



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**EFEITO DE ROCHAGEM, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA NO
DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) E EM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

MAICON DOUGLAS BISPO DE SOUZA

**Araras
2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**EFEITO DE ROCHAGEM, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA NO
DESENVOLVIMENTO DO FEJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) E EM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

MAICON DOUGLAS BISPO DE SOUZA

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. MARIA LEONOR R. C. LOPES-ASSAD
CO-ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de
MESTRE EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S729e Souza, Maicon Douglas Bispo De
Efeito de rochagem, vinhaça e plantas de cobertura
no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*
L.) e em atributos químicos do solo / Maicon Douglas
Bispo De Souza. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
111 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2016.

1. *Crotalaria juncea*. 2. *Pennisetum glaucum*. 3.
Urochloa cv. *ruziziensis*. 4. Remineralizador. I.
Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado candidato Maicon Douglas Bispo de Souza, realizada em 26/09/2016:

Prof. Dra. Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad
UFSCar

Prof. Dr. Antônio Carlos de Azevedo
USP

Prof. Dr. Rubismar Stolf
UFSCar

“A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

À minha família pela confiança e por estar sempre ao meu lado, me apoiando de maneira incondicional.

À minha orientadora, Prof^a. Maria Leonor R. C. Lopes-Assad, pela dedicação, atenção e compreensão nos momentos que precisei durante esses últimos anos.

À minha co-orientadora, Prof^a. Anastácia Fontanetti, pela força e por ter dedicado seu tempo e sua contribuição.

À minha namorada Kátia, pelo companheirismo, apoio e por estar sempre ao meu lado.

Aos acadêmicos e amigos Anderson, Kátia e Nathália, pela ajuda indispensável em todas as etapas de execução do trabalho.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço aos meus amigos e orientadores pelas palavras amigas nas horas difíceis, pelas brincadeiras, pelo auxílio nos trabalhos e principalmente por estarem comigo nesta caminhada, tornando-a mais fácil e agradável.

A todos que de alguma forma ajudaram para a realização deste trabalho, por menor que tenha sido a contribuição.

Sumário

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Agricultura e o uso de fertilizantes	3
1.2. A cultura do feijão	4
1.3. Fonte alternativa de nutrientes para a agricultura.....	6
1.3.1. Remineralizadores	6
1.3.2. Plantas de cobertura.....	7
1.3.3. Vinhaça.....	9
1.4. Processo de dissolução de minerais.....	10
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
CAPÍTULO 2 – EFEITO DE REMINERALIZADOR, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA EM PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E NA NUTRIÇÃO DE FEIJOEIRO	18
RESUMO	18
ABSTRACT	19
2.1. INTRODUÇÃO	19
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
2.3.1. Parâmetros biométricos do feijoeiro.....	24
2.3.2. Teor de nutrientes foliares	29
2.4. CONCLUSÕES.....	41
2.5. REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO 3 – EFEITO DE REMINERALIZADOR, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E MACRONUTRIENTES DO SOLO	46
RESUMO	46
ABSTRACT	47
3.1. INTRODUÇÃO	48

3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.3.1. Atributos químicos	53
3.3.2 Macronutrientes	71
3.4. CONCLUSÕES	86
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F ($Pr>F$) e coeficiente de variação (CV) para os parâmetros biométricos por ocasião do pleno florescimento de feijoeiro, cultivar BRS MG Talismã, cultivado em sucessão à aplicação de remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça, em casa de vegetação no município de Araras (SP). 25
- Tabela 2 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F ($Pr>F$) e coeficiente de variação (CV) para teores de nutrientes no tecido foliar do feijoeiro, cultivar Talismã, por ocasião do pleno florescimento, cultivado em sucessão à aplicação de remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça, em casa de vegetação no município de Araras (SP). 31
- Tabela 3 - Características químicas do Latossolo Vermelho argiloso, do remineralizador, constituído de pó de basalto, e da vinhaça, utilizados em experimento com plantas de cobertura e cultivo de feijoeiro. 51
- Tabela 4 - Quantidade de Ca, Mg, K, P e C (em g vaso⁻¹) adicionados aos tratamentos com dose de remineralizador (PB)¹ e vinhaça (V)². 52
- Tabela 5 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F ($Pr>F$) e coeficiente de variação (CV) para atributos químicos do solo, cultivado com feijoeiro cultivar Talismã, cultivado em sucessão a remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça, em casa de vegetação no município de Araras (SP). 54
- Tabela 6 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F ($Pr>F$) e coeficiente de variação (CV) para os teores de macronutrientes do solo, cultivado com feijoeiro cultivar Talismã, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em casa de vegetação no município de Araras (SP). 72

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Altura de plantas de feijoeiro (h), cultivar Talismã, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador aplicadas na forma de pó de basalto: a) sem vinhaça e b) com vinhaça. 27
- Figura 2: Massa seca da parte aérea de plantas de feijoeiro (MSPA), cultivar Talismã, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto. 28
- Figura 3: Índice de área foliar de plantas de feijoeiro (MSPA), cultivar Talismã, cultivadas em sucessão a plantas de cobertura, em função da aplicação de 0 m³ ha⁻¹ (cor cinza) ou 200m³ há⁻¹ (cor preta) de vinhaça..... 29
- Figura 4: Teores de nutrientes, em g kg⁻¹, na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto e de vinhaça: a) teores de nitrogênio (N), e b) teores de fósforo (P). 33
- Figura 5: Teores de potássio (K), em g kg⁻¹, na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça. 34
- Figura 6: Teores de cálcio (Ca), em g kg⁻¹, na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça. 36
- Figura 7: Teores de magnésio (Mg), em g kg⁻¹, na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça. 37

Figura 8: Teores de enxofre (S), em g kg^{-1} , na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça. 40

Figura 9: pH em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo ($F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4$): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha^{-1} de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha^{-1} remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha^{-1} remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha^{-1} remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha^{-1} remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha^{-1} remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 57

Figura 10: Valores de pH em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função de: a) doses de remineralizador (F_1), b) plantas de cobertura (F_2), c) vinhaça (F_3), e d) tempo (F_4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 59

Figura 11: Acidez potencial em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo ($F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4$): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha^{-1} de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha^{-1} remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha^{-1} remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha^{-1} remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha^{-1} remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha^{-1} remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 61

Figura 12: Acidez potencial em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função de: a) doses de remineralizador (F_1), b) plantas de cobertura (F_2), c) vinhaça (F_3), e d) tempo

(F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 63

Figura 13: Saturação por bases em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo (F1xF2xF3xF4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ de remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ de remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ de remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 65

Figura 14: Saturação por bases em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) doses de remineralizador (F1), b) tipos de plantas de cobertura (F2), c) presença e ausência de vinhaça (F3), e d) tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 67

Figura 15: Capacidade de troca de cátion em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, vinhaça e tempo (F1xF3xF4): a) 0 t ha⁻¹ de remineralizador, b) 2 t ha⁻¹ de remineralizador, c) 4 t ha⁻¹ de remineralizador, e d) 8 t ha⁻¹ de remineralizador. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 68

Figura 16: Capacidade de troca de cátions em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função de doses de remineralizador (F1). 69

Figura 17: Teor de matéria orgânica em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) plantas de cobertura e tempo (F2xF4), b) vinhaça e tempo (F3xF4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 70

Figura 18: Teor de matéria orgânica em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função do tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 71

Figura 19: Teor de fósforo em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo (F1xF2xF3xF4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 75

Figura 20 - Teor de fósforo em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função: a) de vinhaça (F3); e b) tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 77

Figura 21: Teor de potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função: a) doses de remineralizador; b) plantas de cobertura; c) aplicação de vinhaça (F3); e d) tempo (F4)..... 78

Figura 22: Teor de potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, vinhaça e tempo (F1xF3xF4): a) 0 t ha⁻¹ de remineralizador, b) 2 t ha⁻¹ de remineralizador, c) 4 t ha⁻¹ de remineralizador, e d) 8 t ha⁻¹ de remineralizador. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 80

Figura 23: Teor de Potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da

interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo (F1xF2xF3xF4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 83

Figura 24: Concentração de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) doses de remineralizador (F1); e b) vinhaça (F3); e (c tempo. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 84

Figura 25: Teor de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função da interação remineralizador e vinhaça (F1xF3)..... 85

Figura 26: Concentração de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) doses de remineralizador (F1); e b) vinhaça (F3); e (c tempo. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão. 86

**EFEITO DE REMINERALIZADOR, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA
NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) E EM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

RESUMO

O território brasileiro é constituído, em sua maior parte, por solos pobres em nutrientes. Para manter a atividade agrícola brasileira é necessário importar e aplicar elevadas quantidades de fertilizantes, o que tende a agravar o desequilíbrio da balança comercial brasileira. Com isso, rochas contendo quantidades razoáveis de nutrientes podem constituir uma alternativa para suprir os elementos essenciais para uso agrícola. Mas esta prática apresenta limitações, dentre as quais se tem a lenta solubilização dos minerais presentes na rocha, que limita a liberação de quantidades de nutrientes exigidas pelas plantas, principalmente as de ciclo curto. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de plantas de cobertura e de vinhaça na liberação de nutrientes contidos num remineralizador (constituído de pó de basalto), discutindo seus efeitos no desenvolvimento de plantas de feijoeiro e no solo, ao longo do tempo. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4x2, com três repetições, com amostragens em quatro épocas (0, 45, 90 e 110 dias). Foram aplicadas quatro doses de pó de basalto (0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹), duas doses de vinhaça (0 m³ ha⁻¹ e 200 m³ ha⁻¹) e foram adotados quatro tipos de cobertura: pousio (controle), crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e braquiária (*Urocloua cv. Ruziziensis* Germain & Evrard). As variáveis avaliadas foram: altura de planta (h), massa seca, índice de clorofila Falker (ICF), índice de área foliar (IAF), teores de macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S total) nas folhas do feijoeiro, e teores de matéria orgânica do solo (MOS), pH em CaCl₂, acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e teores de P, K, Ca e Mg do solo. A associação de vinhaça com doses de remineralizador proporcionou aumento dos parâmetros biométricos. A combinação de doses de remineralizador e

plantas de cobertura proporcionou diferenças nos teores de macronutrientes foliares, com níveis satisfatórios de suficiência para o feijoeiro, no estágio R6 (florescimento pleno do feijoeiro), em que foi avaliado. A aplicação de vinhaça proporcionou menores taxas de acúmulo de macronutrientes no feijoeiro em relação aos tratamentos sem vinhaça. A aplicação de remineralizador mostrou baixa resposta nos atributos químicos do solo, com valores de pH, V e CTC inferiores aos iniciais. Plantas de cobertura não mostraram efeito significativo sobre o pH e V, com uma pequena diminuição de H+Al, principalmente na braquiária. A aplicação da vinhaça proporcionou incrementos significativos aos atributos químicos V, pH e diminuição da H+Al. Os valores de pH aumentaram até os 45 dias de incubação (DAI), mas com o plantio de feijão diminuíram e ficaram próximos ao valor inicial. Por outro lado, H+Al diminuiu até a época de plantio do feijão, mas tendeu aos valores iniciais após os 45 DAI. O plantio de feijão também provocou diminuição de V. As interações mostraram pouco efeito das associações sobre as variáveis avaliadas, mas a associação de remineralizador com vinhaça destacou-se por seu efeito sobre as variáveis pH, H+Al e V. A aplicação de vinhaça foi o fator que mais influenciou os teores de macronutrientes do solo, apresentando menores concentrações quando aplicada, com exceção do K. Conclui-se que a utilização de plantas de cobertura com a aplicação de remineralizador é pouco vantajosa para o aumento da solubilização de nutrientes contidos no remineralizador, embora não tenha sido avaliada a quantidade absorvida pelas plantas de cobertura.

Palavras-chaves: *Crotalaria juncea*; *Pennisetum glaucum*; *Uroclora cv. ruzizensis*; remineralizador.

EFFECTS OF REMINERALIZING IN THE DEVELOPMENT AND NUTRITION OF COMMON BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) AND IN THE CHEMICAL SOIL ATTRIBUTES

ABSTRACT

The Brazilian territory is constituted mostly by nutrient-poor soils. To keep the Brazilian agricultural activity is necessary to import and apply high amounts of fertilizers, which tends to aggravate the imbalance in the trade balance. Thus, rocks containing reasonable amounts of nutrients may be an alternative to supply the essential elements for agricultural use. But this practice has limitations, including the slow solubilization of the minerals present in the rock, which limits the release of nutrient amounts required by plants, especially the short cycle. The study aimed to evaluate changes in the chemical attributes of an Oxisol, in which the bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) occurred in succession to cover crops and the application of vinasse and remineralizer (basalt powder). The essay was conducted in a greenhouse and the experimental design was a randomized block in a factorial scheme 4x4x2, with three replications, and sampling in four times (0, 45, 90 and 110 days). Four doses of basalt powder (0, 2, 4 and 8 t ha⁻¹) and two doses of vinasse (0 m³ ha⁻¹ and 200 m³ ha⁻¹) were applied and four types of coverage were adopted: fallow (control), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) and brachiaria (*Urochloa* cv. ruziziensis Germain & Evrard). The variables evaluated were: the plant height (h), dry mass, chlorophyll relative index Falker (ICF), specific leaf area (IAF), levels of macronutrients (N, P, Ca, Mg and S total) on the leaves of the bean, and soil organic matter (MOS) content, pH in CaCl₂, potential acidity (H+Al), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CTC), bases saturation (V) and P, K, Ca, and Mg contents of the soil. The association of vinasse and rates of remineralizer increased the biometric parameters. The combination of rates of remineralizer and cover plants promoted differences in foliar macronutrient levels, with satisfactory levels of sufficiency to the bean, in the stage assessed. The application of

vinasse provided lower rates of macronutrients accumulation in common bean in relation to treatments without vinasse. The use of remineralizer showed low response in chemical soil attributes, with values of pH, V and CTC lower than the initial ones. Cover crops showed no significant effect on pH and V, with a small decrease in H+Al, mainly in the braquiaria. The application of vinasse provided significant increases in chemical attributes V, pH and decreased H+Al. The pH values increased until 45 days of incubation (DAI), but with bean cultivation they decreased and were close to its initial values. On the other hand, the H+Al decreases until the bean planting, but tended to initial values after 45 DAI. The bean cultivation also decreased V. Interactions showed little effect of the associations on the evaluated variables, but the association of remineralizer with vinasse stood out for its effect on the variables pH, H + Al and V. The vinasse application was the most influential factor on the macronutrients of the soil, presenting lower concentrations of these in the soil when applied, except for K. It is concluded that the use of cover plants with the application of remineralizer is little advantageous to increase the solubilization of nutrients contained in the remineralizer, although the amount absorbed by the cover plants has not been evaluated.

Keywords: *Crotalaria juncea*; *Pennisetum glaucum*; *Urocloa cv. ruzizensis*; basalt powder.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos solos agrícolas no Brasil apresenta baixa fertilidade e é necessária a incorporação no solo de elevadas quantidades de elementos importantes para nutrição mineral de plantas cultivadas. Grande parte das fontes dos nutrientes utilizados na agricultura brasileira é produzida em indústrias (produtos derivados de rochas ou petróleo), o que tende a desequilibrar a balança comercial brasileira, pois mais da metade desses insumos é importada.

Alternativas voltadas para a redução de custos com fertilizantes vêm sendo testadas e incorporadas no decorrer dos anos. Várias práticas já são bem difundidas no Brasil como: a rotação de culturas, que visa diminuir a extração de um único elemento com a diversificação de cultivos; o sistema de plantio direto na palha, que é responsável por aportar e reciclar nutrientes por meio da manutenção da matéria orgânica do solo; e plantas de cobertura, que são grandes fontes de matéria orgânica e nutrientes.

O aproveitamento de resíduos de indústrias também vem sendo testado na agricultura brasileira. Com o intuito de destinar corretamente esses resíduos e aproveitá-los como fontes de nutrientes, pesquisas estão sendo realizadas para testar a eficiência desses resíduos na produção agrícola. Os resíduos de mineração, e em particular de pedreiras, denominados remineralizadores, têm sido testados nas últimas décadas. Muitas rochas silicáticas contêm quantidades razoáveis de minerais que podem constituir fontes alternativas dos elementos essenciais para uso agrícola. Mas existem limitações na adoção dessa prática, dentre as quais a lenta solubilização dos minerais presentes na rocha que restringe a sua utilização em culturas de ciclo curto.

A vinhaça, resíduo da indústria sucroalcooleira, também é bastante utilizada como adubo. A grande quantidade de nutrientes e de matéria orgânica presentes na vinhaça favorece a sua utilização na agricultura. Em alguns casos, a vinhaça já é utilizada como principal fonte de nutrientes. Entre os benefícios da utilização da vinhaça no solo estão as quantidades elevadas de

K, Ca e Mg, altas concentrações de matéria orgânica e a influência positiva na microbiota e nos atributos químicos do solo.

Apesar do uso de resíduos ser alternativa para a redução de custos, a busca por qualidade e a duração dos benefícios dessa prática também são fatores que influenciam na sua adoção. A utilização de remineralizadores apresenta vários aspectos positivos, mas para suprir no curto prazo a quantidade de nutrientes exigidos pela planta, são necessárias aplicações de grandes quantidades de rochas moídas. Por outro lado, a vinhaça pode causar problemas ambientais quando aplicada em grandes quantidades no solo.

Com isso, a eficiência na utilização de práticas alternativas às convencionais vem sendo estudada. Alguns trabalhos com microrganismos, plantas de cobertura, materiais orgânicos e minerais (resíduos) têm sido realizados com o intuito de avaliar a eficiência de suas utilizações na liberação de nutrientes de forma adequada às culturas e seus benefícios no sistema em longo prazo. Mas vale salientar que essa transição entre práticas convencionais e práticas alternativas pode acarretar algum desequilíbrio no início, e esse sistema pode entrar em desequilíbrio, prejudicando a cultura cultivada.

Neste trabalho objetivou-se avaliar a resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em sucessão a três tipos de plantas de cobertura, semeadas em solo adubado com remineralizador (pó de basalto) e vinhaça, e o efeito nos atributos químicos do solo.

A hipótese foi que a solubilização do remineralizador é acelerada pela vinhaça e por ácidos orgânicos produzidos pelo sistema radicular de plantas de cobertura, e que esses fatores, isoladamente e ou integrados, podem fornecer nutrientes para culturas de ciclo curto em sistemas agrícolas de base familiar.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Agricultura e o uso de fertilizantes

O solo, ao longo do tempo, vem sendo explorado para as mais diversas atividades, com destaque a agricultura. Os sistemas empregados nesta atividade provocam diversas modificações no ambiente. Até o século XVIII, os agricultores utilizavam o sistema de produção orgânico, onde eram empregados apenas esterco e resíduos vegetais da própria propriedade e a força humana e animal (MAZOYER; ROUDART, 2010). A produtividade dessa agricultura era devida exclusivamente às interações com o ambiente (ALTIERI, 1995). Os sistemas agrícolas, apesar de não muito produtivos, tinham alguma estabilidade, devido às práticas adotadas na época.

Em meados do século XIX, observou-se que plantas requeriam quantidades mínimas de elementos químicos para o seu desenvolvimento. Foram identificados os elementos químicos e constatou-se que o número de elementos químicos varia conforme a necessidade de cada planta. Em geral, 12 elementos são classificados, conforme a quantidade requerida, em macronutrientes – nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) - e micronutrientes - zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), boro (B) (LONERAGAN, 1997). Com isso, foram identificados também os efeitos da ausência desses elementos, como anomalias de crescimento e reprodução (DALCIN, 2008).

Ao final da II Guerra Mundial houve um aumento da produção de alimentos, tanto como forma de alimentar a grande população já existente, quanto para estimular a economia, o que provocou uma grande mudança na produção agrícola. Em 1944, Norman Borlaug lançou variedades de trigo e novas técnicas de cultivo, que revolucionaram a produtividade não só do trigo, mas também de outras culturas (MELLADO, 2009).

Apesar do grande avanço alcançado com o surgimento de novas técnicas de cultivo, alguns problemas surgiram com o passar do tempo. Dentre os principais impactos ambientais ocasionados por esse sistema de cultivo mais intensivo está a eutrofização das águas causada, principalmente, pelo uso

inadequado de N e P (CANTARELA, 2007). Países da Europa, os EUA e a Índia identificaram e reconheceram que o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados causava enriquecimento de nitrato nas águas de subsolo, rios e estuários, além de liberar amônia e óxidos de nitrogênio para a atmosfera, que causam chuva ácida e redução da camada de ozônio (PRASAD, 2005).

Outros problemas observados foram o elevado consumo de energia no processo de produção de fertilizantes sintéticos, o curto período de influência destes fertilizantes no solo devido à sua alta solubilidade e o alto potencial de poluição e degradação, principalmente no caso de fontes nitrogenadas (BRANDENBURG, 1999; ISHERWOOD, 1999; LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002). O sistema de cultivo adotado nos tempos atuais vem causando desequilíbrio nos agroecossistemas, ocasionando degradação e contaminação do solo e água e esgotamento dos recursos naturais, que põem em risco a sustentabilidade da produção (GLIESSMAN, 2005).

