| Ho* | 0,81 | ppm | 0,02 | TOT/C** | 0,06 | % | 0,02 |
| K ₂ O* | 0,84 | % | 0,01 | TOT/S** | 0,08 | % | 0,02 |
| La* | 9,1 | ppm | 0,1 | Ag*** | <0.1 | ppm | 0,1 |
| LOI* | 1,4 | % | -5,1 | As*** | 0,8 | ppm | 0,5 |
| Lu* | 0,32 | ppm | 0,01 | Au*** | 0,6 | ppb | 0,5 |
| MgO* | 6,91 | % | 0,01 | Bi*** | <0.1 | ppm | 0,1 |
| MnO* | 0,19 | % | 0,01 | Cd*** | <0.1 | ppm | 0,1 |
| Na ₂ O* | 2,24 | % | 0,01 | Cu*** | 109,9 | ppm | 0,1 |
| Nb* | 4,8 | ppm | 0,1 | Hg*** | 0,01 | ppm | 0,01 |
| Nd* | 11,1 | ppm | 0,3 | Mo*** | 0,5 | ppm | 0,1 |
| Ni* | 53 | ppm | 20 | Ni*** | 17,8 | ppm | 0,1 |
| P ₂ O ₅ * | 0,09 | % | 0,01 | Pb*** | 2,1 | ppm | 0,1 |
| Pr* | 2,51 | ppm | 0,02 | Sb*** | <0.1 | ppm | 0,1 |
| Rb* | 29,3 | ppm | 0,1 | Se*** | <0.5 | ppm | 0,5 |
| Sc* | 41 | ppm | 1 | Tl*** | 0,1 | ppm | 0,1 |
| SiO ₂ * | 50,31 | % | 0,01 | Zn*** | 38 | ppm | 1 |

* Determinação por espectrometria de massa com fonte de plasma induzido (ICP-MS) e espectrometria de emissão com fonte de plasma induzido (ICP-AES).

** Determinação de carbono e enxofre total por análise Leco.

*** Preparo da amostra por digestão em água régia e determinação por Espectrometria de massa com fonte de plasma induzido (ICP-MS).

(Sum) Corresponde à soma do total dos 11 principais óxidos, 10 menos, elementos traços e perdas em ignição (LOI). Este valor deve ser próximo de 100 % pois representa que os principais componentes foram determinados precisamente e contabilizados.

Análise química realizada pela Acme Analytical Laboratories LTD.

Tabela 2. Análise química do Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico.

| Profundidade | P Resina | M.O. | pH | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | CTC | V | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn | pH |
|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----|----|------|-----|------|------|--------------------|---|------|-----|----|------|------------------|-----|
| | mg/dm ³ | g/dm ³ | CaCl ₂ | mmol/dm ³ | | | | | | % | mg/dm ³ | | | | | | H ₂ O | |
| Latossolo Vermelho | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 - (0-10 cm) | 34 | 34 | 5,5 | 4,4 | 27 | 10 | 28 | 0,7 | 40,6 | 68,6 | 59 | 5 | 0,75 | 6,9 | 29 | 11,4 | 1,1 | 6 |
| 02 - (10-20 cm) | 15 | 32 | 5,5 | 3,4 | 27 | 8 | 28 | 0,5 | 38,6 | 66,6 | 58 | 4 | 0,83 | 5,5 | 28 | 11 | 1,4 | 6,2 |
| 03 - (20-30 cm) | 4 | 31 | 5,6 | 2,4 | 26 | 9 | 25 | 0,6 | 36,6 | 61,6 | 59 | 4 | 0,83 | 4,7 | 26 | 10,2 | 0,5 | 6,3 |
| 04 - (30-40 cm) | 4 | 23 | 5,6 | 1,8 | 20 | 8 | 25 | 0,4 | 30 | 55 | 55 | 9 | 0,66 | 4,9 | 26 | 9,8 | 0,4 | 6,2 |
| 05 - (40-50 cm) | 2 | 17 | 5,4 | 2,4 | 10 | 6 | 25 | 0,6 | 18,5 | 43,5 | 42 | 9 | 0,57 | 3,1 | 20 | 6,7 | 0,3 | 5,9 |
| Neossolo Quartzarênico | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 - (0-10 cm) | 1 | 4 | 4 | 1,6 | 3 | 1 | 20 | 7,5 | 5,5 | 25,5 | 22 | 7 | 0,49 | 0,4 | 28 | 0,2 | 0,2 | 4,8 |
| 02 - (10-20 cm) | 1 | 4 | 4,1 | 0,9 | 2 | 1 | 22 | 8,1 | 3 | 25 | 12 | 6 | 0,6 | 0,4 | 31 | 0,3 | 0,2 | 4,8 |
| 03 - (20-30 cm) | 1 | 2 | 4,1 | 1,7 | 1 | 1 | 16 | 6,8 | 3,3 | 19,3 | 17 | # | 0,61 | 0,2 | 16 | 0,1 | 0,2 | 4,6 |
| 04 - (30-40 cm) | 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 16 | 6,3 | 3,6 | 19,6 | 18 | # | 0,06 | 0,4 | 19 | 0,3 | 0,2 | 4,6 |
| 05 - (40-50 cm) | 1 | 2 | 4 | 2,6 | 1 | 1 | 22 | 8,7 | 4,2 | 26,2 | 16 | # | 0,71 | 0,5 | 33 | 0,6 | 0,2 | 4,7 |

Tabela 3. Análise física do Latossolo Vermelho

| Profundidade | Massa específica | | Análise Granulométrica | | | | |
|--------------|-----------------------|-----------|------------------------|-----------|------|-------|-----------|
| | Solo | Partícula | Argila (%) | Areia (%) | | | Silte (%) |
| | (g.cm ⁻³) | | | Grossa | Fina | Total | |
| 0 - 20 | 1,27 | 2,98 | 59,0 | 6,0 | 8,0 | 14,0 | 27,0 |
| 0 - 20 | 1,28 | 2,98 | 58,0 | 7,0 | 8,0 | 15,0 | 27,0 |
| 0 - 20 | 1,32 | 2,98 | 59,0 | 7,0 | 8,0 | 15,0 | 26,0 |
| 20 - 50 | 1,22 | 2,96 | 62,0 | 6,0 | 8,0 | 14,0 | 24,0 |
| 20 - 50 | 1,31 | 2,96 | 64,0 | 6,0 | 8,0 | 14,0 | 22,0 |
| 20 - 50 | 1,38 | 2,96 | 63,0 | 6,0 | 8,0 | 14,0 | 23,0 |

Tabela 4. Análise física do Neossolo Quartzarênico

| Profundidade | Massa específica | | Análise Granulométrica | | | | |
|--------------|-----------------------|-----------|------------------------|-----------|------|-------|-----------|
| | Solo | Partícula | Argila (%) | Areia (%) | | | Silte (%) |
| | (g.cm ⁻³) | | | Grossa | Fina | Total | |
| 0 - 20 | 1,74 | 2,75 | 8,00 | 63 | 28 | 91 | 1,0 |
| 0 - 20 | 1,79 | 2,75 | 8,0 | 64 | 27 | 91 | 1,0 |
| 0 - 20 | 1,80 | 2,75 | 8,0 | 69 | 22 | 91 | 1,0 |
| 20 - 40 | 1,90 | 2,75 | 9,0 | 68 | 23 | 91 | 0 |
| 20 - 40 | 1,78 | 2,75 | 4,0 | 64 | 28 | 92 | 4,0 |
| 20 - 40 | 1,79 | 2,75 | 10,0 | 67 | 23 | 90 | 0 |
| 40 - 60 | 1,73 | 2,72 | 5,0 | 61 | 30 | 91 | 4,0 |
| 40 - 60 | 1,82 | 2,72 | 5,0 | 68 | 23 | 91 | 4,0 |
| 40 - 60 | 1,79 | 2,72 | 4,0 | 69 | 17 | 86 | 10 |