Estudo realizado por Varela e Santana (2009), avaliando os aspectos econômicos da produção, riscos nos sistemas agroflorestais e nos sistemas tradicionais de produção agrícola, mostra que os modelos de monocultivo, predominantes no Brasil desde 1970, passaram a apresentar instabilidade de produção, devido a problemas fitossanitários, quebra de safra, custo de produção e preços de mercado, o que desorganizou a produção e desestimulou os agricultores.

1.2. A cultura do feijão

O feijão é uma das mais importantes fontes proteicas na dieta humana em países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais. O maior consumo deste produto ocorre nas Américas (40,8%), seguindo-se a Ásia (37,8%), a África (17,8%), a Europa (3,3%) e a Oceania (0,1%) (BARBOSA; GONZAGA, 2012). O mesmo autor relata que os países em desenvolvimento são responsáveis por 87,1% do consumo mundial e por 89,8% da produção. A Ásia aparece como o maior produtor mundial (41,7%), seguido das Américas (36,0%), da África (20,0%), da Europa (2,1%) e da Oceania (0,2%) (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

Atualmente o consumo *per capita* no Brasil vem apresentando leve aumento. Em 2010 situou-se na ordem de 17,06 kg/habitante/ano, o que confere grande importância para a segurança alimentar e nutricional, sobretudo para classes mais carentes da população (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

As características técnicas, agronômicas e culturais credenciam a cultura do feijoeiro como excelente alternativa de exploração agrícola para pequenas propriedades. A agricultura familiar é responsável por quase 70% da produção nacional do feijoeiro-comum, destacando a sua produção em pequena escala (IBGE, 2006). O feijoeiro também se apresenta como cultura importante na sucessão de cultivos ao longo do ano, pois pode ser cultivado em período relativamente curto, com ciclo produtivo geralmente em torno de 90 dias. O ciclo da cultura, que depende da cultivar escolhida e da temperatura ambiente, pode variar de 60 a 100 dias, o que a torna apropriada para compor, desde sistemas intensivos, altamente tecnificados, até aqueles com baixo nível tecnológico, principalmente de subsistência (EMBRAPA, 2007).

Nos últimos anos a produção de feijão tem apresentado oscilações. Nas últimas duas décadas, a área de plantio de feijão no Brasil teve uma diminuição de 12%, mas alcançou um crescimento de 56% em função do aumento de sua produtividade (78%). O aumento da produção nacional nestas últimas décadas não foi suficiente para suprir a demanda do mercado interno, que teve um acréscimo de 10,94% entre os anos de 2004 a 2010 (CONAB, 2015).

A cultura do feijão ainda é reconhecida como produção de subsistência em pequenas propriedades. O crescente interesse de grandes produtores, que vêm adotando tecnologias avançadas (irrigação, manejo fitossanitário e colheita mecanizada), tem causado dificuldades aos pequenos agricultores e desequilíbrio na cadeia produtiva, principalmente em regiões, onde predominam pequenas propriedades (SILVA; SILVA; FIGUEIREDO, 2006). Os pequenos agricultores possuem maior dificuldade na adoção dessas tecnologias, o que diminui a sua competitividade e os torna vulneráveis perante aos grandes produtores.

Nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos sistemas simples de plantio, eficientes e de fácil acesso aos pequenos produtores, por meio de tecnologias

de produção e técnicas como a de plantio direto, cultivo consorciado, sucessão de culturas, adubação verde entre outras, voltadas para essas pequenas propriedades para que possam competir e se manter no mercado.

1.3. Fonte alternativa de nutrientes para a agricultura

1.3.1. Remineralizadores¹

A remineralização ou rochagem é uma alternativa para a substituição parcial ou total dos fertilizantes industriais. Essa prática consiste na aplicação de rochas moídas, principalmente resíduos de pedreiras e de mineradoras, para o manejo da fertilidade do solo. Apesar de fornecer nutrientes exigidos pelas plantas e ser de baixo custo, a baixa solubilização dos minerais contidos no remineralizador faz dessa prática uma fonte de liberação gradativa de nutrientes para as plantas.

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 apontava os benefícios do uso de rochas moídas na agricultura (LOPES, 2013). Esquecidos durante décadas, nos últimos anos observa-se um aumento no uso agrícola de remineralizadores. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos visando avaliar o efeito de pó de rocha em solos (CAMARGO et al., 2012; MELO et al., 2012; LOPES, 2013; SILVA et al., 2012; SOUZA et al., 2013; WELTER et al., 2011).

De acordo com Melamed, Gaspar e Miekeley (2007), a utilização de rocha moída apresenta os seguintes benefícios: fornece macro e micronutrientes para a absorção das plantas; aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, a produção e a atividade de microrganismos e minhocas, e a quantidade e

¹ Em 10 de dezembro de 2013 foi sancionada a Lei Nº 12.890 que, alterando a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura. Essa mesma lei estabelece que remineralizador é o material de origem mineral que sofreu apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altera os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promove a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo. As Instruções Normativas nº 5 e nº 6 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), publicadas em 10 de março de 2016, estabelecem as especificações e garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem, a rotulagem e a propaganda dos remineralizadores destinados à atividade agrícola. (Fonte: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10926915/normatizacao-viabiliza-producao-de-remineralizadores-agricolas>)

qualidade do húmus; aumenta a reserva nutricional do solo; e diminui a dependência de insumos industriais. Outros benefícios são: economia de mão de obra, pois o remineralizador apresenta maior efeito residual; não acidifica o solo, pois o fornecimento de bases pode auxiliar na correção do solo; proporciona absorção equilibrada de nutrientes pela planta, impedindo que a planta absorva mais do que necessita; além de ser material facilmente explorado e encontrado em todo território nacional (FERREIRA; ALMEIDA; MAFRA, 2009). Trabalhos realizados por Resende et al. (2006), com milho, soja e milheto, e por Castro et al. (2006), com girassol, mostraram que pós de biotita xisto e de rocha ultramáfica alcalina proporcionaram um aumento na concentração de K nos tecidos, na planta e na produtividade das culturas, podendo ser comparada com o uso de cloreto de potássio.

Escosteguy e Klamt (1998), em ensaio de incubação de pó de rocha microcristalina e de pó de olivina-basalto em Latossolo Vermelho-Escuro e em Podzólico Vermelho-Amarelo, verificaram que houve pequenos aumentos de pH, de teores de K, Ca, Mg, H + Al e de P, e da CTC dos solos incubados; concluíram que tais materiais não podem ser utilizados como fonte principal de nutriente. Theodoro et al. (2006), em experimento utilizando rochas silicáticas de origem vulcânica de natureza ultramáfica e ricas em potássio, obtiveram resultados promissores após a primeira safra, mostrando as potencialidades econômica, produtiva e ambiental da técnica da rochagem. Posteriormente, durante cinco anos, foi realizado um acompanhamento da produção e da fertilidade dos solos, ocorrendo incremento no pH, Ca, Mg, P e K, com resultados superiores àqueles encontrados antes da aplicação do remineralizador (THEODORO et al., 2006).

1.3.2. Plantas de cobertura

A utilização de plantas de cobertura em sistemas de manejo menos intensivos propicia benefícios ao solo com a proteção contínua da superfície, manutenção da umidade, diminuição da amplitude térmica do solo, e promove acréscimos consideráveis no conteúdo total de matéria orgânica e nutrientes (XAVIER et al., 2006). De acordo com Almeida, Guerra e Espindola (2007), a

adubação verde é uma técnica de manejo agrícola que consiste no cultivo de espécies de plantas com elevado potencial de produção de biomassa, e que são semeadas em rotação, sucessão ou em consórcio com culturas econômicas de ciclo anual ou perene, podendo ser manejadas através de roçada e incorporação ao solo, ou roçadas e mantidas na superfície.

A adubação verde é conhecida desde a antiguidade. No Brasil esta prática já era recomendada por Dutra em 1919, autor da publicação *Adubos verdes: sua produção e modo de emprego*, que destacava o efeito dessas culturas na recuperação dos solos, e de que seu êxito dependia apenas da escolha das plantas a serem utilizadas para esse fim (AMBROSANO et al., 2005). Esta prática está associada a quatro pontos básicos nos diferentes sistemas agrícolas: cobertura e proteção do solo; manutenção ou melhoria das condições físicas, químicas e biológicas no solo; desenvolvimento de macro e microrganismos em profundidade no solo e uso eventual da biomassa produzida para alimentação animal ou para outras finalidades (CALEGARI et al., 1993). Portanto, a utilização de espécies vegetais de cobertura em sistemas de manejo agrícola é de suma importância para recuperação e manutenção da qualidade do solo (ROSCOE et al., 2006).

De acordo com Silva, Donadio e Carlos (1999), a adubação verde tem a finalidade de preservar e ou restaurar os teores de matéria orgânica e de nutrientes do solo, estando de acordo com a tendência mundial em busca de alimentos mais saudáveis, provenientes da agricultura sustentável e produzidos com a mínima utilização de insumos químicos e mínima degradação do meio ambiente. Trata-se de uma prática vegetativa que fornece matéria orgânica e nutrientes necessários às plantas, o que possibilita a redução da quantidade de adubos químicos (BUZINARO; BARBOSA; NAHAS, 2009). Os adubos verdes incorporam substâncias orgânicas ao solo, como exsudatos de raízes, biomassa radicular e foliar, ácidos orgânicos e diversas substâncias elaboradas, como aminoácidos e fitormônios (DELARMELINDA et al., 2010).

Entre os efeitos da adubação verde sobre a fertilidade do solo está o aumento do teor de matéria orgânica; a maior disponibilidade de nutrientes; a maior capacidade de troca de cátions; o favorecimento da produção de ácidos

orgânicos, de fundamental importância para a solubilização de minerais; a diminuição dos teores de Al trocável pela sua complexação; e o incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil (CALEGARI et al., 1993).

Entre as diversas plantas promissoras para adubação verde, destacam-se: feijão guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-deporco (*Canavalia ensiformis*), milheto (*Pennisetum glaucum*) e braquiária (*Brachiaria* sp.) (PEREIRA; BURLE; RESCK, 1992). Nascimento et al. (2003), com a finalidade de avaliar o efeito de leguminosas nas características químicas de um Luvissole degradado, observaram nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm efeitos significativos de crotalária sobre a fertilidade do solo, em comparação com a testemunha, com incrementos significativos de pH e de cátions trocáveis, refletindo positivamente na CTC e no índice de saturação por bases. Neste sentido, o manejo do solo com práticas conservacionistas associadas com espécies vegetais, como o sistema de plantio direto e adubação verde, podem promover incrementos no conteúdo de matéria orgânica e melhoria na disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes (CARVALHO et al., 1999).

1.3.3. Vinhaça

A vinhaça é resultante da produção de álcool, gerada após a fermentação do mosto e a destilação do vinho. Apesar da grande variabilidade em sua composição química, em termos gerais, a vinhaça apresenta altos teores de matéria orgânica e de potássio, seguindo-se de cálcio e sulfato (teores razoáveis), de nitrogênio, fósforo e magnésio (baixos teores) (ROSSETTO, 1987). Em relação aos micronutrientes, o ferro aparece em maior concentração, seguido do manganês, cobre e zinco, em pequenas concentrações (FREIRE; CORTEZ, 2000).

A adição da vinhaça pode tanto estimular a melhoria da fertilidade do solo como também, em quantidades elevadas, pode ser nociva para as culturas, promovendo a degradação do solo (FREIRE; CORTEZ, 2000). A adição de

vinhaça ao solo contribui para a elevação do pH, aumenta a disponibilidade de nutrientes e o poder de retenção de cátions; melhora a estrutura física e aumenta a atividade microbiana na camada superficial do solo, devido à sua decomposição (ROSSETO, 1987). A vantagem no uso da vinhaça é que ela possui altas concentrações de matéria orgânica e de nutrientes, podendo melhorar a qualidade da matéria orgânica, as propriedades físicas do solo, aumentar a fauna e microflora do solo e a produtividade das culturas (GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1983).

Apesar dos benefícios oriundos da aplicação da vinhaça, o seu uso é controlado. No Estado de São Paulo, a responsabilidade por controlar a utilização da vinhaça é da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A CETESB exige a elaboração de um projeto da utilização e distribuição desse resíduo dentro das especificações da Norma Técnica P4.231 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006), que apresenta meios específicos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, levando em consideração as características físico-químicas da vinhaça e do solo.

A vinhaça tem caráter ácido (pH em torno de 4) e pode ser um bom solubilizador dos minerais contidos em remineralizador. As altas concentrações de nutrientes (K, Ca e Mg), juntamente com os nutrientes contidos em remineralizador, permitem supor que a associação vinhaça e remineralizador é uma ótima fonte nutritiva para as plantas. Em trabalho realizado por Lopes et al. (2011) avaliou-se o efeito da vinhaça na solubilização de macro e micronutrientes contidos em um pó de diabásio e observou-se maior disponibilização de nutrientes nos tratamentos com vinhaça.

1.4. Processo de dissolução de minerais

A baixa solubilidade dos minerais contidos nas rochas moídas proporciona lenta liberação de minerais. Em sistemas de produção agrícola isto pode ser benéfico, principalmente em regiões tropicais. Nestas predominam solos muito intemperizados que podem apresentar perdas elevadas de fertilizantes sintéticos por lixiviação, principalmente quando comparadas com

remineralizadores (LEONARDOS; THEODORO; ASSAD, 2000; ANDRADE; MARTINS; MENDES, 2002; SOUZA et al., 2010). Entretanto, essa lenta liberação de nutrientes dificulta sua utilização por plantas de ciclo curto. Assim, não se trata de um sistema de substituição de insumos químicos por remineralizador, mas de uma prática de manejo de solo para a fertilização do agroecossistema (ALMEIDA; SILVA; RALISCH, 2007).

A baixa solubilidade de remineralizador levou à busca por alternativas para aumentar a sua solubilização para disponibilização adequada de nutrientes para as culturas em tempo hábil. A solubilização de remineralizadores é um processo lento e complexo, que depende de fatores como a composição química e mineralógica da rocha, da granulometria do material, do tempo de reação, e de fatores do solo como o pH e a atividade biológica (OSTERROHT, 2003).

A utilização de fontes de carbono orgânico para aumentar a solubilização, através da produção de ácidos orgânicos oriundos da decomposição ou próprios da composição dos materiais, tem sido usada para aumentar a solubilização de minerais contidos nos remineralizadores (LOPES, 2013; LOPES et al., 2014; LOPES, 2011). Uma delas é a vinhaça, água residuária resultante da produção de etanol de cana de açúcar.

A solubilização de minerais também pode ser acelerada pelo cultivo de plantas de cobertura, que modificam a microbiota do solo, estimulam microrganismos que interagem tanto com o P do solo, quanto o P presente na rocha (ESPINDOLA; ALMEIDA; GUERRA, 1997). As plantas de cobertura também modificam o pH da rizosfera tanto por meio da liberação dos exsudatos radiculares, quanto por meio de exsudatos dos microrganismos beneficiados com o cultivo dessas plantas (GRAYSTON; VAUGHAN; JONES, 1997). Diferentes espécies de plantas, bem como genótipos dentro da mesma espécie, influenciam qualitativa e quantitativamente a comunidade microbiana da rizosfera por diferenças quantitativas e qualitativas de seus exsudatos radiculares (RENGEL, 1997).

Ácidos orgânicos, produzidos por microrganismos decompositores de matéria orgânica, e H₂O podem contribuir para a solubilização dos minerais

(MALAVOLTA, 1980). Segundo Rosa et al. (2007), a biossolubilização do pó de rocha com o uso de microrganismos é uma técnica utilizada para diminuir o tempo necessário para a solubilização dos nutrientes presentes na rocha basáltica, beneficiando a microbiota e o funcionamento do solo, e permitindo diminuir gastos com corretivos e fertilizante solúveis.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processo de transição agroecológica no sul do Brasil. **Revista Agricultura**, Rio de Janeiro. v. 4, n. 1, p. 7-10, 2007.
- ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA J. A. A. Adubação verde. In: HENZ, G. P.; ALCÂNTARA, F. A. de; RESENDE, F. V. (Eds.). **Produção orgânica de hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 308 p.
- ALTIERI, M. A. El “estado del arte” de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. In: CADENAS MARÍN, A. (ed.). **Agricultura y desarrollo sostenible**. Madrid: Ministério de Agricultura, 1995. p.151-203.
- AMBROSANO, E. J. et al. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. **Informações Agronômicas** (Encarte técnico) nº 112 – dezembro/2005.
- ANDRADE, L. R. M.; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. **Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas**. Planaltina: EMBRAPA, 2002. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**: Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, p.247, 2012. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; p.272).
- BRANDENBURG, A. **Agricultura familiar: ONGs e desenvolvimento sustentável**. Curitiba: Editora da UFPR. 1999, 326p.

- BUZINARO, T. N.; BARBOSA, J. C.; NAHAS, E. Atividade microbiana do solo em pomar de laranja em resposta ao cultivo de adubos verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 31, n. 2, p. 408-415, 2009.
- CALEGARI, A. et al. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. p. 1-56.
- CAMARGO, C. K. et al. 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.
- CASTRO, C. et al. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 9, p. 179-193, 2006.
- CANTARELA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 395-470.
- CARVALHO, A. M. et al.. **Manejo de adubos verde no cerrado**. Embrapa Cerrados, 1999. 28 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 4).
- 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 (2015). **Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, Relativas às Safras 1976/77 a 2014/15 de Grãos, 2001 a 2014 de Café, 2005/06 a 2014/15 de Cana-de-Açúcar**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Paginaobjcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 08, novembro, 2015.
- DALCIN, G. **Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração**. 100p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), 2008.
- DELARME LINDA, E. A. et al. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 625 – 628, 2010.

- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **FEIJÃO**. 2007. Disponível em:<[HTTP://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4AG01_7_4_1311200215104.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4AG01_7_4_1311200215104.html)>. Acesso em 15 de jan., 2016.
- ESCOSTEGUY, P. A.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 11-20, 1998.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. **Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata-doce**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, (Embrapa Agrobiologia, Comunicado técnico, 14), 6p, 1997.
- 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 Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 8, p. 111-121, 2009.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. B. **Vinhaça de cana de açúcar**. Livraria e Editora Agropecuária, 2000, p. 203.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2005, 653 p.
- GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38p.
- GRAYSTON, S. J.; VAUGHAN, D.; JONES, D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, p.29-56, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006: agricultura familiar - primeiros resultados**. Rio de Janeiro, p.207, 2006.
- ISHERWOOD, K. F. World plant nutrient resources: directions for the next century. In: SIQUEIRA, J.O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS. 1999. p.123-142.

- LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 3-9, 2000.
- LONERAGAN, J. F. Plant nutrition in the 20th and perspectives for the 21st century. **Plant Soil**, The Hague, v. 196, p.163-174, 1997.
- LOPES, O. M. M.; M. M. **Efeito de agromineral e vinhaça em atributos químicos de dois tipos de solo**. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente), Universidade Federal de São Carlos, 2013.
- LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1547-1557, 2014.
- LOPES, O. M. M.; COSTA, L. G.; LOPES-ASSAD, M. L. Disponibilidade de nutrientes em mistura 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.
- LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 2002, 182p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição mineral de Plantas**. Piracicaba: CERES. 1980, 215p.
- MAZOYER, M., ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. [tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira]. – São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.568p.: Il.
- 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>. Acessado em: 17 de dezembro de 2015.
- MELLADO, Z. M. Homage to Dr. Norman E. Borlaug. **Chilean Journal of Agricultural Research**., Santiago de Chile, v. 69, 2009.

- MELO, V. F. et al. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, p.471-476, 2012.
- NASCIMENTO J. T. et al. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.457-462, 2003.
- OSTERROHT, M. V. Rochagem Para Quê? **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, n. 20, p. 12-15. 2003.
- PEREIRA, J.; BURLE, M. L.; RESCK, D. V. S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia, GO. **Anais**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p.140-154.
- PRASAD, R. Organic farming vis-à-vis modern agriculture. **Current Science**, v. 89, n. 2, p. 252-54, 2005.
- RENGEL, Z. Root exudation and microflora populations in rhizosphere of crop genotypes differing in tolerance to micronutrient deficiency. **Plant and Soil**, The Hague, v. 196, p. 255-260, 1997.
- RESENDE, A. V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, p. 135-161, 2006.
- ROSA, M. M. et al. WORKSHOP DE GRUPO DE PESQUISA, 3., 2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, v. 3, p. 2580, 2007.
- ROSCOE, R. et al. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R. et al. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.
- ROSSETTO, A. J. Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.
- SILVA, D. R. G. et al. 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, V. N.; SILVA, L. E. S. F.; FIGUEIREDO, V. B. Atuação de rizóbio com rizobactéria promotora de crescimento em plantas na cultura do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 407-412, 2006.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: Funep, 1999. 37p.
- SOUZA, F. N. S. et al. Potencial de rejeito mineral na produção de grãos. In: **Congresso Brasileiro de Rochagem**, 1., 2010, Brasília, Anais...Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. p. 289-295.
- SOUZA, M. E. P. et al. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 69, p. 56–60, 2013.
- THEODORO, S. H. et al. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 9, p. 263-292, 2006.
- VARELA, L. B.; SANTANA, A. C. Aspectos econômicos da produção e do risco nos sistemas agroflorestais e nos sistemas tradicionais de produção agrícola em Tomé-Açu, Pará – 2001 a 2003. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 33, p. 151-160, 2009.
- XAVIER, F. A. S., et al.. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30 p. 247-258, 2006.
- WELTER, M. K. Efeito da aplicação de pó de basalto no desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 33, p. 922-931, 2011.

CAPÍTULO 2 – EFEITO DE REMINERALIZADOR, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA EM PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E NA NUTRIÇÃO DE FEIJOEIRO

RESUMO

Objetivou-se com o trabalho avaliar parâmetros biométricos e teores de nutrientes foliares do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sucessão a plantas de cobertura cultivadas em um Latossolo Vermelho, no qual foram aplicadas doses de remineralizador (pó de basalto) e de vinhaça. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4x2, com três repetições. O primeiro fator foram doses de remineralizador (0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹ de pó de basalto). Os tratamentos sem plantas de cobertura (controle) e com as plantas de cobertura crotalária (*Crotalaria juncea* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e braquiária (*Urocloa cv. ruziziensis* Germain & Evrard) representaram o segundo fator. O terceiro fator foi aplicação ou não de vinhaça (200 m³ ha⁻¹ e 0 m³ ha⁻¹, respectivamente). Foram avaliados altura da planta, massa seca da parte aérea, área foliar específica (AFE), índice de clorofila Falker (ICF) e teores de macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S) foliares. A associação de vinhaça com doses de remineralizador proporcionou aumento dos parâmetros biométricos. A combinação de doses de remineralizador e plantas de cobertura proporcionou diferenças nos teores de macronutrientes foliares, com níveis satisfatórios de suficiência para o feijoeiro, no estágio R6 (florescimento pleno do feijoeiro), em que foi avaliado. A aplicação de vinhaça proporcionou menores taxas de acúmulos de macronutrientes em relação aos tratamentos sem vinhaça.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris*; *Crotalaria juncea*; *Pennisetum glaucum*; *Urocloa cv. ruziziensis*; pó de basalto.

EFFECT OF REMINERALIZER, VINASSE AND COVER CROPS ON BIOMETRIC PARAMETERS AND NUTRITION OF BEAN

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate biometric parameters and levels of foliar nutrients bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated in succession to cover crops grown in an Oxisol (Red Latosol), in which remineralizer (basalt powder) and rates of vinasse were applied. The trial was conducted in a greenhouse, in randomized blocks in a factorial design 4x4x2, with three replications. The first factor was remineralizer rates (0, 2, 4 and 8 t ha⁻¹ of basalt powder). The treatments without plants (control) and with the cover plants sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) and Congo grass (*Urochloa cv. ruziziensis* Germain & Evrard) accounted for the second factor. The third factor was the application or not of vinasse (200 m³ h⁻¹ and 0 m³ h⁻¹, respectively). We evaluated the plant height, dry mass, leaf area index (IAF), chlorophyll index Falker (ICF) and levels of macronutrients (N, P, Ca, Mg, and S) leaf. The association of vinasse and rates of remineralizer provided increase of biometric parameters. The combination of rates of remineralizer and cover plants resulted in differences in foliar macronutrient levels, with satisfactory levels of sufficiency to the bean, in the stage assessed. The application of vinasse resulted in lower rates of accumulation of macronutrients in relation to treatments without vinasse.

Keywords: *Crotalaria juncea*, *Pennisetum glaucum*, *Urochloa cv. ruziziensis*, *Phaseolus vulgaris*, basalt powder.

2.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo produtor e o primeiro consumidor mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com uma produção de 3,09 milhões de toneladas na safra 2015 (IBGE, 2016). Guanzioli et al. (2012), com base em resultados do censo agropecuário do IBGE de 2006 estimam que 76,6% da produção de feijão são provenientes da agricultura familiar. A produtividade média nacional é de 1.050 kg ha⁻¹, mas nos estados do Paraná e de São Paulo observam-se

produtividades médias de 1.775 e 2.355 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2015). Tais diferenças se devem aos diversos sistemas de cultivo, que incluem desde a utilização de cultivares resistentes a doenças, cultivadas em sistemas agrícolas intensivos irrigados e altamente tecnificados, até cultivos com baixo uso tecnológico, de subsistência, sem ou com reduzida aplicação de insumos.

Dentre os principais insumos, os fertilizantes estão entre os que mais incidem nos custos de produção agrícola brasileira, pois seu preço está vinculado ao dólar (MATOS et al., 2008). Apesar da aplicação de fertilizantes se concentrar na produção de *commodities* agrícolas, como milho e soja (BNDES, 2006), a variação nos preços desses insumos também afeta diretamente a produtividade do feijoeiro. Nos dez primeiros meses de 2016, as entregas de fertilizantes no Brasil totalizaram 22.350 milhões de toneladas, contra 19,855 milhões de toneladas no período de janeiro a novembro de 2015 (ANDA, 2016). Cabe salientar que mais de 50% dos fertilizantes consumidos no Brasil (quase 90% no caso do K) são importados (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

A instabilidade nos preços aumenta a vulnerabilidade da produção agrícola (MATOS et al., 2008), o que torna necessário adotar alternativas de manejo da fertilidade do solo. Assim, os resíduos agroindustriais, que poderiam gerar problemas ambientais, como os resíduos de mineração e a vinhaça, têm sido empregados como condicionadores de solos e fertilizantes.

O feijoeiro é exigente em nutrientes, devido ao seu sistema radicular superficial e ao seu reduzido ciclo cultural (FAGERIA; SOUZA, 1995). Constitui, portanto, boa opção para se testar a capacidade de extração de nutrientes contidos em fontes alternativas de fertilização de solos. Vieira (2006), estudando a marcha de absorção de macronutrientes, nas cultivares Talismã e Ouro Negro, em plantio direto e convencional, observou que N, P, K, Mg e S foram absorvidos até os 70 a 80 dias após emergência (DAE), enquanto o Ca foi absorvido até os 59 DAE.

A remineralização do solo, que consiste no uso de rochas moídas na agricultura, pode reduzir a acidez, aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas, estimular a atividade microbiana e aumentar a produção

agrícola (SILVA et al., 2012). Porém, a baixa solubilidade dos minerais dificulta seu uso como fonte nutritiva (VAN STRAATEN, 2006), especialmente para culturas de ciclo curto. Ferreira et al. (2009) avaliaram a utilização de pó de basalto como fonte de nutrientes para a cultura do feijão comum e concluíram que o basalto moído não afetou a produtividade da cultura e não alterou os conteúdos de macro e micronutrientes foliares, que foram mantidos nos níveis de suficiência da cultura. O aumento da taxa de dissolução dos minerais contidos nas rochas pode ocorrer através da modificação física ou química do mineral. A temperatura e a umidade do meio influenciam a taxa de dissolução dos minerais das rochas aplicados no solo (VAN STRAATEN, 2006).

As plantas de cobertura do solo também podem ser uma alternativa para melhorar a solubilização de minerais contidos em remineralizadores visto que modificam a microbiota do solo, estimulam microrganismos solubilizadores de fosfato como fungos micorrízicos (ESPINDOLA et al., 1997) e podem modificar o pH da rizosfera por meio da liberação de exsudados radiculares (GRAYSTON et al., 1997). Barroti e Nahas (2000) avaliaram o efeito de diferentes espécies de plantas na população microbiana total e solubilizadora de fosfato e concluíram que as bactérias solubilizadoras são favorecidas pelo plantio de braquiária (*Brachiaria* spp.) sem adubação ou associada à calagem do solo.

Em vista do exposto, objetivou-se com o trabalho avaliar parâmetros biométricos e teores de nutrientes foliares do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em sucessão a plantas de cobertura em um Latossolo Vermelho, anteriormente sob manejo convencional, no qual foram aplicadas doses de remineralizador (pó de basalto) e de vinhaça.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de janeiro a maio de 2015, em casa de vegetação, localizada a 22°18'53.2" S e 47°23'00.9 W, em altitude de 600 m, no município de Araras (SP). O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho textura argilosa, coletado na profundidade 0-0,20m, em área sob cultivo convencional. As análises químicas e físicas foram realizadas de acordo com metodologias propostas por Raij et al. (2001) e Camargo et al. (2009),

respectivamente. Essas análises indicaram a presença de 510 g kg⁻¹ de argila; 320 g kg⁻¹ de areia; 170 g kg⁻¹ de silte; pH (CaCl₂) 5,4; 28 mmol_c dm⁻³ de acidez potencial; 19 mg dm⁻³ de P (resina); 5,4 mmol_c dm⁻³ de K; 72 mmol_c dm⁻³ de Ca; 14 mmol_c dm⁻³ de Mg; 37 g dm⁻³ de matéria orgânica; 118,9 mmol_c dm⁻³ de CTC e 76% de saturação por bases.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4x2, com três repetições. O primeiro fator (F1) foram doses de remineralizador (0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹ de pó de basalto). O segundo fator (F2) foram plantas de cobertura com os tratamentos crotalária (*Crotalaria juncea*), milho (*Pennisetum glaucum*) e braquiária (*Urochloa cv. ruziziensis*) e sem plantas de cobertura (controle). O terceiro fator (F3) foi aplicação ou não de vinhaça (200 m³ ha⁻¹ e 0 m³ ha⁻¹, respectivamente).

O remineralizador, coletado em Cordeirópolis (SP), apresentou 50,31% de SiO₂; 12,63% de Fe₂O₃; 0,84% de K₂O; 13,94% de Al₂O₃; 2,24% de Na₂O; 6,91% de MgO; 10,16% de CaO; e 0,09% de P₂O₅, na caracterização química de amostras de mão por espectrometria de massa com fonte de plasma induzido (ICP-MS) e espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma induzido (ICP-AES). O material coletado foi peneirado até se obter um material de tamanho menor ou igual a 0,3 mm.

A vinhaça utilizada, proveniente de mosto de melaço, foi coletada em uma usina de produção de açúcar e álcool de Pirassununga (SP) e mantida congelada até sua utilização. A análise química, por meio de metodologia proposta por Rodella (1983), indicou pH 4; 4,80 kg m⁻³ de C; 0,50 kg m⁻³ de N; 0,117 kg m⁻³ de P₂O₅; 3,25 kg m⁻³ de K₂O; 10,92 kg m⁻³ de CaO; 1,24 kg m⁻³ de MgO e 2,58 kg m⁻³ de SO₄.

Foram utilizados vasos de polietileno, nos quais foram acrescentados inicialmente 4,5 dm³ de solo. Em seguida, o remineralizador foi misturado a 0,5 dm³ de solo e acrescentados aos vasos completando o volume de 5 dm³. Posteriormente, a vinhaça foi aplicada conforme os tratamentos. Após sete dias de incubação, foram semeadas as plantas de cobertura, na proporção de 0,1 g de crotalária por vaso, 0,056 g de milho por vaso e 0,064 g de braquiária por

vaso. As plantas de cobertura foram conduzidas até os 45 dias após incubação (DAI) e posteriormente cortadas rentes ao solo.

Aos 45 DAI, e após o corte das plantas de cobertura, foram semeadas 10 sementes em cada vaso de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. BRS Talismã, de ciclo médio de 85 dias (UFLA..., 2002). O desbaste foi realizado no estágio V2 (desdobramento das folhas primárias), mantendo-se duas plantas por vaso.

Aos 90 DAI, correspondentes aos 40 dias após emergência (DAE) das plantas de feijoeiro, foi avaliado o índice de clorofila Falker (ICF), utilizando-se o aparelho ClorofiLOG (Falker, 2008). O ClorofiLOG utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda; dois emitem dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 e 660nm) e um outro no infravermelho próximo (880nm) (FALKER, 2008). Um sensor inferior recebe a radiação transmitida através da estrutura foliar. A partir desses dados, o aparelho fornece valores chamados Índice de Clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas. A leitura foi realizada na terceira folha trifoliada expandida das duas plantas do vaso, com leitura no terço médio da folha; posteriormente foi calculada a média do vaso.

No estágio R6 (florescimento pleno do feijoeiro), ou seja, aos 105 DAI e 55 DAE do feijoeiro, as plantas foram cortadas rentes ao solo e foram determinados o índice de área foliar (IAF), em cm² por planta; a altura da planta (h), em centímetros; e a massa seca da parte aérea (MSPA), em quilogramas. Todas as folhas de cada planta foram submetidas ao leitor fotoelétrico de área, utilizando o Portable Area Meter modelo LI-3000C, para determinação da área foliar total (AF_{total}). O valor de área foliar total obtido foi dividido pela área do solo (AS) ocupada pela planta para se determinar o índice de área foliar (IAF) dado por AF_{total}/AS.

Em seguida, as plantas de feijoeiro foram mantidas a 65 °C em estufa de circulação forçada até atingir peso constante. Posteriormente, as folhas foram moídas e foram determinados os teores de N, P, Ca, Mg e S total, conforme Malavolta et al. (1997). Para efeito de análise de variância, os dados de K foliar foram transformados por meio da função $x = \sqrt{x}$ dado que as pressuposições do modelo matemático não foram atendidas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) ou por análise de regressão, sendo ajustadas equações significativas a 5% de probabilidade, de acordo com o teste t, com os maiores coeficientes de determinação.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Parâmetros biométricos do feijoeiro

O resumo da análise de variância conjunta para os parâmetros biométricos do feijoeiro encontra-se na Tabela 1. Na ausência de classificações específicas para as condições do presente estudo, utilizou-se a classificação proposta por Pimentel Gomes (2000) e considerou-se que os CVs obtidos para MSPA e ICF foram baixos (<10%) e os obtidos para altura de planta e AFE foram médios (situados entre 10 e 20%). Oliveira et al. (2009) destacam que os valores de CV dos experimentos variam de acordo com a cultura considerada e a variável resposta em estudo, e apontam, a partir de revisão de vários trabalhos, que em geral a variável altura do feijoeiro apresenta CV inferior a 10%.

Observou-se efeito significativo das plantas de cobertura (F2) sobre todos os parâmetros biométricos, da vinhaça (F3) sobre a altura do feijoeiro e das doses de pó de basalto (F1) sobre a altura e a AFE (Tabela 1). A interação tripla entre F1xF2xF3 foi significativa apenas para altura do feijoeiro, enquanto que a interação F1xF2 foi significativa para MSPA e a interação F2xF3 foi significativa para AFE. No presente ensaio a interação remineralizador e vinhaça não mostrou efeito significativo para nenhum dos atributos biométricos de feijoeiro estudados.

Tabela 1 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F (Pr>F) e coeficiente de variação (CV) para os parâmetros biométricos por ocasião do pleno florescimento de feijoeiro, cultivar BRS MG Talismã, cultivado em sucessão à aplicação de remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça, em casa de vegetação no município de Araras (SP).

Fontes de variação	F1	F2	F3	F1xF2	F1xF3	F2xF3	F1xF2xF3
GL	3	3	1	9	3	3	9
Altura (cm)							
QM	165,69	312,41	1419,88	16,70	41,96	25,82	100,13
F	5,16	9,73	44,23	0,52	1,31	0,80	3,12
Pr>F	**	**	**	ns	ns	ns	**
CV (%)	13,61						
MSPA (g planta⁻¹)							
QM	1,86	25,83	44,95	2,22	0,72	1,58	0,57
F	1,81	25,16	43,79	2,16	0,70	1,54	0,56
Pr>F	ns	**	**	*	ns	ns	ns
CV (%)	9,61						
IAF (cm² cm⁻¹)							
QM	8384,38	41634,27	64854,93	1212,48	1284,91	11222,22	975,87
F	4,58	22,76	35,45	0,66	0,70	6,13	0,53
Pr>F	**	**	**	ns	ns	**	ns
CV (%)	14,17						
ICF							
QM	4,07	66,32	26,56	17,38	7,08	13,52	13,92
F	0,43	7,05	2,83	1,85	0,75	1,44	1,48
Pr>F	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6,59						

F1= remineralizador na forma de pó de basalto; F2 = tipo de cobertura; F3 = vinhaça; MSPA = massa seca da parte aérea; AFE = área foliar específica; ICF índice de clorofila Falker. **, * significativo a 1% e a 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F; ns não significativo pelo teste F.

Para visualizar a significância da interação tripla no atributo altura de feijoeiro, foram feitos os desdobramentos considerando os tratamentos sem e com aplicação de vinhaça (Figuras 1a e 1b, respectivamente). Comparando-se as Figuras 1a e 1b, observou-se que os tratamentos com vinhaça

proporcionaram alturas de plantas superiores aos tratamentos sem vinhaça. A vinhaça apresenta uma quantidade significativa de Ca, íon responsável pelo crescimento vegetativo do feijoeiro (LEAL; PRADO, 2008), além da quantidade adequada de Ca no solo utilizado no experimento. Observou-se também que a aplicação de vinhaça influenciou o crescimento das plantas do feijoeiro quando associada às plantas de cobertura, em função das doses de remineralizador e quando comparada com o controle (Figura 1b).

Observou-se que os maiores incrementos na altura de plantas de feijoeiro cultivado em presença de vinhaça ocorreram nos tratamentos com 8 t ha^{-1} em sucessão às duas gramíneas (milheto e braquiária). As gramíneas se mostraram mais eficientes sobre o atributo altura, com maior altura de planta (56,9 cm) no tratamento com braquiária, vinhaça e dose de 8 t ha^{-1} de pó de basalto (Figura 1b). A associação apenas de doses de remineralizador e plantas de cobertura foi menos benéfica quando comparada com os tratamentos com vinhaça, apresentando efeito igual entre as doses e plantas de cobertura.

Avaliando a altura desta mesma variedade em condições de campo, Vieira et al. (2008) constataram que a cv. Talismã alcançou altura máxima de 100 cm aos 70 DAE. Mesmo considerando que a medida aqui foi feita aos 55 DAE, estima-se que a dose máxima de 8 t ha^{-1} de remineralizador e em presença de vinhaça, em sucessão à crotalária, não seria suficiente para permitir que as plantas de feijoeiro alcançassem sua altura máxima.

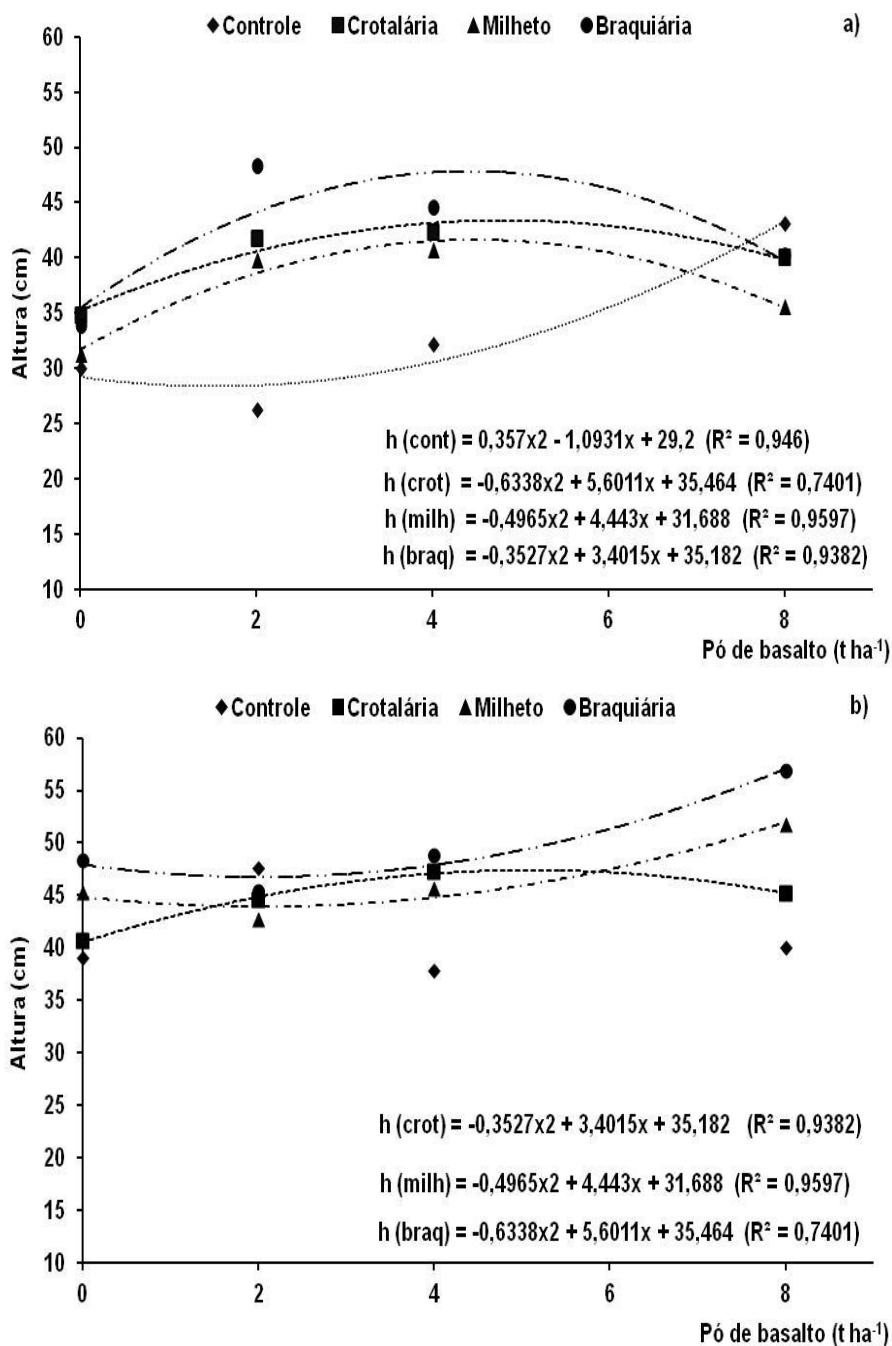


Figura 1: Altura de plantas de feijoeiro (h), cultivar Talismã, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador aplicadas na forma de pó de basalto: a) sem vinhaça e b) com vinhaça.