Tabela 5. Análise de variância para os teores de matéria orgânica no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|-------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 56,06 | 28,03 | 5,070 + |
| Resíduo(a) | 6 | 33,17 | 5,53 | |
| Parcelas | 8 | 89,22 | 11,15 | |
| Épocas | 3 | 148,56 | 49,52 | 16,660 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 23,94 | 3,99 | 1,343 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 53,50 | 2,97 | |
| Total | 35 | 315,22 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 6. Análise de variância para pH em CaCl₂ no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|------|------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 1,35 | 0,68 | 20,445 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 0,20 | 0,03 | |
| Parcelas | 8 | 1,55 | 0,19 | |
| Épocas | 3 | 0,46 | 0,15 | 11,497 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 0,13 | 0,02 | 1,648 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 0,24 | 0,01 | |
| Total | 35 | 2,39 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 7. Análise de variância para os teores de alumínio no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|--------|----------|
| Tratamentos | 2 | 0,0106 | 0,0053 | 0,345 ns |
| Resíduo(a) | 6 | 0,0917 | 0,0153 | |
| Parcelas | 8 | 0,1022 | 0,0128 | |
| Épocas | 3 | 0,0500 | 0,0167 | 1,395 ns |
| Tratam x épocas | 6 | 0,0450 | 0,0075 | 0,628 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 0,2150 | 0,0119 | |
| Total | 35 | 0,4122 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 8. Análise de variância para os teores de H+Al no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|-------|----------|
| Tratamentos | 2 | 83,39 | 41,69 | 9,684 * |
| Resíduo(a) | 6 | 25,83 | 4,31 | |
| Parcelas | 8 | 109,22 | 13,65 | |
| Épocas | 3 | 68,11 | 22,70 | 2,972 + |
| Tratam x épocas | 6 | 70,39 | 11,73 | 1,536 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 137,50 | 7,64 | |
| Total | 35 | 385,22 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 9. Análise de variância para os teores de cálcio no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|-------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 69,90 | 34,95 | 7,371 * |
| Resíduo(a) | 6 | 28,45 | 4,74 | |
| Parcelas | 8 | 98,35 | 12,29 | |
| Épocas | 3 | 222,98 | 74,33 | 38,629 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 33,24 | 5,54 | 2,879 * |
| Resíduo(b) | 18 | 34,63 | 1,92 | |
| Total | 35 | 389,21 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 10. Análise de variância para os teores de magnésio no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|-------|-------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 38,82 | 19,41 | 29,015 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 4,01 | 0,67 | |
| Parcelas | 8 | 42,83 | 5,35 | |
| Épocas | 3 | 22,97 | 7,66 | 24,859 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 8,33 | 1,39 | 4,506 ** |
| Resíduo(b) | 18 | 5,54 | 0,31 | |
| Total | 35 | 79,68 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 11. Análise de variância para os teores de potássio no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|--------|------------|
| Tratamentos | 2 | 791,10 | 395,55 | 261,040 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 9,09 | 1,52 | |
| Parcelas | 8 | 800,19 | 100,02 | |
| Épocas | 3 | 96,97 | 32,32 | 17,566 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 82,27 | 13,71 | 7,452 ** |
| Resíduo(b) | 18 | 33,12 | 1,84 | |
| Total | 35 | 1.012,56 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 12. Análise de variância para os teores de enxofre no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|-----------|-----------|-------------|
| Tratamentos | 2 | 41.007,06 | 20.503,53 | 1897,499 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 64,83 | 10,81 | |
| Parcelas | 8 | 41.071,89 | 5.133,99 | |
| Épocas | 3 | 26.030,97 | 8.676,99 | 23,682 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 12.467,61 | 2.077,94 | 5,671 ** |
| Resíduo(b) | 18 | 6.595,17 | 366,40 | |
| Total | 35 | 86.165,64 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 13. Análise de variância para os teores de fósforo no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|--------|----------|
| Tratamentos | 2 | 269,39 | 134,69 | 2,831 ns |
| Resíduo(a) | 6 | 285,50 | 47,58 | |
| Parcelas | 8 | 554,89 | 69,36 | |
| Épocas | 3 | 536,22 | 178,74 | 3,017 + |
| Tratam x épocas | 6 | 395,28 | 65,88 | 1,112 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 1.066,50 | 59,25 | |
| Total | 35 | 2.552,89 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 14. Análise de variância para os teores de soma de bases no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|--------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 1.800,64 | 900,32 | 68,915 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 78,38 | 13,06 | |
| Parcelas | 8 | 1.879,03 | 234,88 | |
| Épocas | 3 | 798,38 | 266,13 | 56,311 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 108,52 | 18,09 | 3,827 * |
| Resíduo(b) | 18 | 85,07 | 4,73 | |
| Total | 35 | 2.871,00 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 15. Análise de variância para os teores de capacidade de troca catiônica no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|--------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 1.109,32 | 554,66 | 67,805 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 49,08 | 8,18 | |
| Parcelas | 8 | 1.158,40 | 144,80 | |
| Épocas | 3 | 608,24 | 202,75 | 28,624 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 124,04 | 20,67 | 2,919 * |
| Resíduo(b) | 18 | 127,50 | 7,08 | |
| Total | 35 | 2.018,19 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 16. Análise de variância para os teores de saturação por bases no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|--------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 936,13 | 468,07 | 43,525 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 64,52 | 10,75 | |
| Parcelas | 8 | 1.000,66 | 125,08 | |
| Épocas | 3 | 326,10 | 108,70 | 10,426 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 86,32 | 14,39 | 1,380 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 187,67 | 10,43 | |
| Total | 35 | 1.600,75 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 17. Análise de variância para os teores de boro no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|--------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 0,4577 | 0,2289 | 1,320 ns |
| Resíduo(a) | 6 | 1,0402 | 0,1734 | |
| Parcelas | 8 | 1,4979 | 0,1872 | |
| Épocas | 3 | 1,9999 | 0,6666 | 10,060 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 1,4264 | 0,2377 | 3,588 * |
| Resíduo(b) | 18 | 1,1928 | 0,0663 | |
| Total | 35 | 6,1170 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 18. Análise de variância para os teores de cobre no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|--------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 0,6244 | 0,3122 | 2,735 ns |
| Resíduo(a) | 6 | 0,6847 | 0,1141 | |
| Parcelas | 8 | 1,3091 | 0,1636 | |
| Épocas | 3 | 2,7846 | 0,9282 | 17,368 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 0,6584 | 0,1097 | 2,053 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 0,9620 | 0,0534 | |
| Total | 35 | 5,7141 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 19. Análise de variância para os teores de ferro no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|---------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 28,8088 | 14,4044 | 53,208 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 1,6243 | 0,2707 | |
| Parcelas | 8 | 30,4331 | 3,8041 | |
| Épocas | 3 | 50,2740 | 16,7580 | 21,113 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 15,6086 | 2,6014 | 3,278 * |
| Resíduo(b) | 18 | 14,2870 | 0,7937 | |
| Total | 35 | 110,6028 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 20. Análise de variância para os teores de manganês no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|----------|--------|------------|
| Tratamentos | 2 | 480,91 | 240,45 | 284,504 ** |
| Resíduo(a) | 6 | 5,07 | 0,85 | |
| Parcelas | 8 | 485,98 | 60,75 | |
| Épocas | 3 | 966,57 | 322,19 | 168,748 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 66,60 | 11,10 | 5,814 ** |
| Resíduo(b) | 18 | 34,37 | 1,91 | |
| Total | 35 | 1.553,52 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 21. Análise de variância para os teores de zinco no primeiro ensaio.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F |
|--------------------|----|--------|--------|-----------|
| Tratamentos | 2 | 0,0268 | 0,0134 | 1,551 ns |
| Resíduo(a) | 6 | 0,0518 | 0,0086 | |
| Parcelas | 8 | 0,0786 | 0,0098 | |
| Épocas | 3 | 0,5886 | 0,1962 | 36,355 ** |
| Tratam x épocas | 6 | 0,0155 | 0,0026 | 0,477 ns |
| Resíduo(b) | 18 | 0,0971 | 0,0054 | |
| Total | 35 | 0,7797 | | |

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Tabela 22. Teores de matéria orgânica obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 33,00 | a A | 27,33 | a B | 29,33 | a B | 34,00 | a A | 30,92 a |
| Vin + 2t incubado | 33,00 | a A | 27,00 | a C | 30,33 | a C | 30,67 | a B | 30,25 a |
| Água + 2t | 29,00 | b A | 26,00 | a B | 27,00 | a B | 30,00 | a A | 28,00 b |
| Média | 31,67 | A | 26,78 | B | 28,89 | B | 31,56 | A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 23. Teores de pH em CaCl₂ obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 7 dias | 15 dias | 30 dias | Média |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin + 2t incorporado | 5,97 a B | 6,17 a A | 6,27 a A | 5,93 a B | 6,08 a |
| Vin + 2t incubado | 5,90 a B | 5,93 a A | 6,07 a A | 5,80 a B | 5,93 b |
| Água + 2t | 5,70 a A | 5,73 a A | 5,67 b A | 5,37 b B | 5,62 c |
| Média | 5,86 B | 5,94 A | 6,00 A | 5,70 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 24. Teores de alumínio obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 7 dias | 15 dias | 30 dias | Média |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin + 2t incorporado | 0,43 a A | 0,47 a A | 0,43 a A | 0,47 a A | 0,45 a |
| Vin + 2t incubado | 0,57 a A | 0,47 a A | 0,43 a A | 0,43 a A | 0,48 a |
| Água + 2t | 0,60 a A | 0,43 a A | 0,43 a A | 0,50 a A | 0,49 a |
| Média | 0,53 A | 0,46 A | 0,43 A | 0,47 A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 25. Teores de H+Al obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 7 dias | 15 dias | 30 dias | Média |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin + 2t incorporado | 21,00 b B | 20,33 b B | 18,00 b B | 24,67 a A | 21,00 b |
| Vin + 2t incubado | 20,67 b B | 20,67 b B | 19,33 b B | 25,00 a A | 21,42 b |
| Água + 2t | 25,33 a A | 25,67 a A | 23,67 a A | 23,00 a A | 24,42 a |
| Média | 22,33 A | 22,22 A | 20,33 A | 24,22 A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 26. Teores de cálcio obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 7 dias | 15 dias | 30 dias | Média |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin + 2t incorporado | 31,29 a A | 24,75 a C | 31,93 a A | 27,90 a B | 28,97 a |
| Vin + 2t incubado | 30,65 a B | 26,83 a C | 32,87 a A | 27,32 a C | 29,42 a |
| Água + 2t | 25,12 b C | 23,09 a C | 30,30 a A | 26,55 a B | 26,26 b |
| Média | 29,02 B | 24,89 D | 31,70 A | 27,26 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 27. Teores de magnésio obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 12,10 | a A | 9,29 | a C | 10,98 | a B | 9,30 | a C | 10,42 a |
| Vin + 2t incubado | 11,51 | a A | 9,93 | a B | 10,87 | a A | 9,01 | a C | 10,33 a |
| Água + 2t | 8,24 | b B | 7,35 | b C | 8,87 | b A | 8,24 | a A | 8,17 b |
| Média | 10,62 | A | 8,86 | B | 10,24 | A | 8,85 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 28. Teores de potássio obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 13,23 | a B | 9,40 | a B | 16,20 | A A | 12,60 | a B | 12,86 a |
| Vin + 2t incubado | 14,10 | a A | 6,80 | b C | 12,50 | B A | 10,70 | b B | 11,03 b |
| Água + 2t | 4,03 | b A | 2,63 | c A | 0,97 | C B | 0,87 | c B | 2,13 c |
| Média | 10,46 | A | 6,28 | B | 9,89 | A | 8,06 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 29. Teores de enxofre obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|--------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 135,00 | a A | 63,33 | a C | 103,67 | A B | 27,33 | a D | 82,33 a |
| Vin + 2t incubado | 127,67 | b A | 47,00 | b C | 93,33 | B B | 27,00 | a C | 73,75 b |
| Água + 2t | 6,00 | c B | 4,00 | c B | 11,00 | C A | 6,33 | b A | 6,83 c |
| Média | 89,56 | A | 38,11 | B | 69,33 | A | 20,22 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 30. Teores de fósforo obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 10,00 | b A | 8,33 | a A | 12,33 | a A | 3,00 | a A | 8,42 a |
| Vin + 2t incubado | 9,33 | b A | 9,00 | a A | 12,33 | a A | 4,67 | a A | 8,83 a |
| Água + 2t | 27,33 | a A | 10,33 | a B | 12,33 | a B | 7,67 | a B | 14,42 a |
| Média | 15,56 | A | 9,22 | A | 12,33 | A | 5,11 | A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 31. Teores de soma de bases obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 56,63 | a A | 43,44 | a C | 59,11 | a A | 49,80 | a B | 52,25 a |
| Vin + 2t incubado | 56,26 | a A | 43,56 | a C | 56,24 | a A | 47,04 | a B | 50,77 a |
| Água + 2t | 37,39 | b A | 33,07 | b B | 40,14 | b A | 35,65 | b B | 36,56 b |
| Média | 50,09 | A | 40,02 | C | 51,83 | A | 44,16 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 32. Teores de capacidade de troca catiônica obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 77,63 | a A | 63,77 | a C | 77,11 | a A | 74,46 | a B | 73,25 a |
| Vin + 2t incubado | 76,93 | a A | 64,23 | a C | 75,57 | a A | 72,04 | a B | 72,19 a |
| Água + 2t | 62,72 | b A | 58,73 | b B | 63,80 | b A | 58,65 | b B | 60,98 b |
| Média | 72,43 | A | 62,25 | C | 72,16 | A | 68,38 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 33. Teores de saturação por bases obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 72,93 | a A | 68,10 | a B | 76,63 | a A | 67,20 | a B | 71,22 a |
| Vin + 2t incubado | 73,13 | a A | 67,83 | a B | 74,39 | a A | 65,24 | a B | 70,15 a |
| Água + 2t | 59,59 | b A | 56,30 | b A | 62,93 | b A | 60,80 | a A | 59,90 b |
| Média | 68,55 | A | 64,07 | B | 71,31 | A | 64,42 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 34. Teores de boro obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|
| Vin + 2t incorporado | 0,70 | b A | 0,56 | a A | 0,50 | a A | 0,77 | a A | 0,63 a |
| Vin + 2t incubado | 1,38 | a A | 0,30 | a B | 0,49 | a B | 1,12 | a A | 0,83 a |
| Água + 2t | 0,39 | b C | 0,40 | a B | 0,40 | a C | 1,04 | a A | 0,56 a |
| Média | 0,82 | A | 0,42 | B | 0,46 | B | 0,98 | A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 35. Teores de cobre obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|
| Vin + 2t incorporado | 3,05 | b B | 3,44 | a B | 3,19 | a B | 3,88 | a A | 3,39 a |
| Vin + 2t incubado | 3,12 | b C | 3,69 | a B | 3,26 | a C | 4,12 | a A | 3,55 a |
| Água + 2t | 3,77 | a A | 3,76 | a A | 3,40 | a B | 3,92 | a A | 3,71 a |
| Média | 3,31 | C | 3,63 | B | 3,28 | C | 3,97 | A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 36. Teores de ferro obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|
| Vin + 2t incorporado | 3,87 | b D | 5,73 | b C | 6,51 | b B | 7,86 | a A | 5,99 b |
| Vin + 2t incubado | 3,40 | b D | 6,09 | b C | 6,74 | b B | 8,42 | a A | 6,16 b |
| Água + 2t | 7,62 | a C | 8,04 | a A | 7,66 | a B | 8,56 | a A | 7,97 a |
| Média | 4,96 | D | 6,62 | C | 6,97 | B | 8,28 | A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 37. Teores de manganês obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| Vin + 2t incorporado | 44,47 | a A | 43,14 | a B | 34,10 | a C | 44,14 | a A | 41,46 a |
| Vin + 2t incubado | 44,32 | a A | 43,03 | a B | 33,49 | a C | 44,05 | a A | 41,22 a |
| Água + 2t | 40,43 | b A | 36,71 | b B | 22,12 | b D | 35,11 | b C | 33,59 b |
| Média | 43,07 | A | 40,96 | C | 29,90 | D | 41,10 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 38. Teores de zinco obtidos no primeiro ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | | 7 dias | | 15 dias | | 30 dias | | Média |
|----------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|
| Vin + 2t incorporado | 1,00 | a A | 0,84 | a B | 0,70 | a B | 0,76 | a B | 0,82 a |
| Vin + 2t incubado | 0,98 | a A | 0,76 | a B | 0,63 | a B | 0,75 | a B | 0,78 a |
| Água + 2t | 1,08 | a A | 0,85 | a B | 0,68 | a B | 0,76 | a B | 0,84 a |
| Média | 1,02 | A | 0,82 | B | 0,67 | B | 0,76 | B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 39. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de matéria orgânica.