O desdobramento da interação dupla remineralizador x plantas de cobertura (Figura 2) mostrou que a MSPA do feijoeiro variou em função do tipo de planta de cobertura, todas apresentando efeito maior do que o controle. Os tratamentos crotalária e braquiária apresentaram elevação da MSPA do

feijoeiro, mas com pequena variação entre a dose mínima e a dose máxima. Como na variável anterior, a braquiária apresentou resultados positivos, mostrando que gramíneas, principalmente a braquiária, são bons métodos alternativos capazes de manter o desenvolvimento adequado do feijoeiro se assemelhando ao cultivo convencional. Resultados observados no presente trabalho foram semelhantes aos encontrados por Vieira et al. (2008) que, avaliando o crescimento do feijoeiro comum cv. BRS-MG Talismã, em diferentes sistemas de plantio, obtiveram acúmulo da massa seca entre 10 e 11,66 g por planta⁻¹. Comparando com Pereira et al. (2015), que observaram um acúmulo de 7,43 g por planta⁻¹ ao avaliarem a influência de doses de fertilizante orgânico nos componentes de produção e na produtividade da cultura do feijão, o acúmulo de MSPA observado aqui ficou em níveis mais elevados.

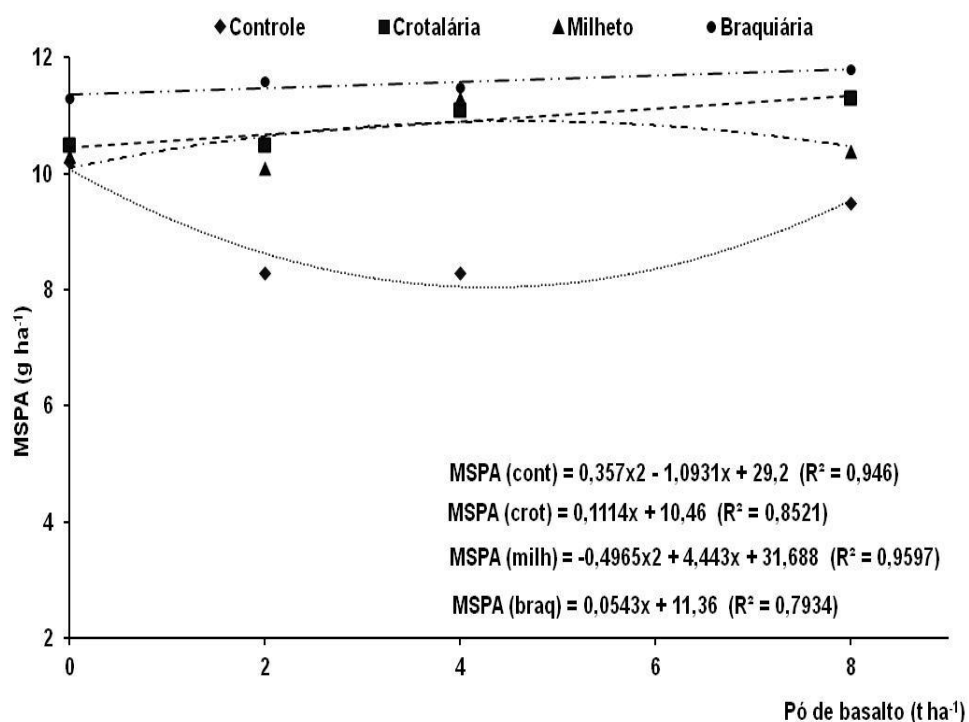


Figura 2: Massa seca da parte aérea de plantas de feijoeiro (MSPA), cultivar Talismã, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto.

O desdobramento da interação dupla significativa entre tipo de cobertura e presença ou ausência de vinhaça (Tabela 1) mostrou que apenas o IAF de plantas de feijoeiro cultivadas em sucessão a milho não apresentou diferença em relação à presença de vinhaça (Figura 3); mas na comparação com o tratamento controle, o milho elevou o IAF do feijoeiro. Nos demais tipos de cobertura, incluindo o controle (sem cobertura), a vinhaça proporcionou aumento da AFE, possivelmente pelo mesmo motivo da variação da altura do feijoeiro nos tratamento com vinhaça (quantidade significativa de Ca, íon responsável pelo crescimento vegetativo). Dentre as plantas de cobertura, a melhor resposta a associação com a vinhaça foi a da crotalária, que mostrou um aumento de 42% em relação ao tratamento sem vinhaça.

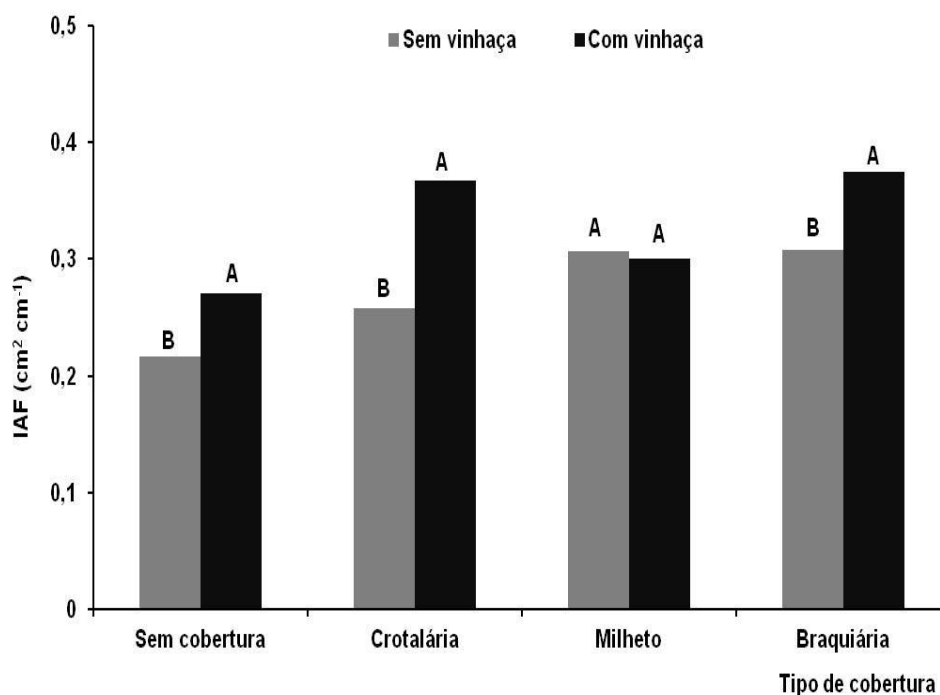


Figura 3: Índice de área foliar de plantas de feijoeiro (MSPA), cultivar Talismã, cultivadas em sucessão a plantas de cobertura, em função da aplicação de 0 m³ ha⁻¹ (cor cinza) ou 200m³ há⁻¹ (cor preta) de vinhaça.

2.3.2. Teor de nutrientes foliares

O resumo da análise de variância conjunta para os teores de nutrientes nas folhas encontra-se na Tabela 2. Os CVs obtidos para todos os macronutrientes foliares foram médios (entre 10 e 30%) (PIMENTEL GOMES, 2000), podendo-se afirmar que a precisão experimental foi adequada. Observou-se efeito significativo do remineralizador (F1) sobre todos os macronutrientes foliares, com exceção de K, e de tipos de cobertura (F2) sobre P, K, Ca e Mg. O fator vinhaça (F3) teve efeito altamente significativo sobre todos os macronutrientes foliares (Tabela 2). Os macronutrientes K, Ca, Mg e S apresentaram interação tripla, enquanto que N e P apresentaram interação dupla entre remineralizador e vinhaça (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F (Pr>F) e coeficiente de variação (CV) para teores de nutrientes no tecido foliar do feijoeiro, cultivar Talismã, por ocasião do pleno florescimento, cultivado em sucessão à aplicação de remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça, em casa de vegetação no município de Araras (SP).

Fontes de variação	F1	F2	F3	F1xF2	F1xF3	F2xF3	F1xF2xF3
GL	3	3	1	9	3	3	9
N (g kg⁻¹)							
QM	277,95	55,325	1391,57	34,69	271,25	17,99	45,76
F	10,78	2,18	54,94	1,37	10,71	0,71	1,81
Pr>F	**	ns	**	ns	**	ns	Ns
CV (%)	15,04						
P (g kg⁻¹)							
QM	0,57	1,28	1,82	0,11	0,29	0,06	0,19
F	5,99	13,38	19,04	1,10	3,04	0,66	1,94
Pr>F	**	**	**	ns	*	ns	ns
CV (%)	21,30						
K (g kg⁻¹)¹							
QM	0,01	0,023	0,17	0,01	0,13	0,01	0,02
F	1,2376	2,94	20,85	1,2767	16,05	1,79	2,12
Pr>F	Ns	*	**	ns	**	ns	*
CV (%)	14,75						
Ca (g kg⁻¹)							
QM	115,18	34,94	1135,38	12,87	102,43	19,35	16,45
F	15,38	4,67	151,60	1,72	13,68	2,58	2,20
Pr>F	**	**	**	ns	**	ns	*
CV (%)	20,00						
Mg (g kg⁻¹)							
QM	1,10	1,78	7,19	0,31	0,89	0,24	0,81
F	5,13	8,32	33,67	1,44	4,15	1,14	3,78
Pr>F	**	**	**	ns	**	ns	**
CV(%)	24,03						
S (g kg⁻¹)							
QM	1,64	0,01	3,21	0,23	0,40	0,21	0,12
F	30,34	0,17	59,49	4,17	7,31	3,96	2,14
Pr>F	**	ns	**	**	**	*	*
CV (%)	22,37						

F1= remineralizador na forma de pó de basalto; F2 = tipo de cobertura; F3 = vinhaça. **, * significativo a 1% e a 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F; ns não significativo pelo teste F. ¹Dados transformados ($x=\sqrt{x}$).

O desdobramento da interação remineralizador x vinhaça revelou que os teores de N e de P nos tratamentos com vinhaça foram inferiores aos dos tratamentos sem vinhaça (Figura 4). A adição de vinhaça influencia a atividade microbiana (FERREIRA; MONTEIRO, 1987) e pode causar imobilização temporária do N, o que explicaria a menor absorção de N foliar nos tratamentos com adição de vinhaça. O teor de N geralmente se correlaciona com teores de clorofila e de S foliar (NEVES et al., 2005), o que não foi verificado no presente trabalho. Vieira (2006) observaram, para a mesma cultivar em sistema de plantio direto, teores de 38,67 g kg⁻¹ para N, inferiores aos observados no presente trabalho nos tratamentos sem adição de vinhaça e com adição de 2 e 4 t ha⁻¹ de remineralizador. Por outro lado, os teores de P observados neste trabalho, tanto nos tratamentos com e sem vinhaça, ficaram abaixo dos observados por Vieira (2006) para a cv. Talismã em plantio direto, que observou um valor médio de 3,02 g kg⁻¹, apesar dos teores de P no solo estarem adequados à cultura. Cabe destacar que o remineralizador aplicado não contém N e apresenta teores de P muito baixos. Portanto, os teores desses nutrientes observados nas folhas de feijoeiro, em tratamentos com e sem aplicação de vinhaça, refletem efeito indireto do remineralizador. Silva et al. (2012) observaram efeito de pó de rocha no pH do solo o que pode aumentar a disponibilização de P para plantas.

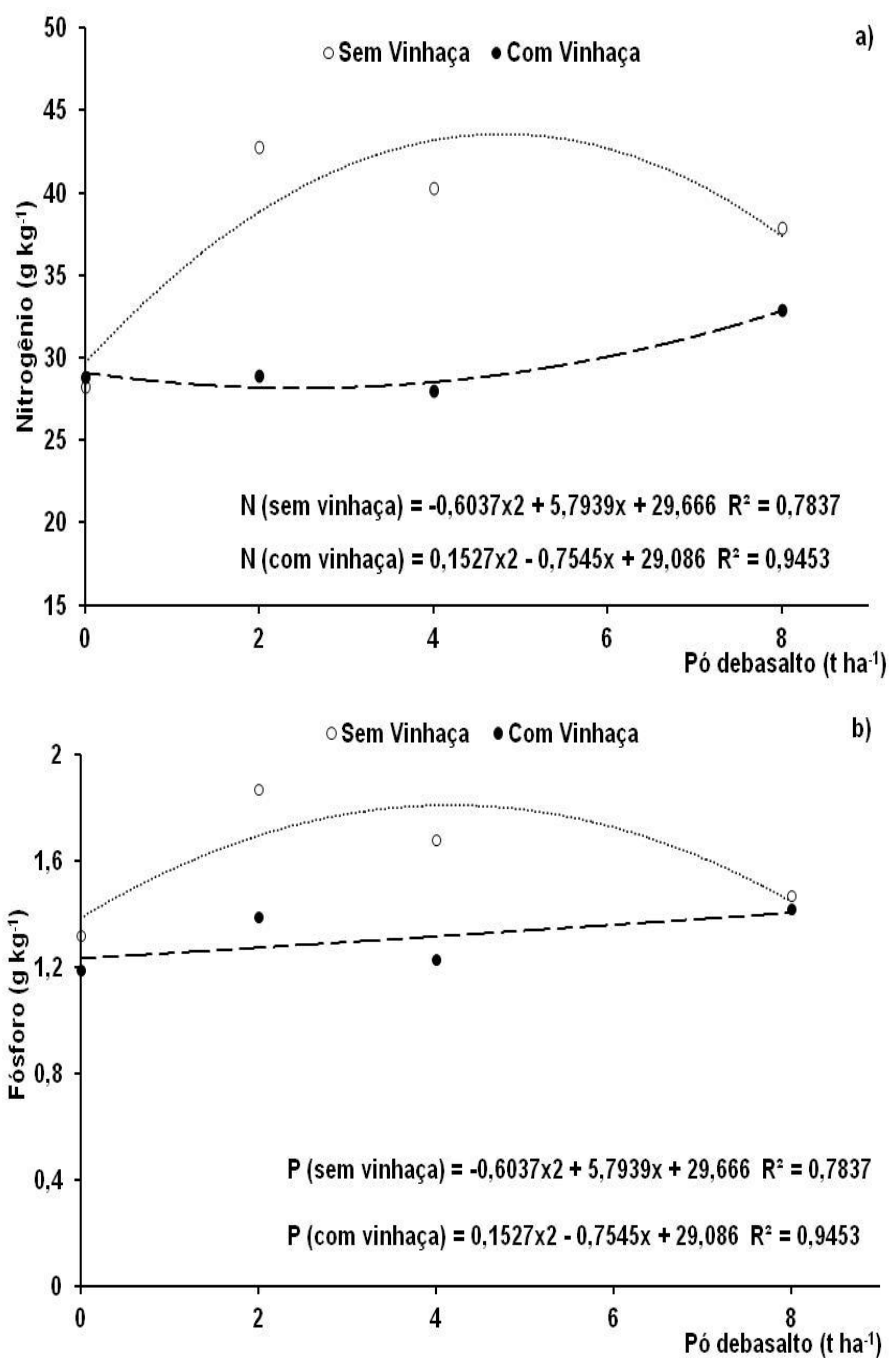


Figura 4: Teores de nutrientes, em g kg^{-1} , na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto e de vinhaça: a) teores de nitrogênio (N), e b) teores de fósforo (P).

Os desdobramentos da interação tripla remineralizador x plantas de cobertura x vinhaça revelaram que os teores de K (Figura 5), Ca (Figura 6) e

Mg (Figura 7) responderam negativamente com a aplicação de vinhaça e aumento das doses de remineralizador.

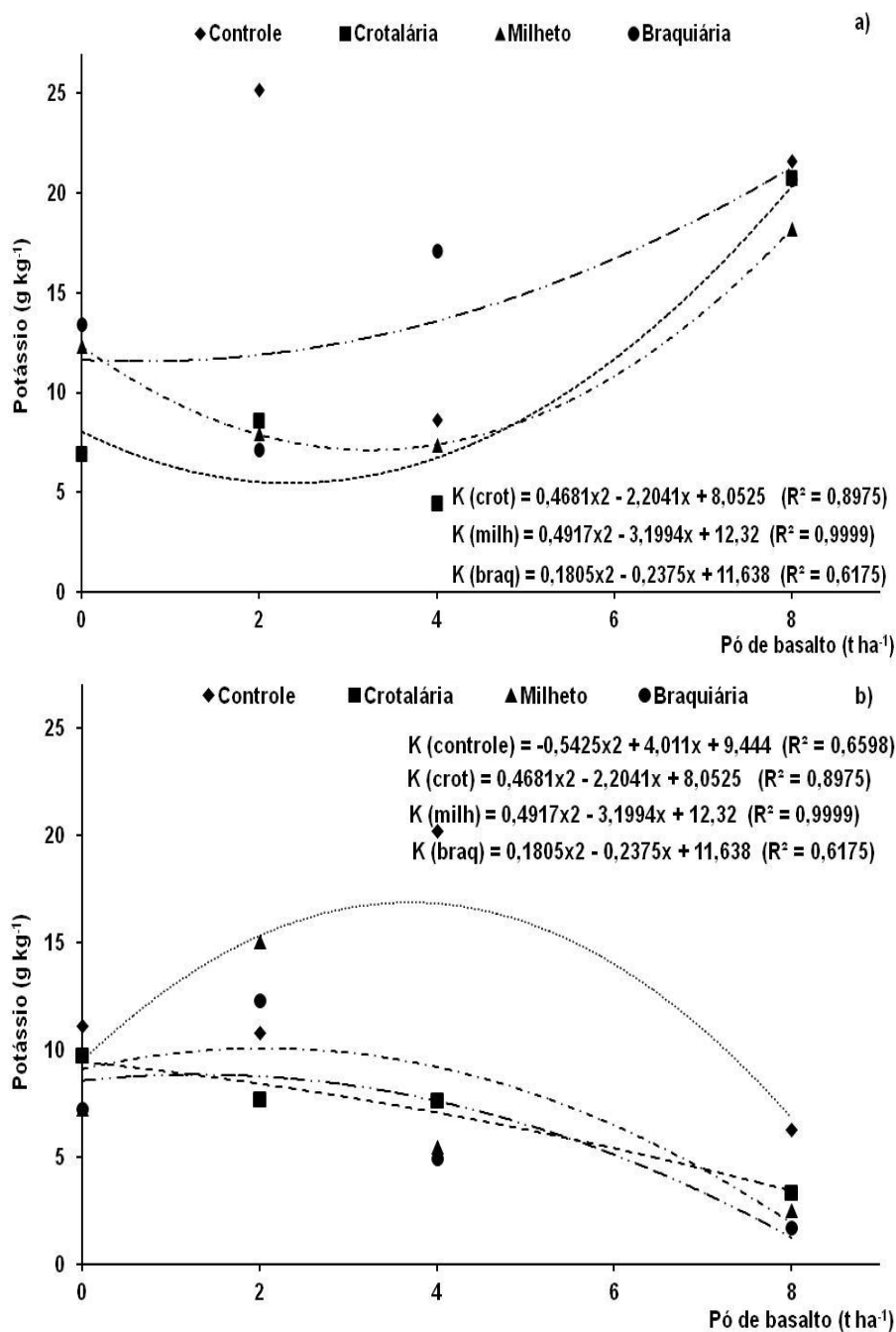


Figura 5: Teores de potássio (K), em g kg⁻¹, na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça.

Em ausência de vinhaça (Figura 5a), observou-se tendência de aumento do teor de K nas folhas de feijoeiro em função de doses crescentes de remineralizador e efeito de tipos de cobertura, com destaque para braquiária. Por outro lado, os teores de Ca e Mg em folhas de feijoeiro, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, mostrou elevação com a aplicação de remineralizador, mas com a aplicação mais elevada esses teores apresentaram queda (Figuras 6a e 7a).

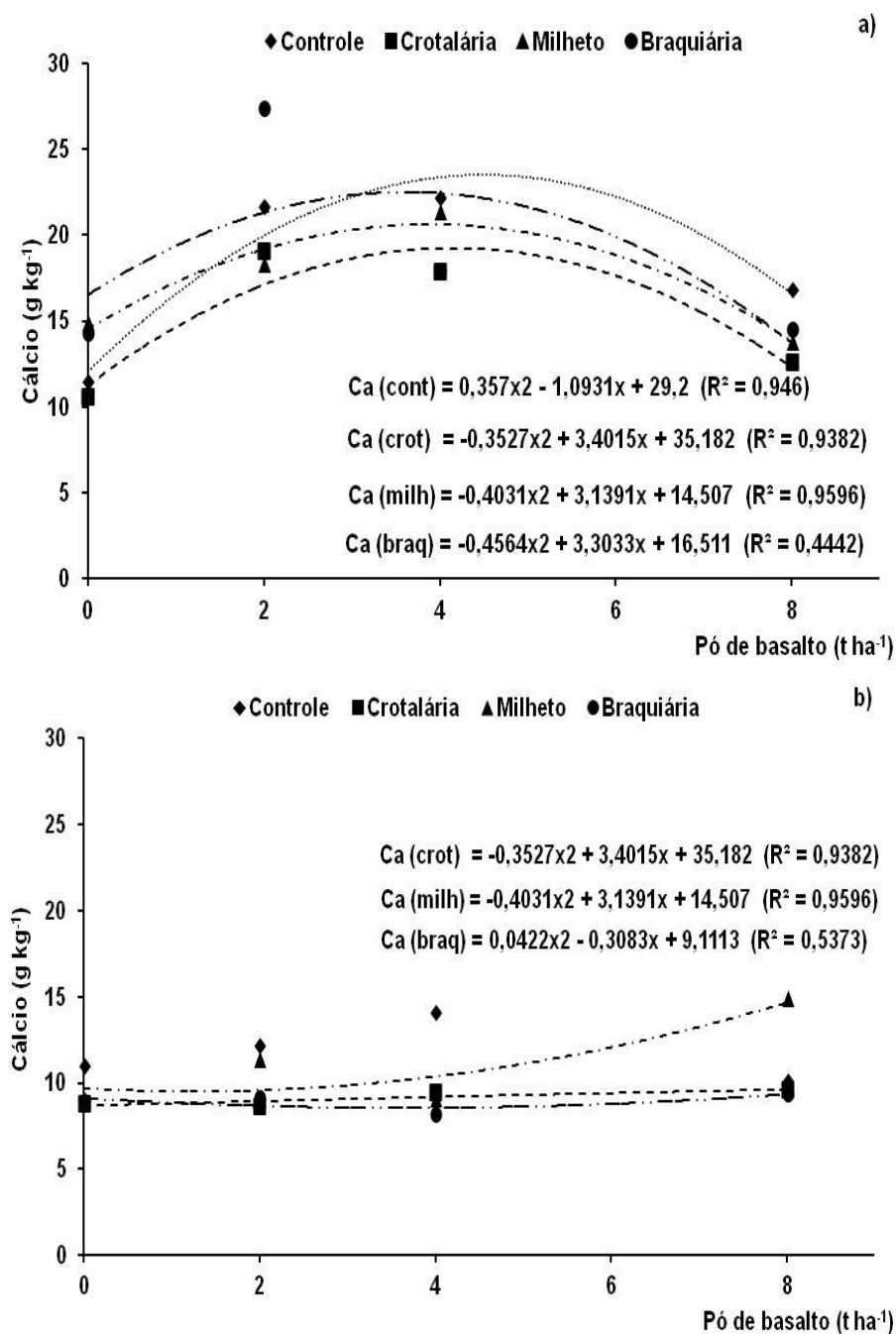


Figura 6: Teores de cálcio (Ca), em g kg^{-1} , na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça.

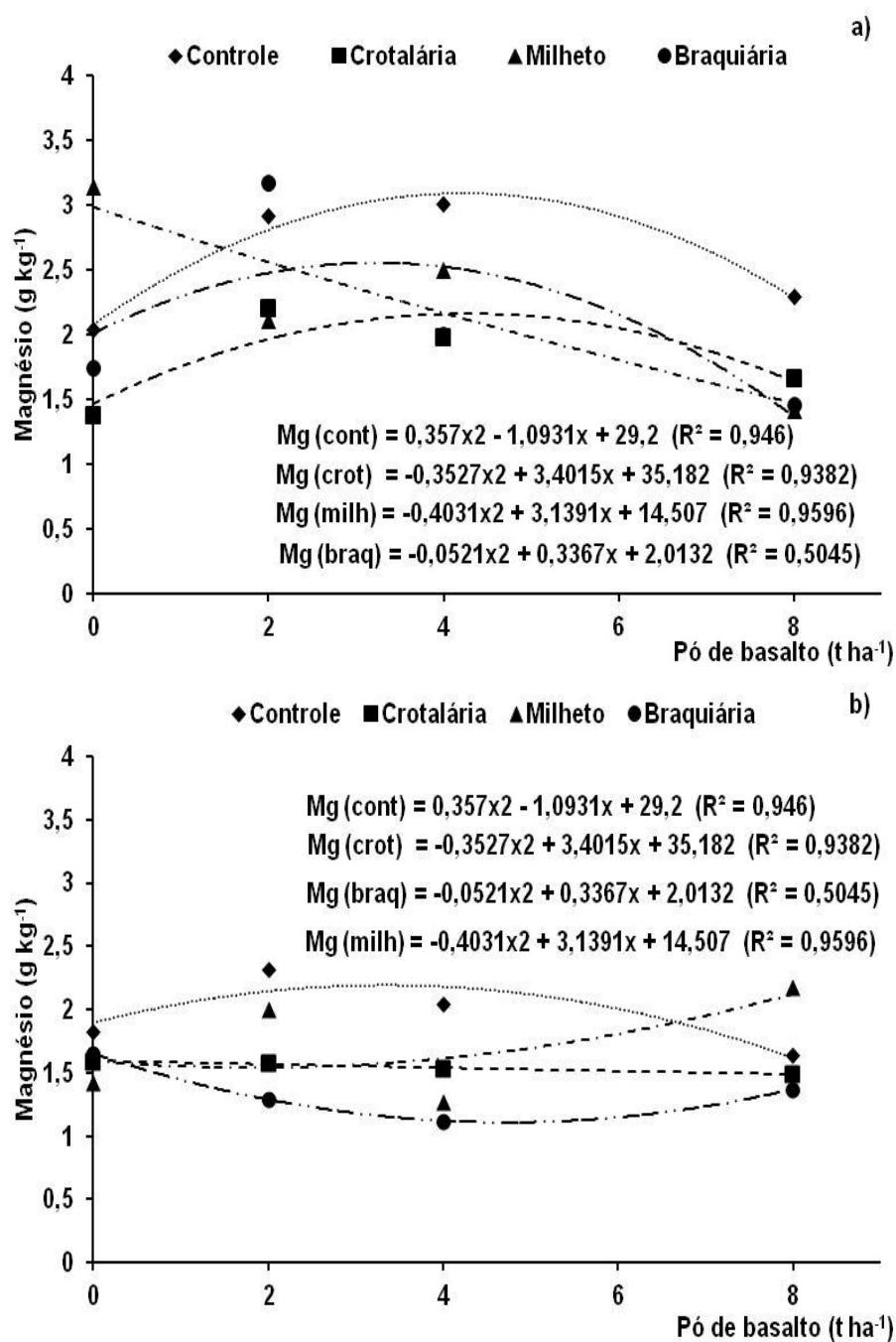


Figura 7: Teores de magnésio (Mg), em g kg⁻¹, na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça.

Nos tratamentos com adição de vinhaça (Figura 5b), o aumento de doses de remineralizador proporcionou queda nas concentrações de K foliares, em todos os tipos de cobertura. Os teores de Ca e Mg nas folhas de feijoeiro nos

tratamentos com vinhaça apresentaram comportamento similar ao do K, com tendência de diminuição em função dos aumentos de dose de remineralizador.

Os resultados observados na dose de 8 t ha⁻¹ de remineralizador nos tratamentos sem vinhaça foram semelhantes aos obtidos por Vieira (2006), que avaliou a mesma cultivar em diferentes sistemas de plantio, e observou uma concentração em sistema de plantio direto de 20,48 g por planta⁻¹ de K foliar no florescimento. Ferreira et al. (2009) trabalhando com pó de basalto como fonte de adubação para o feijoeiro não observou a diminuição do teor de Ca com a aplicação de doses crescentes (2,5, 5 e 10 t ha⁻¹) do remineralizador. A influência das plantas de cobertura nas concentrações de Ca foliar foi pequena para a maioria dos tratamentos. Tendo em vista que a faixa adequada de Ca foliar para o feijoeiro é 20 a 24 g kg⁻¹ (RAIJ et al., 1997), e foi observado por Vieira (2006) que o feijoeiro absorveu de forma crescente o Ca até os 68 dias após a emergência, os resultados observados neste trabalho para as menores doses de pó de basalto sem adição de vinhaça estão adequadas para a cultura.

A aplicação de remineralizador sem vinhaça proporcionou teores de Mg foliar próximos aos adequados para o feijoeiro, na faixa 2,5 a 5,0 g kg⁻¹ conforme indicado por Raji et al. (1997). Ferreira et al. (2009), avaliando os efeitos de um pó de basalto como fonte de nutrientes para a cultura do feijão, verificaram resultados de 6,4; 6,6 e 7,2 g kg⁻¹ de Mg foliar nas doses de 2,5; 5 e 10 t ha⁻¹, respectivamente, valores estes bem acima dos encontrados no presente trabalho.

A quantidade de K, Ca e Mg provenientes da vinhaça e do remineralizador adicionados ao solo, que já apresentava quantidades adequadas desses elementos para cultura do feijão, pode ter ocasionado desequilíbrio desses elementos, influenciando na absorção desses elementos pelo feijoeiro. Este aspecto é de grande importância na transição de sistemas de produção convencionais para sistemas agroecológicos. Conforme destaca Gleissman (2005), a transição agroecológica não é simplesmente substituir insumos externos, e sim um processo capaz de implantar mudanças multilíneas e graduais nas formas de manejo dos agroecossistemas. Solos

cultivados em sistemas convencionais, recebendo adubos industriais por vários anos, podem não responder no curto prazo à aplicação de doses de remineralizadores conforme observado neste trabalho.

O consumo dos nutrientes contidos no solo pelas plantas de cobertura pode ter sido outro fator responsável pelos menores teores de nutrientes foliares por conta da aplicação da vinhaça. Isto porque a vinhaça aplicada aumenta as bases trocáveis do solo (BEBÉ et al., 2009) e aumenta a disponibilidade de P através da ocupação dos sítios de adsorção ocupados pelos compostos orgânicos oriundos da vinhaça (RIBEIRO et al., 2011).

Diferentemente dos demais macronutrientes foliares analisados, o teor de S nos tratamentos com vinhaça foram no geral maiores do que nos tratamentos sem vinhaça (Figura 8). Os tratamentos que receberam a aplicação de vinhaça apresentaram resultados crescentes com a aplicação de remineralizador, com exceção da braquiária.

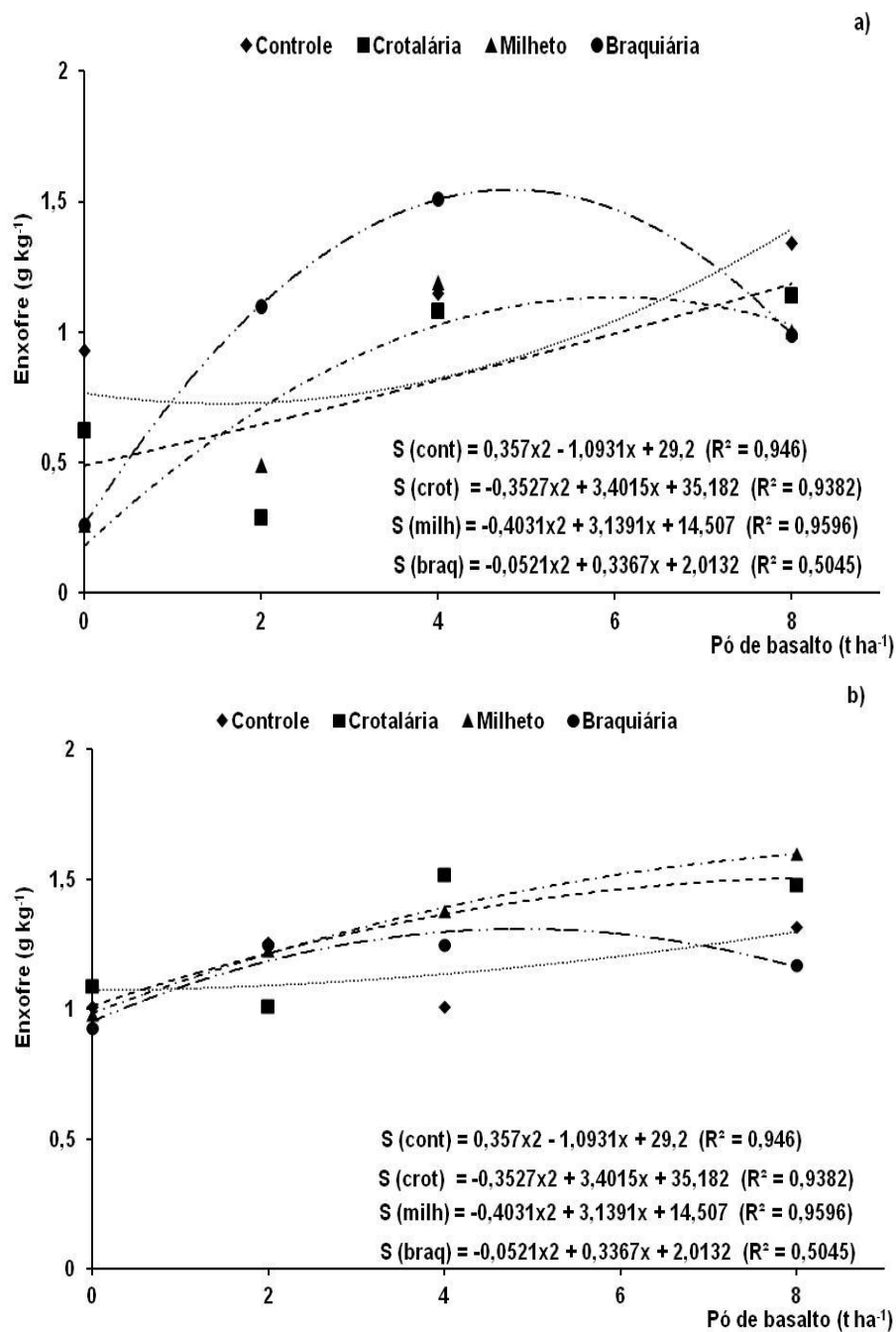


Figura 8: Teores de enxofre (S), em g kg^{-1} , na parte aérea de plantas de feijoeiro, cultivar Talismã, cultivado em casa de vegetação em sucessão a plantas de cobertura, em função de doses de remineralizador na forma de pó de basalto: a) sem aplicação de vinhaça, e b) com aplicação de vinhaça.

O acúmulo de S em folhas de feijoeiro cv. Talismã alcançou um máximo em torno de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de remineralizador de 8 t ha^{-1} com vinhaça, em sucessão a plantas de crotalária e de milheto, enquanto que o máximo foi

alcançado na dose de 4 t ha⁻¹, na sucessão a braquiária. Esses resultados foram inferiores aos observados por Vieira (2006) que verificou um acúmulo de S foliar no florescimento do feijoeiro cv. Talismã de 2,07 g kg⁻¹. A aplicação de remineralizador manteve os teores de S próximos aos adequados para a cultura (2,0 a 3,0 g kg⁻¹), conforme Raij et al. (1997), apesar do feijoeiro estar apenas em seu florescimento.

Apesar de terem sido aplicados 516 kg ha⁻¹ de SO₄ através da vinhaça, os teores não foram maiores do que os tratamentos sem aplicação de vinhaça. Ambrosano et al. (1996) recomendam a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de S em culturas de feijão com metas de produtividade superiores a 2.000 kg ha⁻¹, independentemente do teor do elemento no solo. Isso reforça a hipótese de que a quantidade excessiva de elementos no solo (quantidade adequada presente no solo mais a aplicação através da vinhaça e remineralizador) prejudicou a absorção desses elementos pelo feijoeiro.

2.4. CONCLUSÕES

Houve efeito da associação de doses de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos principais parâmetros biométricos do feijoeiro.

A associação de vinhaça com doses de remineralizador tem potencial para incrementar a produtividade do feijoeiro, considerando os resultados observados para área foliar, massa seca da parte aérea e índice de clorofila, que são atributos relacionados com sua produtividade.

Doses de remineralizador associadas a plantas de cobertura proporcionaram diferenças nos teores de macronutrientes foliares do feijoeiro, com níveis satisfatórios de suficiência da cultura, tendo em vista o estágio em que foi avaliado.

A aplicação de vinhaça proporcionou menores teores de macronutrientes quando comparada aos tratamentos sem vinhaça.

2.5. REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E. J. et al. **Leguminosas e oleaginosas**. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.)

- Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC. p.189-203. (Boletim técnico, 100), 1996.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Comentários - Mercado de Fertilizantes - Jan-Out - 2016 - 21 novembro 2016. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>. Consultado em 28 de novembro de 2016.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. (2006) **Fertilizantes: Uma Visão Global Sintética**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.24, p.97-138, 2006.
- BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. n.10, p.2043-2050, 2000.
- BEBÉ, F. V. et al. Avaliação de solo sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. n.13, p.781-187, 2009.
- CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo. 2009, 77 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, Relativas às Safras 1976/77 a 2014/15 de Grãos, 2001 a 2014 de Café, 2005/06 a 2014/15 de Cana-de-Açúcar**. Brasília. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Paginaobjcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 08, novembro, 2015.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. **Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata-doce**. **Seropédica**: Embrapa Agrobiologia, 6p. (Embrapa Agrobiologia, Comunicado técnico, 14), 1997.
- FAGERIA, N. K.; SOUZA, N. P. Resposta das culturas de arroz e feijão em sucessão a adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. n.30, p.359-368, 1995.

- FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p.
- FERREIRA, E. R. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. n.8, p.111-121, 2009.
- FERREIRA, E. S.; MONTEIRO, A. O. **Efeitos da vinhaça nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo**. n.37, p.3-7 (Boletim técnico Copersucar). 1987.
- GRAYSTON S. J.; VAUGHAN D.; JONES D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**. n.5, p.29-56. 1997.
- GUANZIROLI, C.E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez Anos de Evolução da Agricultura Familiar no Brasil: (1996 e 2006). Piracicaba: Revista de Economia e Sociologia Rural, vol. 50, n.2, p. 351-370. 2012. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, DPE, COAGRO. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Outubro 2016. Consultado em 28 de novembro de 2016.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; RIBEIRO, R. C. C. **Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto – breve síntese conceitual**. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.149-172. 2009.
- LEAL, R. M.; PRADO, R. M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. n.3, p.301-306. 2008.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **Potafos**, 1997, 201p.

- MATOS, M. A.; NINAUT, E. S.; CAIADO, R. A influência do câmbio na formação de preços do agronegócio. **Revista de Político Agrícola**. n.17, p.6-13. 2008.
- NEVES, O. S. C. et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5. 2005.
- OLIVEIRA, R. L. et al. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, n.33, p.113-119. 2009.
- PEREIRA, L. B. et al. Manejo de adubação na cultura do feijão em sistema de produção orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. n.45, p.29-38. 2015.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba: Degaspari. 2000, 477p.
- RAIJ, B V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC. 285p. (Boletim Técnico, 100). 1997.
- RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001, 285p.
- RIBEIRO, B. T. et al. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**. n.34, p.5-10. 2011.
- 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. p. 351-368. 1983.
- SILVA, D. R. G. et al. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.36. p.951-962. 2012.
- UFLA/UFV/Embrapa/Epamig. **Cultivar de feijão Talismã**. Sete Lagoas: UFLA/UFV/Embrapa/Epamig, 2002. Folder.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n.78, p.731-747. 2006.

- VIEIRA, N. M. B. et al. Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, n.32, p.1687-1693. 2008.
- VIEIRA, N. M.B. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes no feijoeiro cvs. BRS-MG talismã e ouro negro, em plantio direto e convencional**. 145p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

CAPÍTULO 3 – EFEITO DE REMINERALIZADOR, VINHAÇA E PLANTAS DE COBERTURA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E MACRONUTRIENTES DO SOLO

RESUMO

O trabalho objetivou avaliar alterações nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho, no qual o cultivo de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) se deu em sucessão a plantas de cobertura e de aplicação de vinhaça e um remineralizador (pó de basalto). O ensaio foi realizado em casa de vegetação, no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4x2, com três repetições, e amostragens em quatro épocas (0, 45, 90 e 110 dias). O primeiro fator foram doses de remineralizador (0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹ de pó de basalto). Os tratamentos pousio (controle) e plantas de cobertura - crotalária (*Crotalaria juncea* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e braquiária (*Urochloa cv. ruziziensis* Germain & Evrard) - representaram o segundo fator. O terceiro fator foi a aplicação ou não da vinhaça (200 m³ ha⁻¹ e 0 m³ ha⁻¹, respectivamente). Os atributos químicos analisados foram: matéria orgânica do solo (MOS), pH em CaCl₂, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), P, K, Ca e Mg. A utilização de remineralizador mostrou baixa resposta para as variáveis estudadas, com valores de pH, V e CTC inferiores aos iniciais. Plantas de cobertura não mostraram efeito significativo sobre pH e V, com uma pequena diminuição da H+Al, principalmente na braquiária. A aplicação da vinhaça proporcionou incrementos significativos aos atributos químicos V, pH e diminuição da H+Al. Os valores de pH aumentaram até os 45 dias de incubação (DAI), mas com o plantio de feijão diminuíram e ficaram próximos ao valor inicial. Por outro lado, H+Al diminuiu até a época de plantio do feijão, mas tendeu aos valores iniciais após os 45 DAI. O plantio de feijão também provocou diminuição de V. As interações mostraram pouco efeito das associações sobre as variáveis avaliadas, mas a associação de remineralizador com vinhaça destacou-se por seu efeito sobre as variáveis pH, H+Al e V. Conclui-se que vinhaça foi o fator que proporcionou maior efeito no

pH, na acidez potencial e na saturação por bases. A aplicação de vinhaça também foi o fator que mais influenciou as variações nos teores de macronutrientes do solo, que diminuíram em presença de vinhaça, com exceção do teor de K.