| Causas de variação | G L | Soma de quadrados | Quadrado médio | F | Pr > F |
|----------------------------|-----|-------------------|----------------|---------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 24016,29 | 252,8 | 42,15 | <,0001 |
| Resíduo | 118 | 707,75 | 6 | | |
| Total | 213 | 24724,04 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 19386,19 | 19386,19 | 1702,35 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 65,68 | 65,68 | 5,77 | 0,0252 |
| Dose | 2 | 1,69 | 0,85 | 0,07 | 0,9286 |
| Solo x Solvente | 1 | 33,6 | 33,6 | 2,95 | 0,0999 |
| Solo x Dose | 2 | 319,97 | 159,98 | 14,05 | 0,0001 |
| Solvente x Dose | 2 | 22,04 | 11,02 | 0,97 | 0,3955 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 18,59 | 9,29 | 0,82 | 0,4551 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 2641,9 | 528,38 | 88,09 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 378,95 | 75,79 | 12,64 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 125,2 | 25,04 | 4,17 | 0,0016 |
| Dose x Tempo | 10 | 234,83 | 23,48 | 3,92 | 0,0001 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 50,65 | 10,13 | 1,69 | 0,1426 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 250,51 | 25,05 | 4,18 | <,0001 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 138,63 | 13,87 | 2,31 | 0,0161 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 55,84 | 5,59 | 0,93 | 0,5076 |

Tabela 40. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os valores de pH em CaCl₂.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 96,34 | 1,014 | 51,44 | <,0001 |
| Resíduo | 120 | 2,37 | 0,02 | | |
| Total | 215 | 98,7 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 56,32 | 56,32 | 1455,12 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 26,39 | 26,39 | 681,77 | <,0001 |
| Dose | 2 | 0,09 | 0,043 | 1,11 | 0,3462 |
| Solo x Solvente | 1 | 4,89 | 4,89 | 126,33 | <,0001 |
| Solo x Dose | 2 | 0,29 | 0,14 | 3,73 | 0,0402 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,23 | 0,12 | 3,02 | 0,0692 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 0,31 | 0,15 | 3,98 | 0,0336 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 1,11 | 0,22 | 11,24 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 0,58 | 0,12 | 5,85 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 1,7 | 0,34 | 17,23 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 0,27 | 0,027 | 1,37 | 0,2027 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 2,21 | 0,44 | 22,37 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 0,26 | 0,06 | 1,32 | 0,2297 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 0,36 | 0,036 | 1,81 | 0,066 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 0,39 | 0,039 | 1,96 | 0,0438 |

Tabela 41. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de alumínio.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 2030,6 | 21,37 | 20,01 | <,0001 |
| Resíduo | 119 | 127,08 | 1,07 | | |
| Total | 214 | 2157,69 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 671,48 | 671,48 | 445,19 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 284,27 | 284,27 | 188,47 | <,0001 |
| Dose | 2 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,9892 |
| Solo x Solvente | 1 | 261 | 261 | 173,04 | <,0001 |
| Solo x Dose | 2 | 0,39 | 0,19 | 0,13 | 0,8795 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,9725 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 0,15 | 0,08 | 0,05 | 0,9501 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 197,72 | 39,54 | 37,03 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 176,55 | 35,31 | 33,06 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 190,54 | 38,1 | 35,68 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 8,45 | 0,84 | 0,79 | 0,6375 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 177,57 | 35,51 | 33,25 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 4,53 | 0,45 | 0,42 | 0,9324 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 5,4 | 0,54 | 0,51 | 0,8831 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 4,07 | 0,41 | 0,38 | 0,9528 |

Tabela 42. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de H + Al.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 3504,4 | 36,89 | 22,41 | <,0001 |
| Resíduo | 120 | 197,56 | 1,65 | | |
| Total | 215 | 3701,96 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 665 | 665 | 223,93 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 1705,78 | 1705,78 | 574,4 | <,0001 |
| Dose | 2 | 1,44 | 0,72 | 0,24 | 0,7862 |
| Solo x Solvente | 1 | 30,38 | 30,38 | 10,23 | 0,0041 |
| Solo x Dose | 2 | 10,04 | 5,02 | 1,69 | 0,2076 |
| Solvente x Dose | 2 | 4,93 | 2,46 | 0,83 | 0,4495 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 2,78 | 1,39 | 0,47 | 0,6325 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 283,38 | 56,68 | 34,43 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 102,63 | 20,53 | 12,47 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 414,97 | 82,99 | 50,41 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 8,39 | 0,84 | 0,51 | 0,8806 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 157,82 | 31,56 | 19,17 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 24,91 | 2,49 | 1,51 | 0,1428 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 12,24 | 1,22 | 0,74 | 0,6823 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 13,94 | 1,39 | 0,85 | 0,5846 |

Tabela 43. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de cálcio.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 24955,72 | 262,69 | 74,86 | <,0001 |
| Resíduo | 117 | 410,56 | 3,51 | | |
| Total | 212 | 25366,28 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 23295,31 | 23295,31 | 9047,82 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 177,03 | 177,03 | 68,76 | <,0001 |
| Dose | 2 | 0,75 | 0,38 | 0,15 | 0,8645 |
| Solo x Solvente | 1 | 43,37 | 43,37 | 16,85 | 0,0005 |
| Solo x Dose | 2 | 31 | 15,5 | 6,02 | 0,0082 |
| Solvente x Dose | 2 | 1,99 | 1 | 0,39 | 0,6835 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 4,12 | 2,06 | 0,8 | 0,4623 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 636,99 | 127,4 | 36,31 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 265,64 | 53,13 | 15,14 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 85,9 | 17,18 | 4,9 | 0,0004 |
| Dose x Tempo | 10 | 8,67 | 0,87 | 0,25 | 0,9904 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 35,15 | 7,03 | 2 | 0,0831 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 35,27 | 3,53 | 1,01 | 0,4434 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 14,7 | 1,47 | 0,42 | 0,9352 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 51,16 | 5,12 | 1,46 | 0,164 |

Tabela 44. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de magnésio.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 2244,96 | 23,63 | 57,81 | <,0001 |
| Resíduo | 117 | 47,83 | 0,41 | | |
| Total | 212 | 2292,79 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 1976,82 | 1976,82 | 4491,2 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 49,73 | 49,73 | 112,97 | <,0001 |
| Dose | 2 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,9379 |
| Solo x Solvente | 1 | 0,59 | 0,59 | 1,33 | 0,2604 |
| Solo x Dose | 2 | 1,46 | 0,73 | 1,65 | 0,2142 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,65 | 0,33 | 0,74 | 0,4875 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 0,99 | 0,5 | 1,13 | 0,3413 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 131 | 26,2 | 64,09 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 17,18 | 3,44 | 8,4 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 24,88 | 4,98 | 12,17 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 1,36 | 0,14 | 0,33 | 0,9706 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 4,36 | 0,87 | 2,13 | 0,0661 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 5,46 | 0,55 | 1,34 | 0,2196 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 1,55 | 0,16 | 0,38 | 0,9534 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 9,59 | 0,96 | 2,35 | 0,0146 |

Tabela 45. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de potássio.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 2166,96 | 22,81 | 40,27 | <,0001 |
| Resíduo | 119 | 67,4 | 0,57 | | |
| Total | 214 | 2234,35 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 303,23 | 303,23 | 201,5 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 899,38 | 899,38 | 597,66 | <,0001 |
| Dose | 2 | 0,02 | 0,008 | 0,01 | 0,9949 |
| Solo x Solvente | 1 | 203,66 | 203,66 | 135,33 | <,0001 |
| Solo x Dose | 2 | 3,33 | 1,66 | 1,11 | 0,3486 |
| Solvente x Dose | 2 | 1,19 | 0,6 | 0,4 | 0,678 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 4,5 | 2,25 | 1,49 | 0,2462 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 321,31 | 64,26 | 113,46 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 43,76 | 8,75 | 15,45 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 257,33 | 51,47 | 90,87 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 6,18 | 0,62 | 1,09 | 0,3742 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 32,67 | 6,53 | 11,54 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 10,73 | 1,07 | 1,89 | 0,0524 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 2,88 | 0,29 | 0,51 | 0,8819 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 5,69 | 0,57 | 1 | 0,4441 |

Tabela 46. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de enxofre.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 283342,39 | 2982,55 | 39,64 | <,0001 |
| Residuo | 109 | 8200,91 | 75,24 | | |
| Total | 204 | 291543,3 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 1368,61 | 1368,61 | 10,43 | 0,0038 |
| Solvente | 1 | 33292,88 | 33292,88 | 253,84 | <,0001 |
| Dose | 2 | 182,12 | 91,06 | 0,69 | 0,5101 |
| Solo x Solvente | 1 | 2430,55 | 2430,55 | 18,53 | 0,0003 |
| Solo x Dose | 2 | 181,76 | 90,88 | 0,69 | 0,5107 |
| Solvente x Dose | 2 | 213,53 | 106,77 | 0,81 | 0,456 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 188,74 | 94,37 | 0,72 | 0,4981 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 127368,39 | 25473,68 | 338,58 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 6458,47 | 1291,69 | 17,17 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 74847,11 | 14969,42 | 198,96 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 1641,26 | 164,13 | 2,18 | 0,0241 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 7279,59 | 1455,92 | 19,35 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 1068,63 | 106,86 | 1,42 | 0,1808 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 1298,68 | 129,87 | 1,73 | 0,0837 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 713,17 | 71,32 | 0,95 | 0,493 |

Tabela 47. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de fósforo.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 4611,65 | 48,54 | 14,32 | <,0001 |
| Resíduo | 120 | 406,78 | 3,39 | | |
| Total | 215 | 5018,43 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 1992,3 | 1992,3 | 780,49 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 26,74 | 26,74 | 10,48 | 0,0038 |
| Dose | 2 | 3,7 | 1,85 | 0,73 | 0,4953 |
| Solo x Solvente | 1 | 20,17 | 20,17 | 7,9 | 0,0102 |
| Solo x Dose | 2 | 5,48 | 2,74 | 1,07 | 0,359 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,15 | 0,07 | 0,03 | 0,9714 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 9,33 | 4,67 | 1,83 | 0,1843 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 2046,48 | 409,3 | 120,74 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 122,98 | 24,6 | 7,26 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 114,87 | 22,97 | 6,78 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 46,74 | 4,67 | 1,38 | 0,1981 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 82 | 16,4 | 4,84 | 0,0005 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 24,41 | 2,44 | 0,72 | 0,7043 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 22,41 | 2,24 | 0,66 | 0,7584 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 30,67 | 3,07 | 0,9 | 0,5313 |

Tabela 48. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de soma de bases.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 52592,91 | 553,61 | 79,74 | <,0001 |
| Resíduo | 117 | 812,3 | 6,94 | | |
| Total | 212 | 53405,21 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 45979,58 | 45979,58 | 7744,92 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 2516,97 | 2516,97 | 423,97 | <,0001 |
| Dose | 2 | 0,59 | 0,29 | 0,05 | 0,9517 |
| Solo x Solvente | 1 | 44,35 | 44,35 | 7,47 | 0,0121 |
| Solo x Dose | 2 | 36,99 | 18,5 | 3,12 | 0,0644 |
| Solvente x Dose | 2 | 9,8 | 4,9 | 0,83 | 0,451 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 27,54 | 13,67 | 2,32 | 0,1219 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 2061,08 | 412,22 | 59,37 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 409,68 | 81,94 | 11,8 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 840,98 | 168,2 | 24,23 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 8,33 | 0,93 | 0,12 | 0,9996 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 30,99 | 6,2 | 0,89 | 0,4884 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 74,71 | 7,47 | 1,08 | 0,3862 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 29,91 | 2,99 | 0,43 | 0,9289 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 108,21 | 10,82 | 1,56 | 0,1277 |

Tabela 49. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de capacidade de troca catiônica.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 64949,51 | 682,63 | 70,58 | <,0001 |
| Resíduo | 117 | 1131,54 | 9,67 | | |
| Total | 212 | 65981,05 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 57616,4 | 57616,4 | 6511,61 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 90,43 | 90,43 | 10,22 | 0,0042 |
| Dose | 2 | 1,8 | 0,9 | 0,1 | 0,9038 |
| Solo x Solvente | 1 | 146,81 | 146,81 | 16,59 | 0,0005 |
| Solo x Dose | 2 | 74,64 | 37,32 | 4,22 | 0,0281 |
| Solvente x Dose | 2 | 22,27 | 11,14 | 1,26 | 0,3037 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 25,2 | 12,6 | 1,42 | 0,2621 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 3011,31 | 602,26 | 62,27 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 428,91 | 85,78 | 8,87 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 2208,59 | 441,72 | 45,67 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 27,66 | 2,77 | 0,29 | 0,9832 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 197,47 | 39,49 | 4,08 | 0,0019 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 147,66 | 14,77 | 1,53 | 0,1383 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 50,1 | 5,01 | 0,52 | 0,8746 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 89,5 | 8,95 | 0,93 | 0,5126 |

Tabela 50. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de saturação por bases.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 72177,4 | 759,76 | 67,69 | <,0001 |
| Resíduo | 117 | 1313,2 | 11,22 | | |
| Total | 212 | 73490,6 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 54488,3 | 54488,3 | 3335,51 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 12162,72 | 12162,72 | 744,54 | <,0001 |
| Dose | 2 | 13,86 | 6,93 | 0,42 | 0,6595 |
| Solo x Solvente | 1 | 1606,26 | 1606,26 | 98,33 | <,0001 |
| Solo x Dose | 2 | 39,41 | 19,7 | 1,21 | 0,3184 |
| Solvente x Dose | 2 | 53,47 | 26,73 | 1,64 | 0,2175 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 69,27 | 34,64 | 2,12 | 0,1439 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 1894,57 | 378,91 | 33,76 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 329,93 | 65,99 | 5,88 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 281,13 | 56,23 | 5,01 | 0,0003 |
| Dose x Tempo | 10 | 111,42 | 11,14 | 0,99 | 0,4538 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 70,93 | 14,19 | 1,26 | 0,2842 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 190,18 | 19,02 | 1,69 | 0,0899 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 109 | 10,9 | 0,97 | 0,4723 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 343,06 | 34,31 | 3,06 | 0,0018 |

Tabela 51. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de boro.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 6,82 | 0,072 | 1,46 | 0,0254 |
| Resíduo | 119 | 5,85 | 0,049 | | |
| Total | 214 | 12,67 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 0,57 | 0,57 | 13,93 | 0,0012 |
| Solvente | 1 | 0,54 | 0,54 | 13,19 | 0,0015 |
| Dose | 2 | 0,33 | 0,16 | 4,05 | 0,0319 |
| Solo x Solvente | 1 | 0,003 | 0,003 | 0,08 | 0,7806 |
| Solo x Dose | 2 | 0,03 | 0,017 | 0,41 | 0,6718 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,04 | 0,019 | 0,46 | 0,6402 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 0,03 | 0,017 | 0,41 | 0,6709 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 1,71 | 0,34 | 6,94 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 12 | 0,023 | 0,48 | 0,7876 |
| Solvente x Tempo | 5 | 0,34 | 0,068 | 1,36 | 0,2371 |
| Dose x Tempo | 10 | 0,56 | 0,056 | 1,14 | 0,3387 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 0,22 | 0,044 | 0,91 | 0,4794 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 0,55 | 0,055 | 1,13 | 0,3469 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 0,48 | 0,048 | 0,98 | 0,4666 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 0,34 | 0,033 | 0,69 | 0,7338 |

Tabela 52. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de cobre.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 413,47 | 4,35 | 141,17 | <,0001 |
| Resíduo | 120 | 3,7 | 0,031 | | |
| Total | 215 | 417,17 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 382,99 | 382,99 | 8492,69 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 0,05 | 0,05 | 0,2916 | 0,2916 |
| Dose | 2 | 0,05 | 0,02 | 0,6015 | 0,6015 |
| Solo x Solvente | 1 | 0,00005 | 0,00005 | 0,974 | 0,974 |
| Solo x Dose | 2 | 0,23 | 0,11 | 0,1053 | 0,1053 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,002 | 0,001 | 0,9783 | 0,9783 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 0,01 | 0,004 | 0,9146 | 0,9146 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 14,53 | 2,9 | 94,29 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 12,58 | 2,52 | 81,62 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 0,44 | 0,08 | 2,87 | 0,0175 |
| Dose x Tempo | 10 | 0,34 | 0,03 | 1,11 | 0,3574 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 0,29 | 0,06 | 1,9 | 0,0994 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 0,19 | 0,02 | 0,63 | 0,7889 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 0,17 | 0,02 | 0,55 | 0,8524 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 0,26 | 0,03 | 0,84 | 0,5946 |

Tabela 53. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de ferro.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 3537,69 | 37,24 | 44,7 | <,0001 |
| Resíduo | 120 | 99,97 | 0,83 | | |
| Total | 215 | 3637,66 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 1873,81 | 1873,81 | 1176,76 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 36 | 36 | 22,61 | <,0001 |
| Dose | 2 | 10,28 | 5,14 | 3,23 | 0,0589 |
| Solo x Solvente | 1 | 8,11 | 8,11 | 5,09 | 0,0343 |
| Solo x Dose | 2 | 7,98 | 3,99 | 2,51 | 0,1046 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,87 | 0,44 | 0,27 | 0,7629 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 3,54 | 1,77 | 1,11 | 0,3468 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 922,99 | 184,6 | 221,58 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 253,99 | 50,8 | 60,98 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 40,2 | 8,04 | 9,65 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 2,76 | 0,28 | 0,33 | 0,9711 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 302,71 | 60,54 | 72,67 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 13,21 | 1,32 | 1,59 | 0,1189 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 14,98 | 1,5 | 1,8 | 0,068 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 9,61 | 0,96 | 1,15 | 0,3288 |

Tabela 54. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de manganês.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | Valor de F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 61568,94 | 648,09 | 855,76 | <,0001 |
| Resíduo | 118 | 89,37 | 0,76 | | |
| Total | 213 | 61658,31 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 59076,74 | 59076,74 | 40456,3 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 557,52 | 557,52 | 381,8 | <,0001 |
| Dose | 2 | 3,39 | 1,69 | 1,16 | 0,3321 |
| Solo x Solvente | 1 | 63,1 | 63,1 | 43,21 | <,0001 |
| Solo x Dose | 2 | 25,09 | 12,54 | 8,59 | 0,0018 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,99 | 0,5 | 0,34 | 0,7156 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 10,14 | 5,07 | 3,47 | 0,0489 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 773,96 | 154,79 | 204,39 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 269,94 | 53,99 | 71,29 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 88,52 | 17,7 | 23,38 | <,0001 |
| Dose x Tempo | 10 | 27,62 | 2,76 | 3,65 | 0,0003 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 94,43 | 18,89 | 24,94 | <,0001 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 13,38 | 1,34 | 1,77 | 0,0742 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 14,9 | 1,49 | 1,97 | 0,0429 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 7,85 | 0,79 | 1,04 | 0,4172 |

Tabela 55. Análise de variância e desdobramentos de parcela e subparcela para os teores de zinco.

| Causas de variação | G. L. | Soma de quadrados | Quadrado médio | F | Pr > F |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|--------|--------|
| ANOVA | | | | | |
| Tratamentos | 95 | 20,83 | 0,22 | 14,53 | <,0001 |
| Resíduo | 120 | 1,81 | 0,015 | | |
| Total | 215 | 22,64 | | | |
| Parcela | | | | | |
| Solo | 1 | 15,35 | 15,35 | 843,54 | <,0001 |
| Solvente | 1 | 0,023 | 0,023 | 1,26 | 0,274 |
| Dose | 2 | 0,11 | 0,05 | 2,89 | 0,0767 |
| Solo x Solvente | 1 | 0,13 | 0,13 | 7,32 | 0,0129 |
| Solo x Dose | 2 | 0,11 | 0,05 | 2,95 | 0,0731 |
| Solvente x Dose | 2 | 0,05 | 0,03 | 1,43 | 0,2596 |
| Solo x Solvente x Dose | 2 | 0,024 | 0,011 | 0,65 | 0,5326 |
| Subparcela | | | | | |
| Tempo | 5 | 2,51 | 0,5 | 33,26 | <,0001 |
| Solo x Tempo | 5 | 1,33 | 0,27 | 17,57 | <,0001 |
| Solvente x Tempo | 5 | 0,1 | 0,02 | 1,31 | 0,2635 |
| Dose x Tempo | 10 | 0,04 | 0,004 | 0,28 | 0,9872 |
| Solo x Solvente x Tempo | 5 | 0,13 | 0,03 | 1,77 | 0,1238 |
| Solo x Dose x Tempo | 10 | 0,15 | 0,01 | 0,97 | 0,4761 |
| Solvente x Dose x Tempo | 10 | 0,16 | 0,02 | 1,09 | 0,3754 |
| Solo x Solv x Dose x Tempo | 10 | 0,12 | 0,01 | 0,83 | 0,6035 |