Palavras-chaves: *Crotalaria juncea*; *Pennisetum glaucum*; *Urocloa cv. ruziziensis*; pó de basalto.

EFFECT OF REMINERALIZING, VINASSE AND COVER PLANTS IN THE CHEMICAL SOIL ATTRIBUTES

ABSTRACT

The study aimed to evaluate changes in the chemical attributes of an Oxisol, in which the bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) occurred in succession to cover crops and the application of vinasse and remineralizing. The essay was conducted in a greenhouse and the experimental design was a randomized block in a factorial scheme 4x4x2, with three replications, and sampling in four times (0, 45, 90 and 110 days). The first factor were remineralizing rates (0, 2, 4 and 8 t ha⁻¹). The treatments without plants (control) and with the cover plants sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) and Congo grass (*Urocloa cv. ruziziensis* Germain & Evrard) accounted for the second factor. The third factor was the application or not of vinasse (200 m³ h⁻¹ and 0 m³ h⁻¹, respectively). The chemical attributes analyzed were: soil organic matter (MOS), pH in CaCl₂, potential acidity (H+Al), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC), bases saturation (V), P, K, Ca and Mg. The use of remineralizing showed low response to the studied variables, with pH, V and CTC lower than the initial values. Cover crops showed no significant effect on pH and V, with a small decrease in H+Al, with emphasis on the effects of Congo grass. The application of vinasse provided significant increases on chemical attributes V, pH and decreased H+Al. Although higher values observed in treatments with vinasse, all variables were below the baseline as exception of H+Al. The pH values increased until 45 days of incubation (DAI), but with bean cultivation the pH decreased and was close to its initial value. On the other

hand, the H+Al decreases until sowing of the beans, but has tended to baseline after 45 DAI. The bean cultivation also caused decrease of V. Interactions showed little effect of the associations of the variables, but the association of remineralizing and vinasse stood out for its effect on the variables pH, H + Al and V. It is concluded that vinasse was the factor that gave greater effect on pH, potential acidity and bases saturation. The vinasse application was the most influential factor on the macronutrientes of the soil, presenting smaller concentrations of those in the soil when applied, except for K.

Keywords: *Crotalaria juncea*; *Pennisetum glaucum*; *Urochloa cv. ruziziensis*; basalt powder.

3.1. INTRODUÇÃO

A elevada dependência da agropecuária brasileira por insumos sintéticos a torna vulnerável à variação de preços desses insumos e conseqüentemente onera o custo de produção e limita a produtividade das culturas. A agropecuária brasileira importa cerca de 70% do total dos fertilizantes empregados como fontes de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (RODRIGUES et al., 2010). Nos dez primeiros meses de 2016, o Brasil importou cerca de 19,9 milhões de toneladas fertilizantes intermediários alcançaram, 19.910 mil toneladas nos dez primeiros meses de 2016², indicando aumento de 11,1% em relação ao mesmo período de 2015, quando foram descarregados pelos portos brasileiros 17.914 mil toneladas (ANDA, 2016).

Visando diminuir a dependência nacional de fertilizantes sintéticos, pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de avaliar o efeito de remineralizadores em solos (RIBEIRO et al., 2010; MELO et al., 2012; SILVA et al., 2012). Melo et al. (2012) avaliaram o efeito da aplicação de diferentes doses de basalto moído, com 3% de composto orgânico, sobre a concentração de nutrientes do solo, ao longo do tempo, e sua disponibilidade para culturas.

² Dados preliminares, segundo ANDA (2016).

Os autores observaram que a utilização do remineralizador reduziu a acidez ativa e promoveu aumento nos teores de Ca, Mg, Zn, Fe e Cu. Esses autores concluíram que o pó de basalto pode ser considerado fonte alternativa de fertilizante e corretivo do solo.

Apesar dos resultados promissores, algumas limitações dificultam o uso da remineralização como fonte alternativa para fertilização de solos. Uma delas é a baixa taxa de alteração de minerais contidos no remineralizador, o que dificulta a disponibilização rápida de nutrientes para suprir as exigências das culturas, principalmente de plantas de ciclo curto. Devido a esse fato, algumas vezes usam-se grandes quantidades de remineralizador. Por exemplo, Guelfi-Silva et al. (2013), avaliando o efeito de diferentes rochas na adubação potássica de alface, testaram doses de 0, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de K₂O, o que implicou na aplicação de doses de até 43 t ha⁻¹ de remineralizador.

As alterações de minerais dependem de sua natureza, da composição, do pH e da concentração dos reagentes envolvidos e de condições que controlam o equilíbrio no sistema, como pressão e temperatura (KÄMPF et al., 2009). Assim, uma alternativa no manejo da adubação de solos com remineralizador é o uso de materiais que modifiquem o pH do meio. Isto porque a alteração de minerais se dá principalmente por hidrólise, que é controlada pelas reações ácido-base e pelas ligações oxigênio-metal, que provocam adsorção de íons H⁺ e OH⁻ nas superfícies minerais (RIBEIRO et al., 2010).

Plantas de cobertura podem ser associadas à remineralizadores para modificar a taxa de alteração de minerais porque estimulam a ação de microrganismos solubilizadores e liberam exsudados radiculares capazes de modificar o pH da rizosfera (ESPINDOLA et al., 1997; GRAYSTON et al., 1997). Por outro lado, ensaios com misturas de remineralizador e vinhaça podem acelerar a alteração de minerais, conforme constataram Lopes et al. (2014).

O trabalho objetivou avaliar as alterações nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho, retirado de área sob cultivo convencional, cultivado com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em sucessão a plantas de cobertura e à aplicação de vinhaça e pó de basalto.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de maio a janeiro de 2015, em casa de vegetação, no município de Araras (SP). Amostras de um Latossolo Vermelho, com textura argilosa, foram coletadas em Araras, SP, em área sob cultivo convencional, na profundidade de 20 a 40 cm. O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com abertura de 2 mm, homogeneizado e colocado em vasos de polietileno na quantidade de 4,5 dm³. Concomitantemente, foram coletadas amostras de solo que foram analisadas pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Plantas do *Campus* de Araras da UFSCar, para a determinação dos atributos químicos e físicos (Tabela 3), conforme metodologias propostas por Raij et al. (2001). Esses resultados corresponderam ao tempo inicial na análise dos resultados obtidos.

O remineralizador (pó de basalto) foi coletado em Cordeirópolis (SP), peneirado em peneira de 0,3 mm e caracterizado quimicamente por espectrometria de massa com fonte de plasma induzido e espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma induzido (Tabela 3). A vinhaça de mosto de melaço foi coletada em uma usina de produção de açúcar e álcool no município de Pirassununga (SP) e caracterizada quimicamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Características químicas do Latossolo Vermelho argiloso, do remineralizador, constituído de pó de basalto, e da vinhaça, utilizados em experimento com plantas de cobertura e cultivo de feijoeiro.

Solo								
pH	MO	P	K	Ca	Mg	CTC	H + Al	V
(CaCl ₂)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³		%
5,4	37	19	5,4	72	14	118,9	28	76
Remineralizador (pó de basalto)								
K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	
%								
0,84	10,16	6,91	0,09	50,31	13,94	12,63	2,24	
Vinhaça								
pH	C	N	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₄	
kg m ⁻³								
4	4,80	0,50	3,25	10,92	1,24	0,117	2,58	

O delineamento experimental foi de blocos casualizados e os tratamentos foram distribuídos em arranjo fatorial 4x4x2, sendo quatro doses de remineralizador (0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹ de pó de basalto), quatro tipos de cobertura – pousio, crotalária (*Crotalaria juncea* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e braquiária (*Urochloa cv. ruziziensis* Germain & Evrard) – e, como solvente, duas doses de vinhaça (0 m³ ha⁻¹ e 200 m³ ha⁻¹), com três repetições.

O remineralizador foi misturado a 4,5 dm³ de solo e acrescentados aos vasos completando o volume de 5 dm³. Em seguida, aplicou-se vinhaça conforme os tratamentos. A quantidade total de Ca, Mg, K, P e C adicionada por vaso, para cada tratamento, encontra-se indicada na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de Ca, Mg, K, P e C (em g vaso⁻¹) adicionados aos tratamentos com dose de remineralizador (PB)¹ e vinhaça (V)².

Tratamento	Ca	Mg	K	P	C
	g vaso ⁻¹				
PB 0 x V 0	0	0	0	0	0
PB 2 x V 0	0,029	0,166	0,027	0,0015	0
PB 4 x V 0	0,058	0,332	0,055	0,0031	0
PB 8 x V 0	0,116	0,664	0,111	0,0062	0
PB 0 x V 200	6,239	0,598	2,158	0,0408	3,84
PB 2 x V 200	6,268	0,764	2,185	0,042	3,84
PB 4 x V 200	6,297	0,930	2,213	0,043	3,84
PB 8 x V 200	6,355	1,262	2,269	0,047	3,84

Remineralizador (PB) = 0, 2, 4 e 8 toneladas por hectare de pó de basalto; ²Vinhaça (V) = 0 e 200 m³ por hectare.

A umidade do solo nos vasos foi mantida a 70% da capacidade de campo durante todo o experimento. A determinação da umidade na capacidade de campo do solo foi realizada com amostras deformadas, com 500g cada. Inicialmente, as amostras foram mantidas em estufa a 105 °C, por 48 horas, até obter massa constante. Em seguida, essas amostras foram colocadas em um funil (feito de garrafa pet cortada) com um filtro de papel, para não deixar passar material de solo. Posteriormente, aplicou-se água em quantidade suficiente para encharcar o material de solo e o funil foi coberto com filme plástico para evitar a evaporação da água. Esperou-se parar de pingar a água do solo; quando isto aconteceu pesou-se o solo úmido. Fez-se a média do peso do solo úmido das três amostras. A quantidade de água retida, ou umidade na capacidade de campo (Wcc), foi dada por:

$$Wcc (g) = Pa (\text{peso da amostra úmida}) - Ps (\text{peso da amostra seca}).$$

Como o valor Pa correspondia ao solo na capacidade de campo (100 % de umidade sem drenagem), aplicou-se em cada vaso uma quantidade de água, em gramas, de forma a alcançar 0,7 x Pa.

As plantas de cobertura foram semeadas sete dias após a incubação do remineralizador e da vinhaça, na proporção de 25 kg ha⁻¹ de crotalária, 14 kg ha⁻¹ de milheto e 16 kg ha⁻¹ de braquiária. As plantas de cobertura foram mantidas até os 45 dias após emergência (DAE) e posteriormente cortadas

rentes ao solo. Realizou-se então o semeio em cada vaso de 10 sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. BRS Talismã. O desbaste foi realizado no estágio V2 (desdobramento das folhas primárias), mantendo-se duas plantas por vaso até o fim do experimento.

As amostras de solo foram coletadas aos 45, 90 e 110 dias após a incubação (DAI) nos primeiros 10-15 cm de profundidade com auxílio de uma espátula. Foram retirados de 150-200 g de material de solo por vaso.

Os parâmetros analisados nas amostras foram o pH, teores de matéria orgânica do solo (MO), Ca, Mg, K e P, acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V). O pH foi determinado potenciométricamente em CaCl_2 . A determinação da MOS foi feita pelo método volumétrico com dicromato de sódio e determinação em fotocolorímetro. As extrações de Ca, Mg, K e P forma realizadas por meio de resina trocadora de íons. O P, Ca e Mg trocáveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o K trocável por fotometria de emissão de chama. O H+Al foi determinado por meio do tampão SMP (Shoemaker, Mclean e Pratt) e leitura direta em pHmetro. Todas as análises serão feitas conforme Raji et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculados os valores de CTC, dada pela soma dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) com a acidez trocável (H+Al) e de V, expressa em porcentagem, dada pela soma dos cátions trocáveis dividido pela CTC.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) ou por análise de regressão, sendo ajustadas equações significativas a 5% de probabilidade, de acordo com o teste t, com os maiores coeficientes de determinação.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Atributos químicos

O resumo da análise de variância conjunta para os atributos químicos do solo encontra-se na Tabela 5. Conforme Pimentel Gomes (2000), H+Al, CTC e V apresentaram CVs baixos (<10%) e pH e MO tiveram CVs médios (situados entre 10 e 20%) (Tabela 5), podendo-se afirmar que a precisão experimental foi adequada.

Observou-se efeito significativo do remineralizador (F1) sobre todos os atributos com exceção de MO, como esperado; dos tipos de cobertura (F2) e da vinhaça (F3) sobre pH, H+Al e V; e do tempo (F4) sobre todos os atributos químicos do solo (Tabela 5). Houve interação quádrupla significativa para pH, H+Al e V enquanto a interação tripla F1xF3xF4 foi significativa para CTC. MO apresentou interação significativa para F2xF4 e F3xF4. Dois atributos (H+Al e V) apresentaram efeito significativo de todos os fatores e suas interações (Tabela 5).

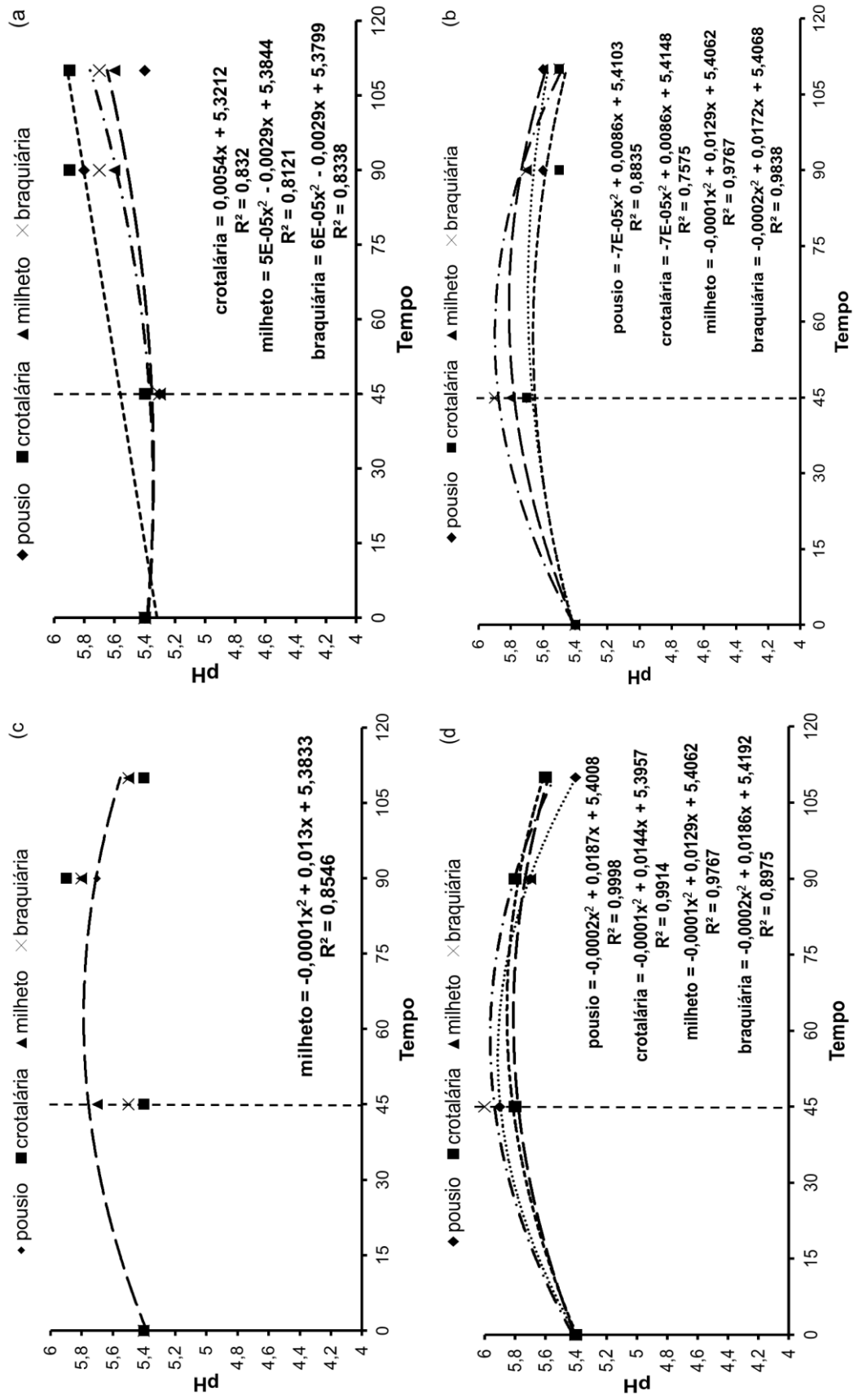
Tabela 5 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F (Pr>F) e coeficiente de variação (CV) para atributos químicos do solo, cultivado com feijoeiro cultivar Talismã, cultivado em sucessão a remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça, em casa de vegetação no município de Araras (SP).

Fontes de variação	F1	F2	F3	F4	F1xF2	F1xF3	F1xF4	F2xF3	F2xF4	F3xF4	F1x2x3	F1x2x4	F1x3x4	F2x3x4	F1x2x3x4
GL	3	3	1	2	9	3	6	3	6	2	9	18	6	6	18
pH															
QM	0,18	0,04	3,44	0,29	0,01	0,12	0,18	0,006	0,017	1,00	0,039	0,018	0,076	0,019	0,020
F	16,11	4,45	307,19	25,97	0,93	10,86	16,76	0,55	1,54	89,45	3,54	1,65	6,83	1,70	1,78
Pr>F	**	**	**	**	ns	**	**	ns	ns	**	**	ns	**	ns	*
CV (%)	15,04														
H+Al															
QM	189,62	47,94	1657,92	42,10	22,25	51,01	143,24	17,83	8,92	431,92	28,86	15,53	55,85	16,96	18,21
F	46,00	11,63	402,25	10,21	5,39	12,37	34,75	4,32	2,16	104,79	7,00	3,76	13,55	4,11	4,41
Pr>F	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	7,67														
M.O.															
QM	6,70	10,14	1,53	197,51	17,76	3,08	32,99	24,37	39,89	77,46	13,78	18,18	24,27	6,53	16,02
F	0,50	0,76	0,11	14,91	1,34	0,23	2,49	1,84	3,01	5,84	1,04	1,37	1,83	0,49	1,20
Pr>F	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	12,08														
CTC															
QM	155,57	13,03	2,04	701,48	117,03	85,44	583,41	35,77	94,39	18,30	63,76	41,84	134,83	75,31	45,41
F	3,91	0,32	0,05	17,64	2,94	2,14	14,67	0,89	2,37	0,46	1,60	1,05	3,39	1,89	1,14
Pr>F	**	ns	ns	**	**	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	6,91														
V%															
QM	202,53	49,80	1940,20	134,58	16,28	46,29	47,80	14,48	14,38	505,35	27,96	18,63	77,14	30,11	17,23
F	39,77	9,78	381,06	26,43	3,19	9,09	9,39	2,84	2,82	99,25	5,49	3,65	15,15	5,91	3,38
Pr>F	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	**	**	**	**
CV (%)	3,18														

F1= remineralizador constituído de pó de basalto; F2 = tipo de cobertura; F3 = vinhaça; F4 = tempo. **, * significativo a 1% e a 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F; ns não significativo pelo teste F.

Os desdobramentos das interações quádruplas observadas no pH, (Figura 9), na acidez potencial (Figura 10) e no valor V (Figura 11) revelaram que as plantas de cobertura tiveram comportamento diferenciado em relação à aplicação do remineralizador e da vinhaça. Cabe salientar que algumas equações ajustadas apresentaram R^2 muito baixo, atendendo a menos de 50% da interação observada. Assim, serão discutidas essas interações entre fatores e as variações no pH, na acidez potencial e no valor V serão analisadas considerando isoladamente cada um dos fatores - doses de remineralizador (F1), tipos de cobertura (F2), presença ou ausência de vinhaça (F3) e tempo (F4). Em seguida serão analisados os desdobramentos da interação tripla observada na CTC e das interações duplas observadas no conteúdo de MO.

O parâmetro pH variou em relação dos fatores avaliados. A elevação do pH está relacionada com a adição de material orgânico, a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica e o aumento das bases trocáveis. Com isso, o remineralizador, plantas de cobertura e vinhaça seriam fatores que influenciariam o pH por conter elementos trocáveis (K, Ca e Mg) e ou MO. Na ausência de vinhaça (Figuras 1a, c, e, g), as doses de remineralizador, não provocaram mudanças expressivas no pH do solo, que teve seu máximo em torno dos 45 DAI, quando se deu o cultivo de feijão. Por outro lado, houve efeito sobre o pH quando as doses de remineralizador foram associadas ao cultivo de plantas de cobertura, principalmente crotalária. A crotalária se destacou também quando cultivada isolada dos demais fatores, proporcionando maior variação no pH e o maior valor de pH ao final do experimento, com valor de 0,6 acima ao do pousio. Fabian (2009), avaliando a influência de crotalária, milheto e braquiária, em rotação com culturas de milho e soja, também constatou maior pH no tratamento com crotalária. A adição de vinhaça no solo, que contém teores elevados de K, Ca, Mg e MO, aumentou o pH do solo com elevação máxima em torno de 60 DAI, nos tratamentos com doses de 0 e 2 t ha⁻¹ de remineralizador (Figuras 1b, d) e em torno de 70 DAI, nos tratamentos com doses de 4 e 8 t ha⁻¹ de remineralizador (Figuras 2f, h).