Tabela 56. Teores de matéria orgânica obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 38,33 a A | 29,67 a B | 26,67 a B | 25,67 a B | 19,67 a B | 27,00 a B | 27,83 a |
| Vin+4t+Lat | 40,33 a A | 30,67 a B | 27,67 a B | 29,00 a B | 25,33 a B | 23,67 a B | 29,44 a |
| Vin+2t+Neo | 11,00 b A | 7,00 b A | 7,00 b A | 11,00 b A | 11,00 b A | 4,67 b A | 8,61 b |
| Vin+4t+Neo | 11,00 b A | 9,00 b A | 4,00 b A | 6,00 b A | 4,33 b A | 3,67 b A | 6,33 b |
| Vin+Lat | 37,33 a A | 33,00 a A | 26,67 a B | 26,00 a B | 14,67 a C | 24,33 a B | 27,00 a |
| Vin+Neo | 19,00 b A | 10,67 b B | 13,33 b A | 8,00 b B | 5,67 b B | 6,00 b B | 10,44 b |
| Água+2t+Lat | 32,33 a A | 27,33 a B | 23,00 a C | 24,00 a C | 23,67 a C | 24,00 a C | 25,72 a |
| Água+4t+Lat | 35,00 a A | 28,67 a B | 26,00 a C | 28,67 a C | 23,67 a C | 25,67 a C | 27,94 a |
| Água+2t+Neo | 9,00 b B | 15,00 b A | 6,33 b C | 9,00 b C | 8,33 b C | 5,00 b C | 8,78 b |
| Água+4t+Neo | 8,00 b A | 6,67 b A | 8,67 b A | 6,67 b A | 3,33 b B | 10,67 b A | 7,33 b |
| Água+Lat | 32,33 a A | 28,33 a B | 22,67 a D | 25,00 a C | 17,67 a E | 17,33 a E | 23,89 a |
| Água+Neo | 15,67 b A | 7,33 b C | 11,33 b B | 7,33 b C | 5,33 b C | 5,17 b C | 8,69 b |
| Média | 24,11 A | 19,44 B | 16,94 C | 17,19 C | 13,56 D | 14,76 D | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 57. Teores de pH em CaCl₂ obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 5,70 a B | 6,10 a A | 5,73 a B | 5,73 a B | 5,67 a B | 5,77 a B | 5,78 a |
| Vin+4t+Lat | 5,93 a A | 5,87 a A | 5,87 a A | 5,80 a A | 5,80 a A | 5,80 a A | 5,84 a |
| Vin+2t+Neo | 4,40 c B | 5,10 a A | 5,13 a A | 5,30 a A | 5,23 a A | 5,00 b A | 5,03 d |
| Vin+4t+Neo | 4,57 c C | 5,37 a A | 5,47 a A | 5,37 a A | 5,33 a A | 5,00 b B | 5,18 d |
| Vin+Lat | 5,83 a A | 5,93 a A | 5,83 a A | 5,90 a A | 5,83 a A | 5,53 a B | 5,81 a |
| Vin+Neo | 4,47 c B | 5,27 a A | 5,30 a A | 5,23 a A | 5,17 a A | 4,97 b A | 5,07 d |
| Água+2t+Lat | 5,57 a A | 5,50 a A | 5,60 a A | 5,63 a A | 5,53 a A | 5,37 a B | 5,53 b |
| Água+4t+Lat | 5,20 b C | 5,33 a B | 5,53 a A | 5,47 a A | 5,53 a A | 5,47 a A | 5,42 c |
| Água+2t+Neo | 4,10 d A | 4,03 b A | 4,10 b A | 4,00 b A | 4,03 b A | 4,07 c A | 4,06 e |
| Água+4t+Neo | 4,10 d B | 4,00 b B | 4,07 b B | 4,03 b B | 4,03 b B | 4,43 c A | 4,11 e |
| Água+Lat | 5,30 b B | 5,47 a A | 5,33 a B | 5,27 a B | 5,23 a B | 4,87 b C | 5,24 d |
| Água+Neo | 4,53 c A | 3,97 b C | 4,07 b B | 4,00 b B | 4,17 b B | 4,20 c B | 4,16 e |
| Média | 4,98 B | 5,16 A | 5,17 A | 5,14 A | 5,13 A | 5,04 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 58. Teores de alumínio obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 0,63 b A | 0,50 b A | 0,50 b A | 0,43 b A | 0,50 b A | 0,37 b A | 0,49 b |
| Vin+4t+Lat | 0,43 b A | 0,50 b A | 0,50 b A | 0,57 b A | 0,40 b A | 0,37 b A | 0,46 b |
| Vin+2t+Neo | 7,67 a A | 0,57 b B | 0,53 b B | 0,80 b B | 0,50 b B | 0,53 b B | 1,77 b |
| Vin+4t+Neo | 8,97 a A | 0,57 b B | 0,57 b B | 0,47 b B | 0,47 b B | 0,30 b B | 1,89 b |
| Vin+Lat | 0,43 b A | 0,50 b A | 0,50 b A | 0,63 b A | 0,37 b A | 0,30 b A | 0,46 b |
| Vin+Neo | 7,60 a A | 0,57 b B | 0,73 b B | 0,70 b B | 0,40 b B | 0,50 b B | 1,75 b |
| Água+2t+Lat | 0,53 b A | 0,73 b A | 0,60 b A | 0,47 b A | 0,40 b A | 0,37 b A | 0,52 b |
| Água+4t+Lat | 0,50 b A | 0,50 b A | 0,67 b A | 0,67 b A | 0,37 b A | 0,33 b A | 0,51 b |
| Água+2t+Neo | 6,87 a B | 4,77 a B | 5,77 a B | 10,23 a A | 5,27 a B | 5,10 a B | 6,33 a |
| Água+4t+Neo | 6,77 a B | 3,72 a B | 4,90 a B | 11,80 a A | 4,90 a B | 3,27 a B | 5,89 a |
| Água+Lat | 0,60 b C | 0,50 b C | 0,67 b C | 1,30 b B | 0,47 b C | 2,20 b A | 0,96 b |
| Água+Neo | 5,17 a B | 4,73 a C | 5,10 a C | 12,83 a A | 4,60 a C | 5,03 a C | 6,24 a |
| Média | 3,85 A | 1,51 B | 1,75 B | 3,41 A | 1,55 B | 1,56 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 59. Teores de H+Al obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 22,67 b A | 19,67 b B | 21,00 b B | 22,33 d A | 21,00 a B | 22,33 b A | 21,50 c |
| Vin+4t+Lat | 21,33 b B | 20,33 b B | 22,00 b A | 23,33 c A | 19,33 a B | 21,00 b B | 21,22 c |
| Vin+2t+Neo | 22,00 b A | 15,67 c C | 17,33 c B | 15,67 e C | 14,33 b C | 15,33 c C | 16,72 d |
| Vin+4t+Neo | 23,67 a A | 15,33 c C | 15,33 c C | 16,00 e B | 14,00 b C | 15,67 c C | 16,67 d |
| Vin+Lat | 21,33 b A | 20,33 b A | 20,33 b A | 21,33 d A | 19,33 a A | 22,00 b A | 20,78 c |
| Vin+Neo | 25,00 a A | 15,00 c B | 16,33 c B | 16,33 e B | 15,33 b B | 16,00 c B | 17,33 d |
| Água+2t+Lat | 25,00 a B | 26,00 a B | 25,67 a B | 29,33 a A | 23,67 a B | 26,67 a B | 26,06 a |
| Água+4t+Lat | 24,67 a D | 26,00 a C | 27,33 a B | 29,00 a A | 24,33 a D | 26,00 a C | 26,22 a |
| Água+2t+Neo | 20,00 b D | 21,33 b C | 25,00 a B | 26,33 b A | 22,00 a C | 22,00 b C | 22,78 b |
| Água+4t+Neo | 20,67 b E | 23,33 b C | 26,33 a B | 27,33 a A | 22,33 a D | 22,33 b D | 23,72 b |
| Água+Lat | 24,00 a C | 26,33 a B | 26,67 a B | 29,33 a A | 22,67 a D | 26,00 a B | 25,83 a |
| Água+Neo | 21,33 b D | 22,33 b C | 26,67 a A | 25,67 b B | 22,67 a C | 21,33 b D | 23,33 b |
| Média | 22,64 B | 20,97 C | 22,50 B | 23,50 A | 20,08 D | 21,39 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 60. Teores de cálcio obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 31,88 a A | 20,97 a B | 28,15 a A | 26,79 a A | 24,25 a A | 17,16 a B | 24,87 a |
| Vin+4t+Lat | 32,47 a A | 20,97 a B | 26,34 a A | 26,58 a A | 23,44 a B | 18,04 a B | 24,64 a |
| Vin+2t+Neo | 7,68 b A | 3,70 b A | 4,62 b A | 6,54 b A | 4,85 b A | 6,30 b A | 5,61 b |
| Vin+4t+Neo | 6,69 b A | 4,93 b A | 5,03 b A | 5,23 b A | 5,25 b A | 5,08 b A | 5,37 b |
| Vin+Lat | 32,08 a A | 21,50 a B | 25,33 a B | 27,01 a B | 23,04 a B | 23,46 a B | 25,40 a |
| Vin+Neo | 9,05 b A | 4,05 b A | 5,63 b A | 6,32 b A | 6,47 b A | 6,48 b A | 6,33 b |
| Água+2t+Lat | 28,54 a A | 19,91 a C | 24,13 a B | 27,01 a A | 23,04 a B | 26,62 a A | 24,87 a |
| Água+4t+Lat | 28,54 a A | 22,03 a C | 26,14 a B | 28,54 a A | 23,44 a C | 25,56 a B | 25,71 a |
| Água+2t+Neo | 2,95 b A | 3,52 b A | 2,81 b A | 3,27 b A | 3,03 b A | 3,85 b A | 3,24 b |
| Água+4t+Neo | 1,77 b B | 1,76 b B | 2,81 b B | 2,18 b B | 3,23 b B | 10,33 b A | 3,68 b |
| Água+Lat | 26,37 a A | 20,62 a B | 22,72 a B | 25,27 a A | 22,23 a B | 22,06 a B | 23,21 a |
| Água+Neo | 4,92 b B | 1,59 b C | 3,82 b C | 3,49 b C | 3,64 b C | 10,16 b A | 4,60 b |
| Média | 17,74 A | 12,13 B | 14,80 B | 15,68 A | 13,82 B | 14,59 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 61. Teores de magnésio obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 10,34 a A | 7,04 a B | 8,90 a A | 8,07 a B | 9,12 a A | 6,22 b B | 8,28 a |
| Vin+4t+Lat | 10,73 a A | 6,85 a C | 8,40 a B | 8,08 a C | 8,79 a B | 6,57 b C | 8,24 a |
| Vin+2t+Neo | 3,15 c A | 1,33 b A | 1,81 b A | 2,08 b A | 3,37 b A | 3,88 c A | 2,60 b |
| Vin+4t+Neo | 3,28 c A | 1,75 b A | 1,95 b A | 1,81 b A | 3,59 b A | 3,34 c A | 2,62 b |
| Vin+Lat | 10,61 a A | 7,47 a A | 8,12 a A | 8,48 a A | 8,72 a A | 8,56 a A | 8,66 a |
| Vin+Neo | 3,92 c A | 1,59 b B | 2,18 b B | 2,12 b B | 4,01 b A | 3,73 c A | 2,92 b |
| Água+2t+Lat | 8,18 b B | 6,07 a D | 7,20 a C | 7,68 a B | 8,18 a B | 9,26 a A | 7,76 a |
| Água+4t+Lat | 8,22 b A | 6,80 a C | 7,70 a B | 8,33 a A | 8,57 a A | 9,03 a A | 8,11 a |
| Água+2t+Neo | 1,09 c B | 1,26 b B | 1,09 b B | 1,16 b B | 2,97 b A | 2,97 c A | 1,76 b |
| Água+4t+Neo | 0,67 c C | 0,72 b C | 1,20 b C | 0,67 b C | 2,75 b B | 5,25 c A | 1,88 b |
| Água+Lat | 7,40 b B | 6,32 a C | 7,22 a B | 7,30 a B | 8,08 a A | 8,24 a A | 7,43 a |
| Água+Neo | 1,71 c C | 0,69 b C | 1,47 b C | 1,12 b C | 3,07 b B | 4,39 c A | 2,08 b |
| Média | 5,77 A | 3,99 B | 4,77 B | 4,74 B | 5,94 A | 5,95 A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 62. Teores de potássio obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 11,97 a A | 8,63 a B | 5,07 A D | 8,20 a B | 4,83 a D | 6,87 a C | 7,59 a |
| Vin+4t+Lat | 10,50 a A | 7,63 a B | 4,57 A D | 8,03 a B | 4,70 a D | 6,17 a C | 6,93 a |
| Vin+2t+Neo | 7,10 c A | 1,93 b B | 1,53 B D | 1,73 b C | 2,13 b B | 1,30 b D | 2,62 b |
| Vin+4t+Neo | 10,60 a A | 2,33 b B | 1,93 B D | 1,97 b B | 1,97 b C | 0,90 b D | 3,28 b |
| Vin+Lat | 11,13 a A | 8,40 a B | 4,77 A D | 8,90 a B | 4,77 a D | 6,83 a C | 7,47 a |
| Vin+Neo | 9,03 b A | 3,33 b B | 2,03 B B | 1,40 b D | 1,70 b C | 1,10 b D | 3,10 b |
| Água+2t+Lat | 2,20 d A | 0,87 b C | 1,20 B C | 1,00 b C | 1,63 b B | 0,97 b C | 1,31 b |
| Água+4t+Lat | 2,23 d A | 0,87 b C | 1,20 B C | 1,07 b C | 1,63 b B | 1,10 b C | 1,35 b |
| Água+2t+Neo | 1,27 d A | 0,33 b B | 1,20 B A | 0,48 b B | 1,40 b A | 0,90 b A | 0,93 b |
| Água+4t+Neo | 1,30 d A | 0,30 b B | 1,03 B A | 0,43 b B | 1,33 b A | 0,53 b B | 0,82 b |
| Água+Lat | 1,00 d B | 0,87 b B | 1,53 B A | 1,07 b B | 1,67 b A | 0,73 b B | 1,14 b |
| Água+Neo | 1,07 d A | 0,27 b B | 1,23 b A | 0,47 b B | 1,23 b A | 0,30 b B | 0,76 b |
| Média | 5,78 A | 2,98 B | 2,28 C | 2,90 B | 2,42 C | 2,31 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 63. Teores de enxofre obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 121,33 a A | 84,00 a B | 27,67 a C | 20,00 a C | 9,33 a C | 3,33 a C | 44,28 a |
| Vin+4t+Lat | 130,67 a A | 76,33 a B | 13,67 a C | 16,00 a C | 8,33 a C | 3,00 a C | 41,33 a |
| Vin+2t+Neo | 109,00 a A | 14,00 b B | 7,33 a C | 7,67 a C | 6,00 a C | 5,00 a C | 24,83 b |
| Vin+4t+Neo | 146,33 a A | 13,33 b C | 6,33 a C | 26,00 a B | 8,00 a C | 4,33 a C | 34,06 a |
| Vin+Lat | 125,00 a A | 80,00 a B | 26,33 a C | 13,00 a C | 5,67 a C | 2,33 a C | 42,06 a |
| Vin+Neo | 160,00 a A | 13,00 b B | 10,33 a C | 5,33 a C | 8,33 a C | 3,67 a C | 33,44 a |
| Água+2t+Lat | 53,33 b A | 9,67 b B | 8,00 a C | 4,67 a C | 3,67 a C | 6,33 a C | 14,28 b |
| Água+4t+Lat | 23,67 b A | 12,33 b B | 8,33 a C | 5,33 a C | 7,00 a C | 2,33 a C | 9,83 b |
| Água+2t+Neo | 19,33 b A | 13,67 b A | 9,67 a B | 8,00 a B | 7,33 a B | 9,33 a B | 11,22 b |
| Água+4t+Neo | 26,33 b A | 15,67 b B | 7,67 a C | 6,67 a C | 7,33 a C | 10,00 a C | 12,28 b |
| Água+Lat | 14,67 b A | 13,67 b A | 6,67 a B | 6,67 a B | 4,00 a B | 3,33 a B | 8,17 b |
| Água+Neo | 20,33 b A | 13,67 b A | 5,33 a B | 7,33 a B | 15,33 a A | 4,00 a B | 11,00 b |
| Média | 79,17 A | 29,94 B | 11,44 B | 10,56 C | 7,53 C | 4,75 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 64. Teores de fósforo obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 3,67 c B | 8,33 a B | 8,67 a B | 20,67 a A | 10,33 a B | 9,33 a B | 10,17 a |
| Vin+4t+Lat | 3,67 c B | 7,33 a B | 9,33 a B | 17,33 a A | 10,00 a B | 7,33 a B | 9,17 a |
| Vin+2t+Neo | 1,00 c B | 2,00 b B | 2,67 b B | 9,67 b A | 5,33 b B | 2,67 b B | 3,89 b |
| Vin+4t+Neo | 1,00 c B | 4,33 b A | 5,33 b A | 7,67 b A | 4,67 b A | 2,33 b B | 4,22 b |
| Vin+Lat | 3,00 c C | 10,67 a B | 7,33 a C | 17,67 a A | 10,33 a B | 8,67 a B | 9,61 a |
| Vin+Neo | 1,33 c C | 2,00 b C | 4,00 b B | 10,33 b A | 5,67 b B | 3,33 b B | 4,44 b |
| Água+2t+Lat | 12,00 a B | 8,67 a B | 8,00 a C | 17,67 a A | 11,00 a B | 8,67 a C | 11,00 a |
| Água+4t+Lat | 11,67 a B | 10,00 a B | 7,33 a C | 17,00 a A | 11,33 a B | 9,33 a C | 11,11 a |
| Água+2t+Neo | 1,67 c C | 2,67 b B | 4,33 b B | 10,33 b A | 4,67 b B | 2,67 b C | 4,39 b |
| Água+4t+Neo | 1,67 c C | 3,00 b C | 3,67 b B | 8,00 b A | 4,67 b B | 4,33 b B | 4,22 b |
| Água+Lat | 8,00 b B | 10,00 a B | 7,67 a C | 19,00 a A | 11,00 a B | 6,67 a C | 10,39 a |
| Água+Neo | 2,00 c C | 3,67 b B | 4,67 b B | 9,33 b A | 5,67 b B | 2,33 b C | 4,61 b |
| Média | 4,22 C | 6,06 B | 6,08 B | 13,72 A | 7,89 B | 5,64 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 65. Teores de soma de bases obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 54,19 a A | 36,65 a B | 42,12 a B | 43,06 a B | 38,21 a B | 30,25 a B | 40,74 a |
| Vin+4t+Lat | 53,70 a A | 35,46 a B | 39,31 a B | 42,69 a B | 36,93 a B | 30,77 a B | 39,81 a |
| Vin+2t+Neo | 17,92 c A | 6,97 b A | 7,97 b A | 10,35 b A | 10,36 b A | 11,48 b A | 10,84 c |
| Vin+4t+Neo | 20,57 c A | 9,02 b B | 8,91 b B | 9,01 b B | 10,81 b B | 9,32 b B | 11,27 c |
| Vin+Lat | 53,82 a A | 37,37 a B | 38,22 a B | 44,40 a B | 36,52 a B | 38,86 a B | 41,53 a |
| Vin+Neo | 22,00 c A | 8,98 b B | 9,84 b B | 9,83 b B | 12,18 b B | 11,31 b B | 12,36 c |
| Água+2t+Lat | 38,92 b A | 26,85 a C | 32,53 a B | 35,70 a A | 32,85 a B | 36,84 a A | 33,95 b |
| Água+4t+Lat | 38,99 b A | 29,70 a C | 35,04 a A | 37,93 a A | 33,64 a B | 35,69 a A | 35,16 b |
| Água+2t+Neo | 5,31 d A | 5,12 b A | 5,10 b A | 4,91 b A | 7,40 b A | 7,73 b A | 5,93 d |
| Água+4t+Neo | 3,74 d B | 2,78 b B | 5,05 b B | 3,28 b B | 7,32 b B | 16,12 b A | 6,38 d |
| Água+Lat | 34,77 b A | 27,81 a B | 31,47 a A | 33,64 a A | 31,97 a A | 31,04 a A | 31,78 b |
| Água+Neo | 7,69 d B | 2,55 b C | 6,52 b B | 5,08 b B | 7,94 b B | 14,85 b A | 7,44 d |
| Média | 29,30 A | 19,10 C | 21,84 B | 23,32 B | 22,18 B | 22,85 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 66. Teores de capacidade de troca catiônica obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 76,86 a A | 56,32 a B | 63,12 a B | 65,39 a B | 59,21 a B | 52,58 a B | 62,24 a |
| Vin+4t+Lat | 75,03 a A | 55,79 a C | 61,31 a C | 66,03 a B | 56,26 a C | 51,77 a C | 61,03 a |
| Vin+2t+Neo | 39,92 c A | 22,63 b C | 25,31 b C | 26,01 b C | 24,69 b C | 26,82 b B | 27,56 b |
| Vin+4t+Neo | 44,24 c A | 24,36 b C | 24,24 b C | 25,01 b B | 24,81 b C | 24,98 b C | 27,94 b |
| Vin+Lat | 75,15 a A | 57,70 a C | 58,55 a C | 65,73 a B | 55,86 a C | 60,86 a C | 62,31 a |
| Vin+Neo | 47,00 c A | 23,98 b C | 26,17 b C | 26,17 b C | 27,51 b B | 27,31 b C | 29,69 b |
| Água+2t+Lat | 63,92 b A | 52,85 a C | 58,20 a B | 65,03 a A | 56,52 a B | 63,50 a A | 60,00 a |
| Água+4t+Lat | 63,65 b B | 55,70 a C | 62,37 a B | 66,93 a A | 57,97 a C | 61,69 a B | 61,39 a |
| Água+2t+Neo | 25,31 d B | 26,46 b B | 30,10 b A | 31,25 b A | 29,40 b A | 29,73 b A | 28,71 b |
| Água+4t+Neo | 24,41 d C | 26,12 b C | 31,38 b B | 30,61 b B | 29,65 b B | 38,45 b A | 30,10 b |
| Água+Lat | 58,77 b B | 54,14 a C | 58,14 a B | 62,97 a A | 54,64 a C | 57,04 a B | 57,62 a |
| Água+Neo | 29,03 d B | 24,88 b C | 33,19 b A | 30,74 b B | 30,61 b B | 36,18 b A | 30,77 b |
| Média | 51,94 A | 40,08 C | 44,34 C | 46,82 B | 42,26 C | 44,24 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 67. Teores de saturação por bases obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 70,42 a B | 65,06 a B | 66,67 a A | 65,85 a B | 64,57 a B | 51,55 a B | 64,02 a |
| Vin+4t+Lat | 71,57 a A | 63,47 a A | 64,15 a A | 64,66 a A | 65,61 a A | 52,26 a B | 63,62 a |
| Vin+2t+Neo | 44,60 c A | 30,52 c B | 31,14 b B | 39,76 c A | 41,95 b A | 42,72 b A | 38,45 c |
| Vin+4t+Neo | 46,62 c A | 36,96 c A | 36,45 b A | 35,95 c A | 43,62 b A | 37,25 b A | 39,47 c |
| Vin+Lat | 71,61 a A | 64,73 a A | 65,28 a A | 67,54 a A | 65,38 a A | 63,76 a A | 66,38 a |
| Vin+Neo | 46,76 c A | 36,99 c A | 37,68 b A | 37,41 c A | 44,27 b A | 41,37 b A | 40,75 c |
| Água+2t+Lat | 60,84 b A | 50,58 b C | 55,87 a B | 54,89 b B | 58,13 a A | 57,98 a A | 56,38 b |
| Água+4t+Lat | 61,22 b A | 53,23 b A | 56,11 a A | 56,60 b A | 58,00 a A | 57,84 a A | 57,17 b |
| Água+2t+Neo | 20,72 d B | 19,33 d B | 16,84 c B | 15,77 d B | 25,13 c A | 26,07 b A | 20,64 d |
| Água+4t+Neo | 15,32 d C | 10,65 d D | 15,90 c C | 10,69 d D | 24,71 c B | 36,56 b A | 18,97 d |
| Água+Lat | 59,08 b A | 51,26 b B | 53,99 a B | 53,40 b B | 58,52 a A | 48,03 a C | 54,05 b |
| Água+Neo | 26,20 d B | 10,25 d D | 19,59 c C | 16,41 d C | 25,81 c B | 30,96 b A | 21,54 d |
| Média | 49,58 A | 41,09 B | 43,31 A | 43,24 B | 47,97 A | 45,53 A | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 68. Teores de boro obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 0,56 a A | 0,73 a A | 0,68 a A | 0,55 a A | 0,53 a A | 0,45 a A | 0,58 a |
| Vin+4t+Lat | 0,42 a B | 0,68 a B | 1,01 a A | 0,87 a A | 0,40 a B | 0,58 a B | 0,66 a |
| Vin+2t+Neo | 0,44 a B | 0,63 a A | 0,64 a A | 0,60 a A | 0,22 a B | 0,29 a B | 0,47 b |
| Vin+4t+Neo | 0,79 a A | 0,60 a A | 0,43 b B | 0,75 a A | 0,34 a B | 0,40 a B | 0,55 a |
| Vin+Lat | 0,46 a A | 0,68 a A | 0,63 a A | 0,68 a A | 0,48 a A | 0,53 a A | 0,58 a |
| Vin+Neo | 0,41 a A | 0,50 a A | 0,44 b A | 0,69 a A | 0,34 a A | 0,42 a A | 0,47 b |
| Água+2t+Lat | 0,41 a B | 0,58 a B | 0,40 b B | 0,84 a A | 0,42 a B | 0,58 a B | 0,54 a |
| Água+4t+Lat | 0,43 a B | 0,47 a B | 0,88 a A | 0,58 a B | 0,39 a B | 0,55 a B | 0,55 a |
| Água+2t+Neo | 0,23 a B | 0,60 a A | 0,32 b B | 0,41 a B | 0,39 a B | 0,35 a B | 0,38 b |
| Água+4t+Neo | 0,31 a B | 0,36 a B | 0,72 a A | 0,41 a B | 0,39 a B | 0,36 a B | 0,42 b |
| Água+Lat | 0,28 a B | 0,49 a A | 0,42 b A | 0,44 a A | 0,39 a B | 0,54 a A | 0,43 b |
| Água+Neo | 0,22 a C | 0,23 a C | 0,50 b B | 0,65 a A | 0,32 a C | 0,34 a C | 0,38 b |
| Média | 0,41 B | 0,55 A | 0,59 A | 0,62 A | 0,38 B | 0,45 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 69. Teores de cobre obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 3,84 a A | 2,66 a C | 2,58 a C | 3,27 a B | 2,64 a C | 3,09 a B | 3,01 a |
| Vin+4t+Lat | 3,55 a A | 2,82 a B | 2,58 a B | 3,07 a A | 2,57 a B | 3,15 a A | 2,96 a |
| Vin+2t+Neo | 0,30 b A | 0,19 b A | 0,36 b A | 0,21 b A | 0,23 b A | 0,28 c A | 0,26 b |
| Vin+4t+Neo | 0,33 b A | 0,28 b A | 0,36 b A | 0,24 b A | 0,26 b A | 0,37 c A | 0,31 b |
| Vin+Lat | 3,88 a A | 2,79 a B | 2,36 a B | 2,86 a B | 2,44 a B | 3,03 a B | 2,89 a |
| Vin+Neo | 0,40 b A | 0,28 b A | 0,36 b A | 0,21 b A | 0,23 b A | 0,34 c A | 0,30 b |
| Água+2t+Lat | 4,27 a A | 2,79 a B | 2,25 a B | 3,20 a B | 2,51 a B | 3,15 a B | 3,03 a |
| Água+4t+Lat | 4,11 a A | 2,72 a B | 2,51 a B | 3,10 a B | 2,54 a B | 3,03 a B | 3,00 a |
| Água+2t+Neo | 0,30 b A | 0,28 b A | 0,36 b A | 0,21 b A | 0,30 b A | 0,34 c A | 0,30 b |
| Água+4t+Neo | 0,33 b B | 0,28 b B | 0,36 b B | 0,21 b B | 0,33 b B | 0,38 c A | 0,32 b |
| Água+Lat | 4,01 a A | 2,69 a B | 2,36 a B | 3,00 a B | 2,54 a B | 2,10 b B | 2,78 a |
| Água+Neo | 0,60 b A | 0,28 b B | 0,33 b B | 0,21 b B | 0,33 b B | 0,34 c B | 0,35 b |
| Média | 2,16 A | 1,51 B | 1,40 B | 1,65 B | 1,41 B | 1,63 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 70. Teores de ferro obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 7,05 e A | 6,57 b A | 4,36 b B | 6,76 b A | 6,96 b A | 7,38 b A | 6,51 c |
| Vin+4t+Lat | 5,71 e B | 6,93 b A | 4,36 b B | 6,76 b A | 7,30 b A | 7,74 b A | 6,47 c |
| Vin+2t+Neo | 20,65 b A | 11,00 a B | 9,39 a C | 9,95 a C | 11,30 a B | 11,79 a B | 12,35 a |
| Vin+4t+Neo | 23,81 a A | 11,59 a B | 7,94 a C | 10,97 a C | 11,52 a B | 12,26 a B | 13,02 a |
| Vin+Lat | 6,44 e A | 6,57 b A | 3,84 b B | 6,00 b A | 6,50 b A | 7,50 b A | 6,14 c |
| Vin+Neo | 23,44 a A | 11,12 a B | 7,80 a C | 10,72 a B | 10,95 a B | 11,55 a B | 12,60 a |
| Água+2t+Lat | 11,54 d A | 7,53 b B | 4,10 b C | 7,15 b B | 7,30 b B | 8,45 b B | 7,68 b |
| Água+4t+Lat | 11,05 d A | 7,05 b B | 4,50 b C | 6,76 b B | 7,53 b B | 8,33 b B | 7,54 b |
| Água+2t+Neo | 16,03 c A | 12,55 a B | 10,98 a C | 12,12 a B | 13,12 a B | 12,62 a B | 12,90 a |
| Água+4t+Neo | 16,88 c A | 13,63 a B | 12,83 a B | 12,50 a B | 13,12 a B | 11,79 a C | 13,46 a |
| Água+Lat | 10,32 d A | 7,17 b C | 4,36 b E | 6,38 b D | 8,90 b B | 10,24 a A | 7,90 b |
| Água+Neo | 15,18 c A | 12,91 a B | 10,98 a F | 11,74 a E | 12,44 a C | 11,79 a D | 12,51 a |
| Média | 14,01 A | 9,55 D | 7,12 F | 8,99 E | 9,75 C | 10,12 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 71. Teores de manganês obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Vin+2t+Lat | 42,98 a A | 39,17 a A | 37,74 a A | 38,10 a A | 38,02 a A | 35,67 a A | 38,61 a |
| Vin+4t+Lat | 43,02 a A | 38,66 a A | 34,99 a A | 37,58 a A | 38,18 a A | 35,86 a A | 38,05 a |
| Vin+2t+Neo | 4,67 c A | 2,91 b A | 2,22 c A | 2,42 b A | 2,31 b A | 1,79 b A | 2,72 c |
| Vin+4t+Neo | 6,80 b A | 3,64 b A | 3,29 c A | 3,05 b A | 3,21 b A | 2,59 b A | 3,76 c |
| Vin+Lat | 42,98 a A | 39,17 a A | 33,22 a B | 36,12 a B | 36,77 a B | 35,54 a B | 37,30 a |
| Vin+Neo | 9,82 b A | 4,15 b B | 2,83 c C | 3,01 b C | 2,63 b C | 2,49 b C | 4,16 c |
| Água+2t+Lat | 39,34 a A | 34,32 a B | 25,79 b C | 34,33 a B | 33,56 a B | 34,17 a B | 33,58 b |
| Água+4t+Lat | 39,78 a A | 33,59 a B | 26,98 b C | 34,10 a B | 33,67 a B | 34,14 a B | 33,71 b |
| Água+2t+Neo | 0,77 c A | 1,38 b A | 0,86 c A | 0,87 b A | 0,74 b B | 0,80 b A | 0,91 c |
| Água+4t+Neo | 1,95 c B | 1,31 b B | 1,60 c B | 1,31 b C | 1,61 b B | 1,52 b A | 1,55 c |
| Água+Lat | 39,49 a A | 33,92 a B | 26,65 b C | 33,94 a B | 33,28 a B | 34,78 a D | 33,68 b |
| Água+Neo | 4,84 c A | 0,91 b D | 1,23 c C | 1,27 b B | 1,37 b B | 1,41 b B | 1,84 c |
| Média | 23,04 A | 19,43 B | 16,45 D | 18,84 B | 18,78 B | 18,40 C | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 72. Teores de zinco obtidos no segundo ensaio.

| Tratamentos | 1 dia | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias | 90 dias | Média |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vin+2t+Lat | 1,21 a A | 0,90 a B | 0,72 a B | 0,89 a B | 0,66 a B | 0,82 a B | 0,87 a |
| Vin+4t+Lat | 1,04 a A | 0,84 a B | 0,66 a B | 0,82 a B | 0,65 a B | 0,79 a B | 0,80 a |
| Vin+2t+Neo | 0,30 b A | 0,38 b A | 0,16 b A | 0,18 b A | 0,14 b A | 0,17 b A | 0,22 c |
| Vin+4t+Neo | 0,30 b A | 0,24 b A | 0,17 b A | 0,24 b A | 0,19 b A | 0,22 b A | 0,23 c |
| Vin+Lat | 1,07 a A | 0,81 a B | 0,58 a B | 0,73 a B | 0,53 a B | 0,73 a B | 0,74 a |
| Vin+Neo | 0,35 b A | 0,24 b A | 0,15 b A | 0,22 b A | 0,14 b A | 0,18 b A | 0,21 c |
| Água+2t+Lat | 1,15 a A | 0,70 a B | 0,50 a B | 0,78 a B | 0,57 a B | 0,72 a B | 0,74 a |
| Água+4t+Lat | 1,40 a A | 0,88 a B | 0,54 a B | 0,69 a B | 0,56 a B | 0,67 a B | 0,79 a |
| Água+2t+Neo | 0,20 b B | 0,30 b A | 0,14 b B | 0,21 b B | 0,33 b A | 0,20 b B | 0,23 c |
| Água+4t+Neo | 0,25 b B | 0,30 b A | 0,24 b B | 0,18 b B | 0,34 b A | 0,38 b A | 0,28 c |
| Água+Lat | 0,92 a A | 0,64 a B | 0,46 a C | 0,67 a B | 0,58 a C | 0,62 a C | 0,65 b |
| Água+Neo | 0,32 b A | 0,29 b A | 0,16 b B | 0,22 b B | 0,29 b A | 0,26 b A | 0,26 c |
| Média | 0,71 A | 0,54 B | 0,37 C | 0,49 B | 0,41 C | 0,48 B | |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical e letras maiúsculas na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 73. Teores de nutrientes obtidos em profundidade de 0,20-0,50 m após 90 dias de experimento.