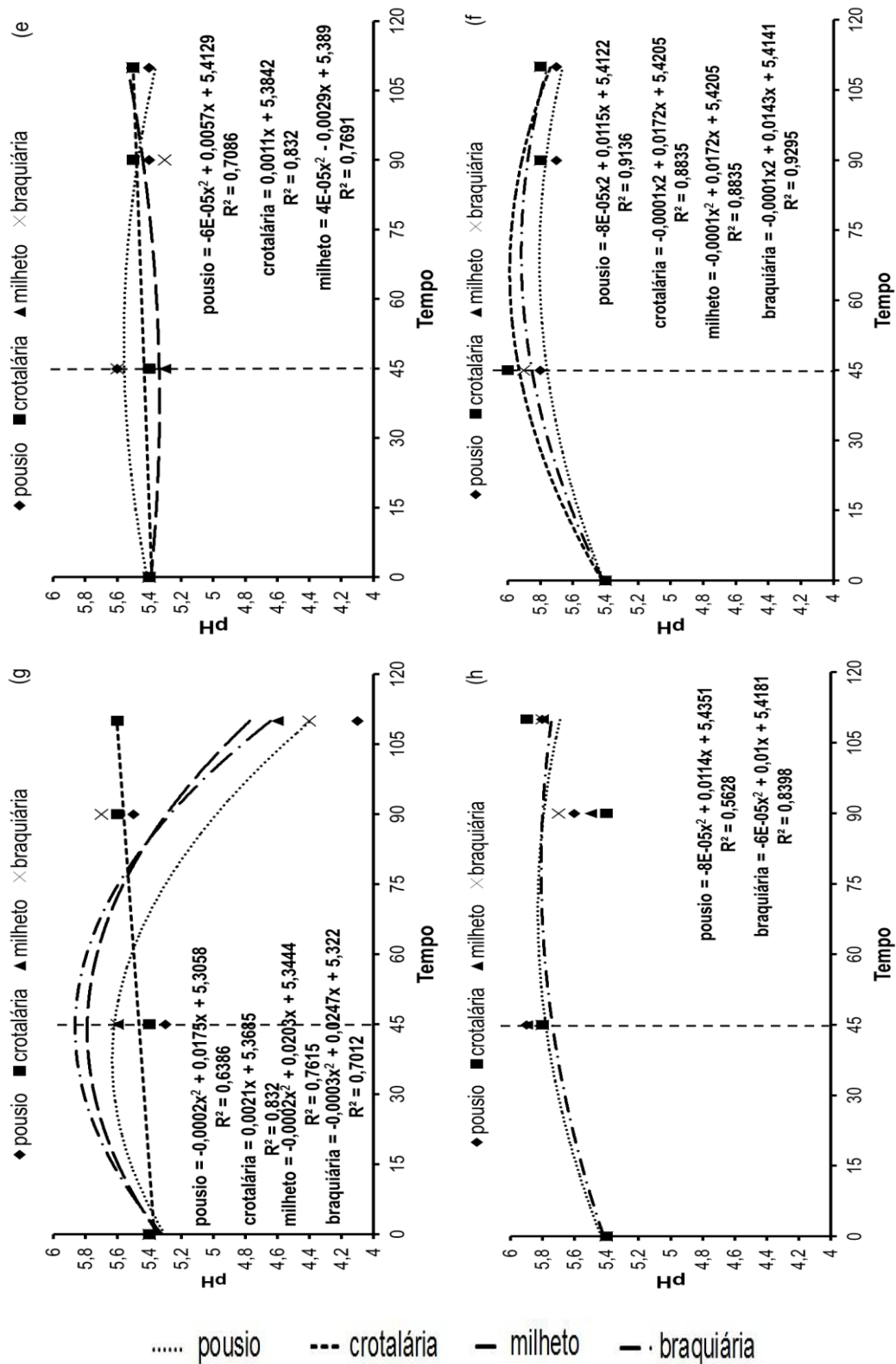
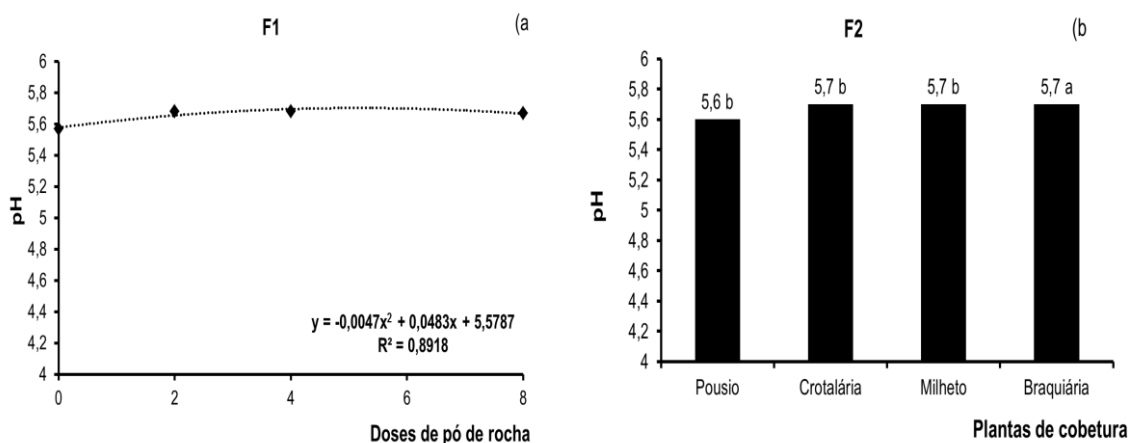


Figura 9: pH em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo (F1x F2x F3x F4): a) sem

remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

A análise isolada dos quatro fatores estudados revelou que doses de remineralizador e tipos de plantas de cobertura (Tabela 5) proporcionaram variações discretas no pH do solo (Figuras 10 a,b). Por outro lado, a presença da vinhaça proporcionou um aumento médio do pH de 5,5 para 5,8 (Figura 10c). A variação média ao longo do tempo evidenciou um aumento do pH até os 60 DAI, permanecendo estável até cerca de 90 DAI (Figura 10d). A elevação do pH, mesmo que mínima, está ligada a adição de material orgânico e à ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica, neutralizando a acidez do meio (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007). O aumento do pH também está relacionado com aumento das bases trocáveis (VON FRAGSTEIN et al., 1988; BEBÉ et al., 2009).



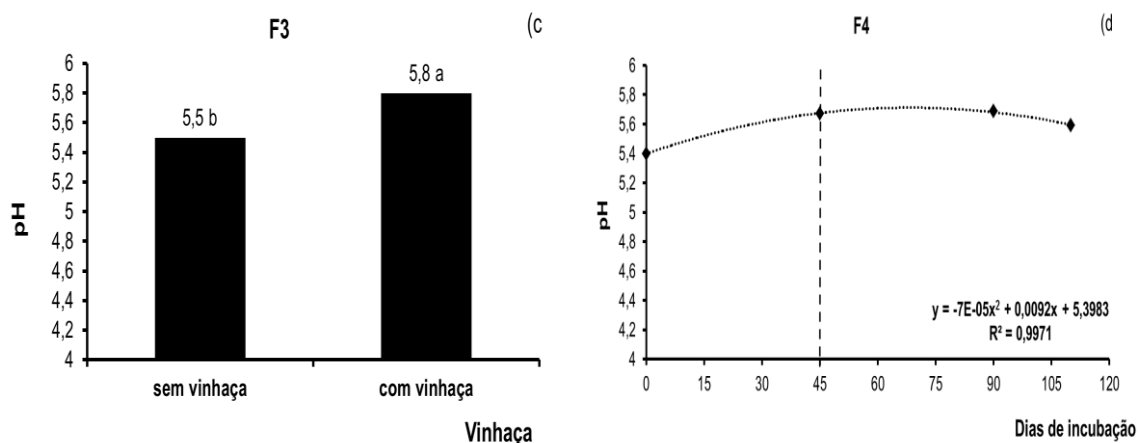
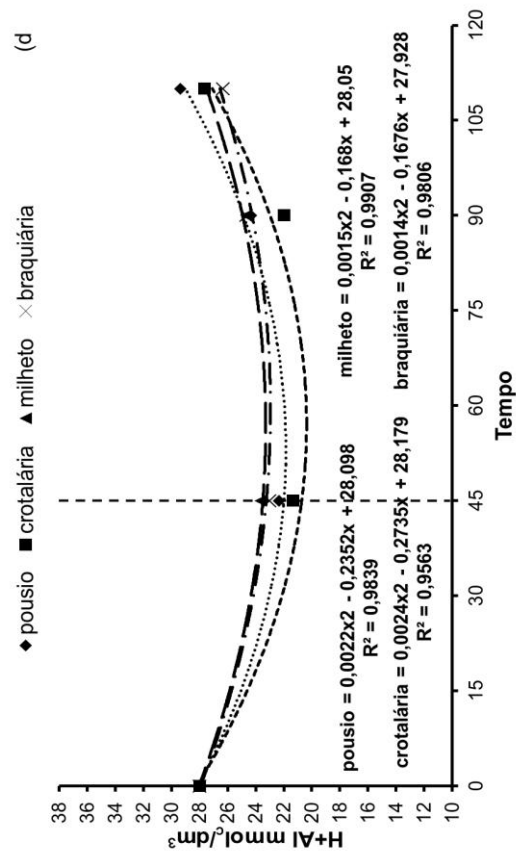
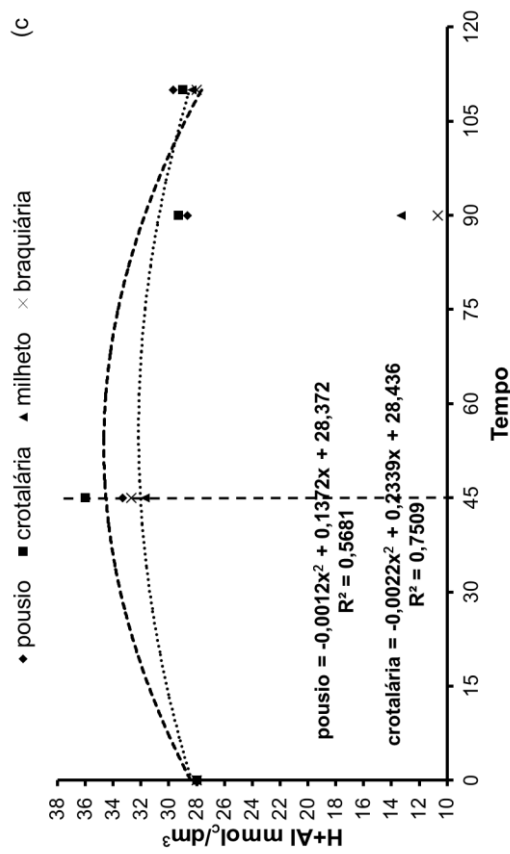
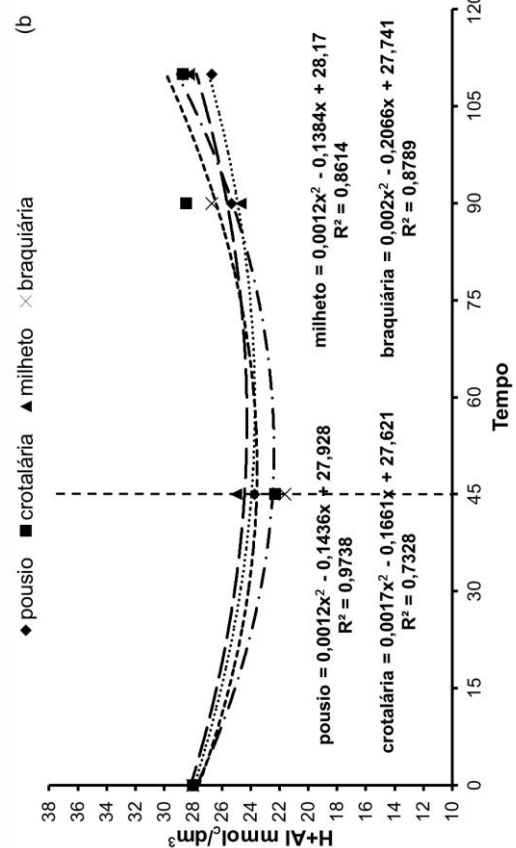
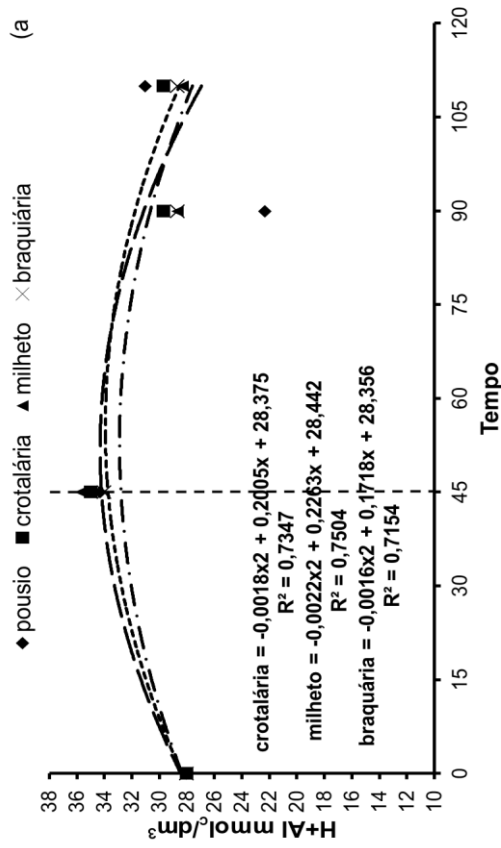


Figura 10: Valores de pH em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função de: a) doses de remineralizador (F1), b) plantas de cobertura (F2), c) vinhaça (F3), e d) tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

A acidez potencial pouco variou em relação aos fatores doses de remineralizador e plantas de cobertura avaliados, com um leve aumento nas maiores doses de remineralizador. Lopes (2013), usando pó de basalto e material de solo de procedências similares aos deste trabalho, atribuiu o pequeno aumento da acidez potencial observado no início do experimento à liberação de Al^{3+} devido à alteração de silicatos do pó de rocha. Já com a aplicação de vinhaça e remineralizador (Figuras 11b, d, f, h), houve tendência de diminuição da acidez potencial até cerca de 45 DAI. Melo et al. (2012) constataram redução da acidez potencial consistente com o aumento de doses de remineralizador aos 60 dias de incubação, ao contrário do Escosttegy e Klamt (1998), que observaram elevação do H+Al a partir dos 30 dias de incubação de pó de basalto.



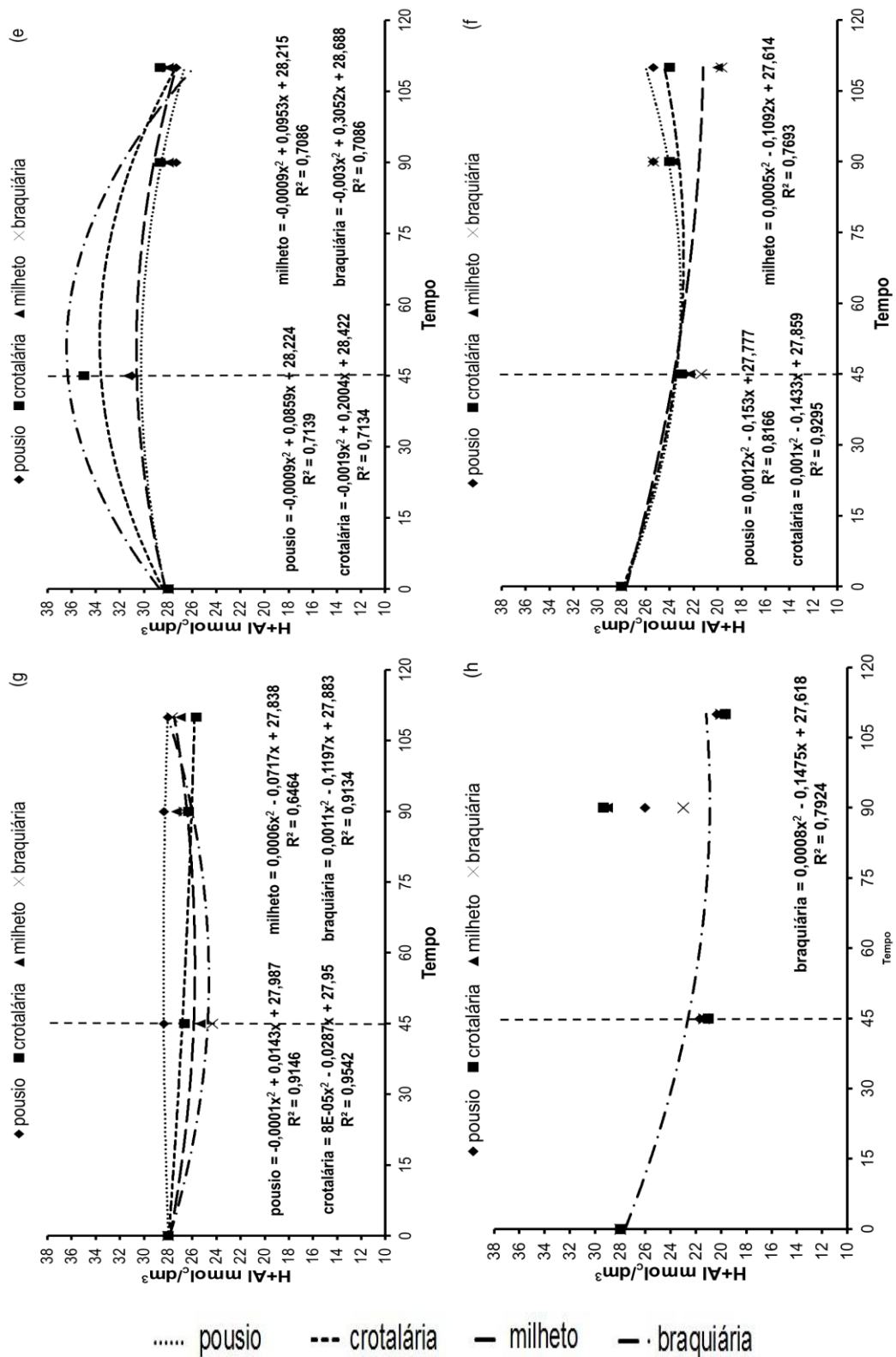


Figura 11: Acidez potencial em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo

(F1x2x3x4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

A análise isolada (Figura 12) mostrou que a aplicação de remineralizador proporcionou diminuição da acidez potencial, com efeito discreto das doses (Figura 12a). Por outro lado, os tipos de plantas de cobertura (Figura 12b) não proporcionaram mudanças importantes na acidez potencial do solo, possivelmente devido ao curto tempo de cultivo das mesmas. O fator vinhaça foi o que apresentou um efeito mais acentuado na acidez potencial quando comparado com o valor inicial (Tabela 5). A presença da vinhaça proporcionou uma queda da acidez potencial (Figura 12c) e a variação média ao longo do tempo evidenciou uma pequena diminuição durante o período de cultivo das plantas de cobertura, até os 45 DAI, permanecendo estável até cerca de 90 DAI (Figura 12d).. Lopes (2013), usando remineralizador e material de solo de procedências similares aos deste trabalho, também constatou pequena variação da acidez potencial ao longo do tempo, com queda até os 30 dias de experimento e atribuiu o pequeno aumento da acidez potencial no início do experimento à liberação de Al³⁺ devido à alteração de silicatos do remineralizador.