| Tratamentos | P Resina | M.O. | pH | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | CTC | V | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| | mg dm ⁻³ | g dm ⁻³ | CaCl ₂ | mmolc dm ⁻³ | | | | | | % | | mg dm ⁻³ | | | | | |
| Vin+2t+Lat | 6,3 a | 16,67 b | 5,467 a | 4,03 a | 27,49 a | 9,45 a | 25,66 a | 0,5 c | 40,96 a | 66,62 a | 61,63 a | 8,66 b | 0,25 c | 3,06 a | 11,05 b | 40,58 a | 0,79 a |
| Vin+4t+Lat | 8 a | 19,67 b | 5,4 a | 3,97 a | 26,19 a | 9,34 a | 27,33 a | 0,5 c | 39,48 a | 66,81 a | 59,055 a | 10,67 b | 0,26 c | 2,91 a | 11,15 b | 40,18 a | 0,63 a |
| Vin+2t+Neo | 2,7 b | 5,5 c | 4,17 b | 1 b | 4,08 c | 3,38 c | 24,66 a | 3,5 b | 8,46 c | 33,12 c | 25,509 b | 6,33 c | 0,05 c | 0,22 b | 13,70 b | 0,87 b | 0,15 b |
| Vin+4t+Neo | 2,7 b | 3,67 c | 4,53 b | 1,93 b | 3,15 c | 3,07 c | 22,33 b | 1,933 c | 8,16 c | 30,49 c | 26,911 b | 4,66 c | 0,01 c | 0,28 b | 13,6 b | 2,14 b | 0,17 b |
| Vin+Lat | 6,7 a | 18 b | 5,2 a | 3,97 a | 28,41 a | 9,49 a | 28,33 a | 0,5 c | 41,87 a | 70,20 a | 59,62 a | 9,33 b | 0,17 c | 2,88 a | 10,62 b | 40,29 a | 0,85 a |
| Vin+Neo | 4 b | 5,67 c | 4,47 b | 1,63 b | 5,19 c | 3,71 c | 22,66 b | 1,733 c | 10,54 c | 33,21 c | 31,888 b | 5,33 c | 0,07 c | 1,23 b | 12,75 b | 14,64 b | 0,38 b |
| Água+2t+Lat | 8,3 a | 14,67 b | 5,3 a | 1,13 b | 27,11 a | 9,46 a | 28 a | 0,5 c | 37,70 a | 65,70 a | 57,342 a | 4 c | 0,15 c | 3,03 a | 10,73 b | 39,74 a | 0,86 a |
| Água+4t+Lat | 9 a | 19 b | 5,27 a | 1,2 b | 29,15 a | 10,18 a | 29 a | 0,5 c | 40,53 a | 69,53 a | 58,27 a | 4,33 c | 0,16 c | 2,95 a | 10,62 b | 39,96 a | 0,86 a |
| Água+2t+Neo | 3,3 b | 4,33 c | 4,17 b | 0,4 c | 5,013 c | 3,60 c | 25,33 a | 4,03 b | 9,01 c | 34,34 c | 26,218 b | 6,33 c | 0,03 c | 0,28 b | 14,23 b | 1,017 b | 0,17 b |
| Água+4t+Neo | 4 b | 3,33 c | 4,13 b | 0,37 c | 3,342 c | 2,99 c | 26,66 a | 4 b | 6,70 c | 33,37 c | 19,889 b | 6,33 c | 0,07 c | 0,28 b | 15,29 b | 1,41 b | 0,27 b |
| Água+Lat | 8,3 a | 15,67 b | 5,17 a | 1,1 b | 26,36 a | 9,24 a | 29,33 a | 0,66 c | 36,70 a | 66,03 a | 55,538 a | 4 c | 0,25 c | 2,94 a | 11,26 b | 39,82 a | 0,88 a |
| Água+Neo | 6 a | 6 c | 4,2 b | 0,47 c | 5,19 c | 3,37 c | 26 a | 3,16 b | 9,04 c | 35,04 c | 25,238 b | 6,33 c | 0,04 c | 0,25 b | 15,93 b | 1,45 b | 0,37 b |
| Latossolo | 3,3 b | 23,67 a | 5,53 a | 2,2 b | 18,79 b | 7,3 b | 25 a | 0,53 c | 28,33 b | 53,33 b | 52,131 a | 7,33 c | 0,68 a | 4,24 a | 24,06 a | 8,90 b | 0,38 b |
| Neossolo | 1 b | 2 c | 4,03 b | 2,1 b | 1,04 c | 0,54 d | 18 c | 7,26 a | 3,69 c | 21,69 d | 17,13 b | 14 a | 0,46 b | 0,37 b | 22,81 a | 0,35 b | 0,20 b |

Obs.: Letras minúsculas iguais na vertical indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Scott-Knott.

Tabela 74. Teores de nutrientes obtidos no lixiviado das colunas após 90 dias de experimento.

| Tratamentos | Repetições | Ca | Mg | SO ₄ | K | Fe | Mn | Zn |
|-------------|------------|--------------------|-----|-----------------|-----|-----|----|----|
| | | mg L ⁻¹ | | | | ppm | | |
| Vin+2t+Lat | 1 | 12 | 3,8 | 23 | 6,9 | * | * | * |
| Vin+4t+Lat | 2 | 14 | 4,3 | 23 | 6,8 | * | * | * |
| Vin+2t+Neo | 3 | 23 | 1,5 | 139 | 103 | * | 4 | * |
| Vin+4t+Neo | 4 | 4,8 | 1 | 169 | 139 | * | 5 | * |
| Vin+Lat | 5 | 9,7 | 3,1 | 62 | 23 | * | * | * |
| Vin+Neo | 6 | 3,9 | 1,1 | 93 | 89 | * | 3 | * |
| Água+2t+Lat | 7 | 12 | 3,3 | 35 | 6,7 | * | * | * |
| Água+4t+Lat | 8 | 9,7 | 2,8 | 31 | 6,2 | * | * | * |
| Água+2t+Neo | 9 | 2,9 | 0,6 | 9 | 2,8 | * | 1 | * |
| Água+4t+Neo | 10 | 1,9 | 0,3 | 8 | 2,4 | * | * | * |
| Água+Lat | 11 | 25 | 2,6 | 27 | 16 | * | 1 | * |
| Água+Neo | 12 | 3,9 | 0,5 | 7 | 2,9 | * | * | * |
| Vin+2t+Lat | 1 | 15 | 3,9 | 11 | 18 | * | * | * |
| Vin+4t+Lat | 2 | 15 | 4,5 | 25 | 7,2 | * | * | * |
| Vin+2t+Neo | 3 | 3,9 | 1,1 | 130 | 91 | * | 4 | * |
| Vin+4t+Neo | 4 | 4,8 | 1,4 | 151 | 151 | 2 | 5 | * |
| Vin+Lat | 5 | 15 | 4 | 32 | 7,7 | * | * | * |
| Vin+Neo | 6 | 4,8 | 1,4 | 163 | 131 | * | 3 | * |
| Água+2t+Lat | 7 | 11 | 3,3 | 33 | 6,6 | * | * | * |
| Água+4t+Lat | 8 | 30 | 2,9 | 32 | 21 | * | 2 | * |
| Água+2t+Neo | 9 | 4,8 | 0,5 | 11 | 3,5 | * | * | * |
| Água+4t+Neo | 10 | 1 | 0,2 | 7 | 2,3 | * | 1 | * |
| Água+Lat | 11 | 11 | 3,2 | 22 | 6,5 | * | * | * |
| Água+Neo | 12 | 2,9 | 0,6 | 7 | 2,3 | * | * | * |
| Vin+2t+Lat | 1 | 17 | 4,7 | 17 | 17 | * | * | * |
| Vin+4t+Lat | 2 | 15 | 4,9 | 33 | 7,2 | * | * | * |
| Vin+2t+Neo | 3 | 3,9 | 1,2 | 128 | 40 | 1 | 5 | * |
| Vin+4t+Neo | 4 | 15 | 1,1 | 201 | 166 | 1 | 4 | * |
| Vin+Lat | 5 | 52 | 3,7 | 24 | 34 | * | 3 | * |
| Vin+Neo | 6 | 12 | 1,7 | 172 | 178 | 1 | 4 | * |
| Água+2t+Lat | 7 | 11 | 2,8 | 31 | 5,9 | * | * | * |
| Água+4t+Lat | 8 | 13 | 3,4 | 10 | 6,5 | 1 | * | * |
| Água+2t+Neo | 9 | 2,9 | 0,6 | 8 | 3,4 | * | * | * |
| Água+4t+Neo | 10 | 1,9 | 0,2 | 7 | 2,9 | * | 1 | * |
| Água+Lat | 11 | 7,7 | 2 | 24 | 4,1 | * | * | * |
| Água+Neo | 12 | 1,9 | 0,5 | 8 | 2,9 | * | * | * |

* Teores próximos a zero