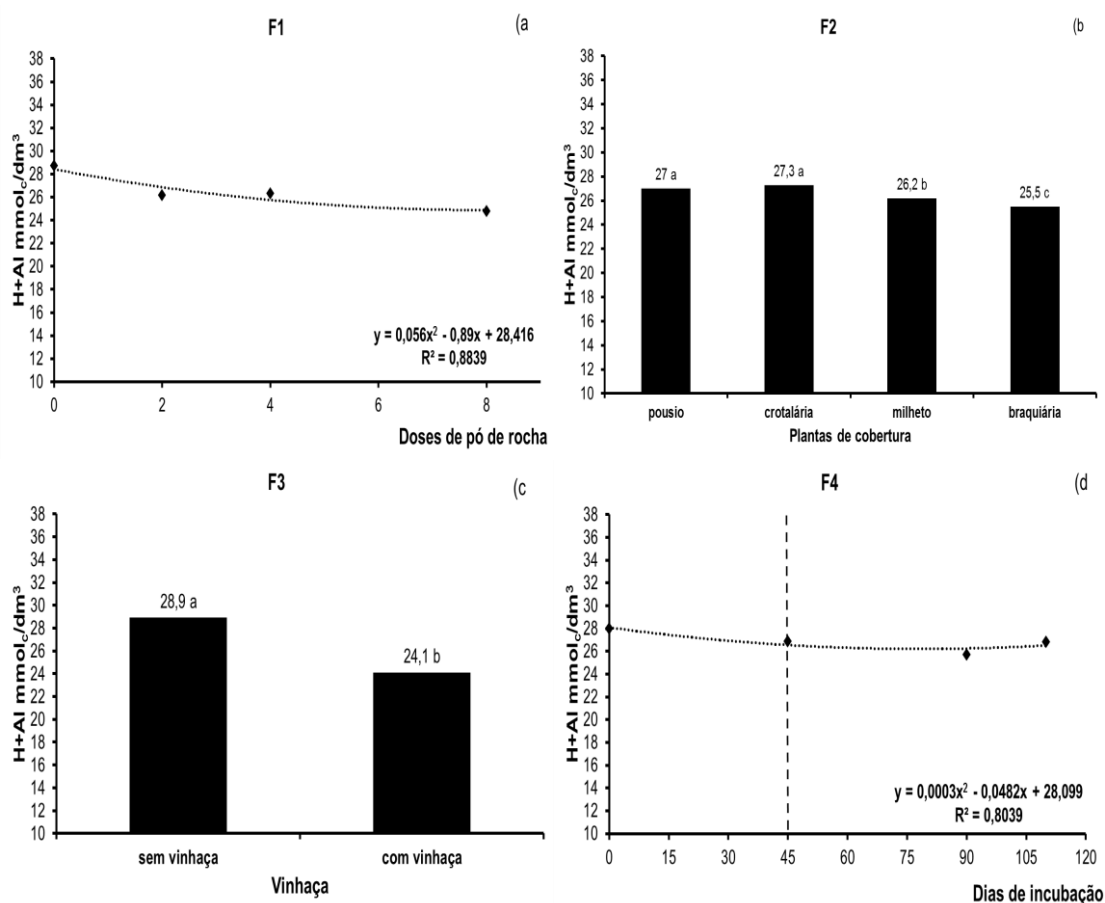
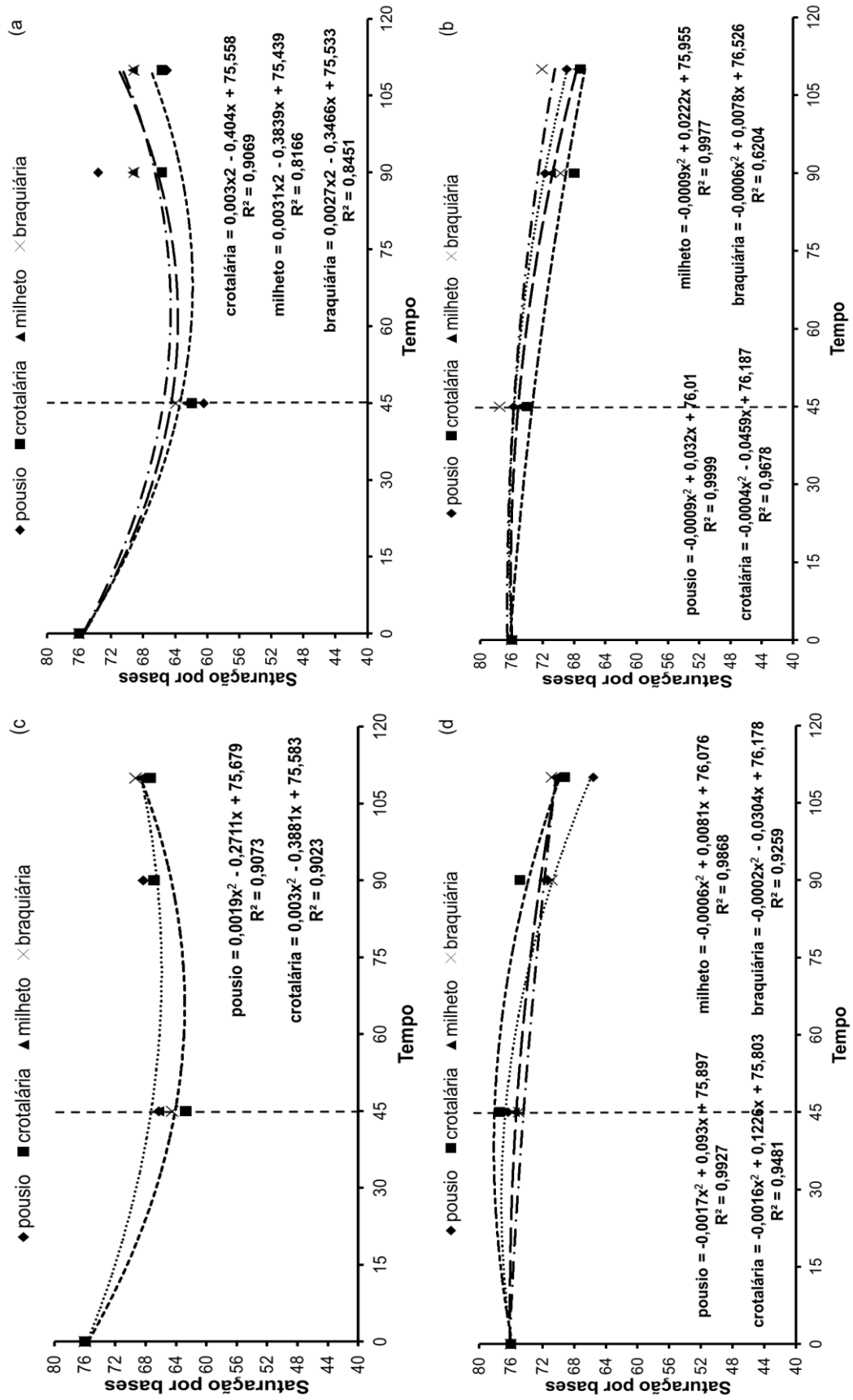


Figura 12: Acidez potencial em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função de: a) doses de remineralizador (F1), b) plantas de cobertura (F2), c) vinhaça (F3), e d) tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

No tratamento controle (Figura 13a), todas as plantas mostraram diminuição da saturação por bases até cerca de 45 DAI, com destaque para crotalária e pousio. Nos tratamentos sem vinhaça, o valor V apresentou diminuição até os 45 DAI com tendência de aumento após essa data (Figuras 13 c, e). A aplicação de doses crescentes de remineralizador e de vinhaça provocou uma diminuição na saturação por bases menos acentuada do que a observada no controle (Figura 13 b), e essa diminuição foi tanto menor quanto maior a dose de remineralizador (Figuras 13 d, f, h).



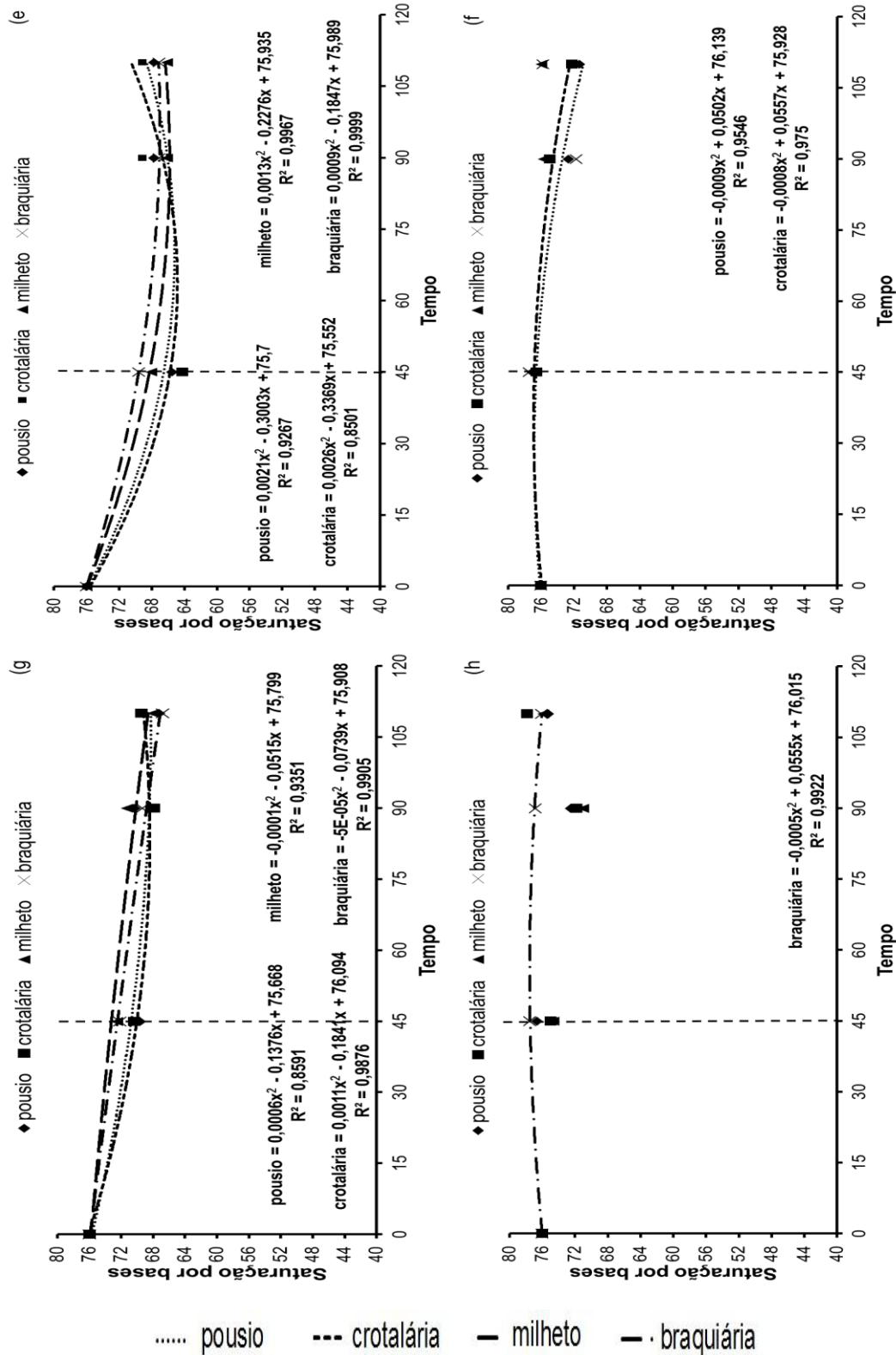


Figura 13: Saturação por bases em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo

(F1xF2xF3xF4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ de remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ de remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ de remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

A análise isolada do efeito de cada fator sobre a saturação por bases (Figuras 14) foi significativa apenas para doses de remineralizador e de vinhaça. As doses de 2 t ha⁻¹ e 8 t ha⁻¹ de remineralizador proporcionaram um aumento de 2,7% e de 3,8% no valor V, respectivamente. Doses crescentes de remineralizador pouco variaram sob o valor V (Figura 14a), indicando que houve pouca disponibilização de bases ao solo pela aplicação do pó de basalto. O cultivo de plantas de cobertura também mostrou uma pequena variação na comparação com o controle (pousio), sem resultado expressivo que evidencie o efeito de determinada planta de cobertura sobre a saturação por bases, apesar da superioridade da gramíneas (Figura 14 b). A vinhaça proporcionou ligeiro aumento da saturação por base (Figura 14 c) em relação ao valor inicial (Tabela 3). Houve diferença significativa com a presença da vinhaça, que proporcionou um aumento médio de 5% no valor de V, quando comparado aos tratamentos sem vinhaça (Figura 14c). A saturação por bases apresentou valores inferiores aos iniciais, diminuindo ao longo do ensaio (Figura 14 d), possivelmente pelo consumo de bases pelas plantas de cobertura e pelo cultivo do feijoeiro.

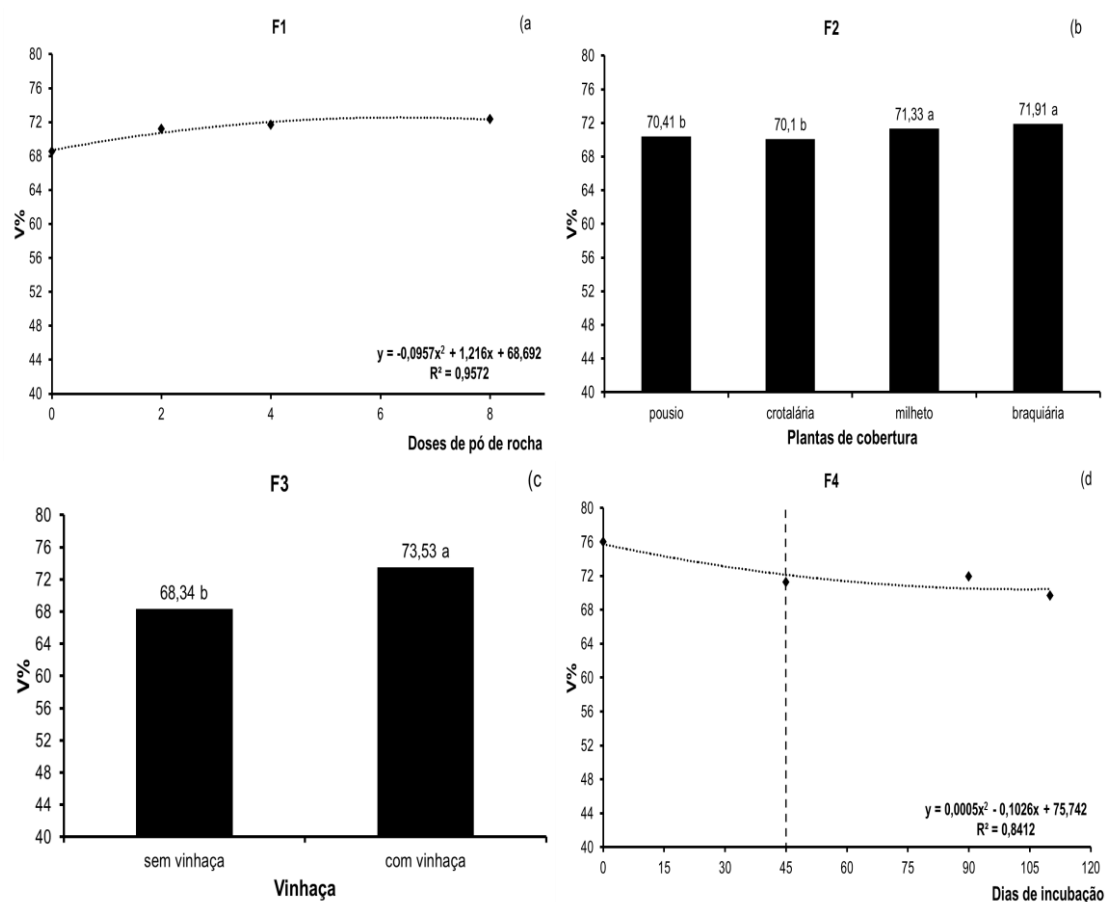


Figura 14: Saturação por bases em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) doses de remineralizador (F1), b) tipos de plantas de cobertura (F2), c) presença e ausência de vinhaça (F3), e d) tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

O desdobramento da interação tripla significativa entre os fatores remineralizador (F1), vinhaça (F3) e tempo (F4) para capacidade de troca de cátions (CTC) mostrou que este atributo diminuiu ao longo do tempo, em relação ao valor inicial, em todas as doses de remineralizador e independentemente da presença ou não de vinhaça (Figura 15). A análise isolada de F1 (Figura 16) revelou que neste ensaio a dose de 4 t ha⁻¹ proporcionou uma CTC significativamente maior do que as demais doses aplicadas, mas ainda assim inferior à CTC inicial do solo. Esses resultados concordam com os observados por Escosteguy e Klamt (1998) que constataram que os acréscimos para CTC não foram suficientes para modificar

a interpretação dos valores previamente existentes nestes solos, quando utilizaram doses de 50 e de 100 t ha⁻¹ de remineralizador.

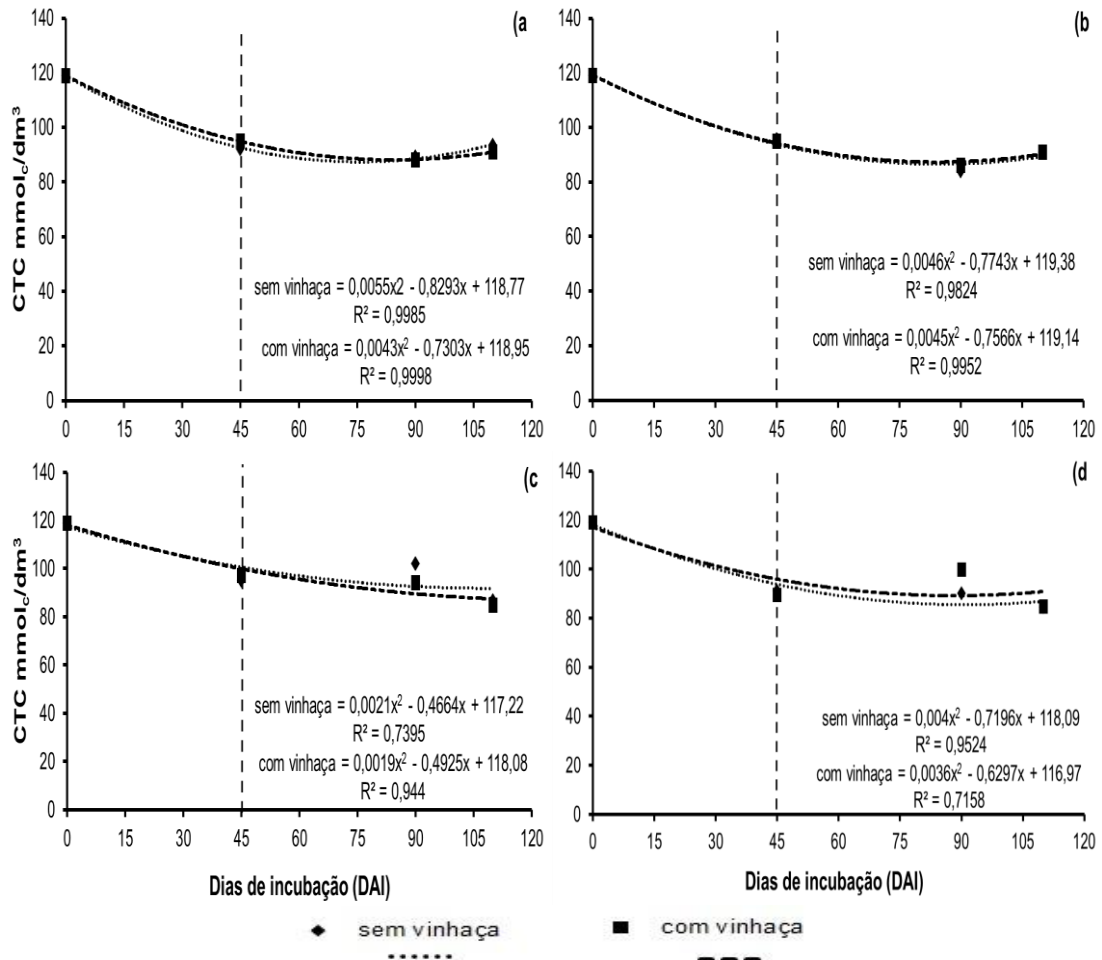


Figura 15: Capacidade de troca de cátion em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, vinhaça e tempo (F1xF3xF4): a) 0 t ha⁻¹ de remineralizador, b) 2 t ha⁻¹ de remineralizador, c) 4 t ha⁻¹ de remineralizador, e d) 8 t ha⁻¹ de remineralizador. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

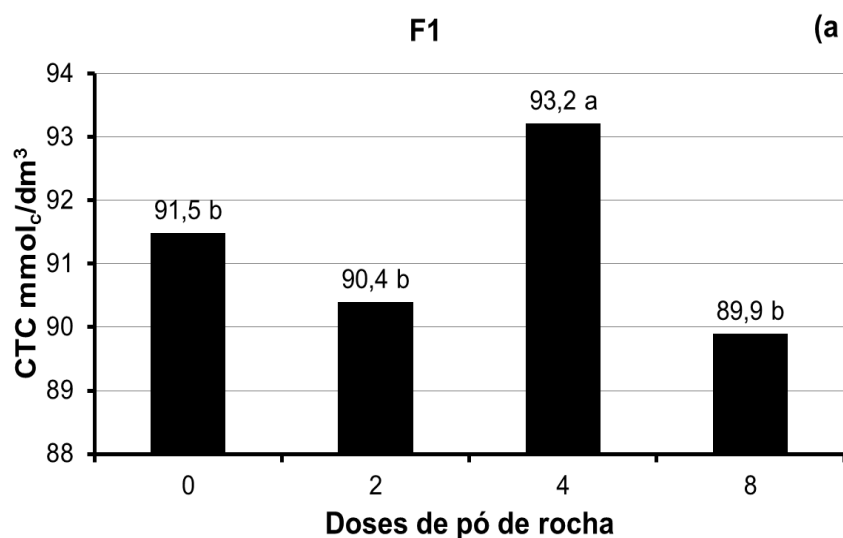


Figura 16: Capacidade de troca de cátions em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função de doses de remineralizador (F1).

A MO foi o único atributo que não apresentou efeito significativo do remineralizador (F1) e mostrou interação significativa apenas para plantas de cobertura e tempo (F2xF4) e vinhaça e tempo (F3xF4) (Figura 17). Em todos os tratamentos houve diminuição do teor de MO inicial, de 37 g dm⁻³ (Figura 17). Apesar da significância estatística dos resultados indicando o efeito de plantas de cobertura e vinhaça ao longo do tempo, os teores de C orgânico do solo não foram influenciados por estes tratamentos. A queda dos teores de matéria orgânica já era esperada com utilização de amostras de solo deformadas, que acelera o consumo de matéria orgânica devido a maior exposição aos microrganismos (HOUGHTON; SKOLE; FEFKOWITZ, 1991). A elevação dos níveis de matéria orgânica do solo se dá pela incorporação de quantidades muito elevadas de resíduos orgânicos, uma vez que 60-80% do carbono adicionado se perde na forma de CO₂ (FERREIRA et al., 2009).

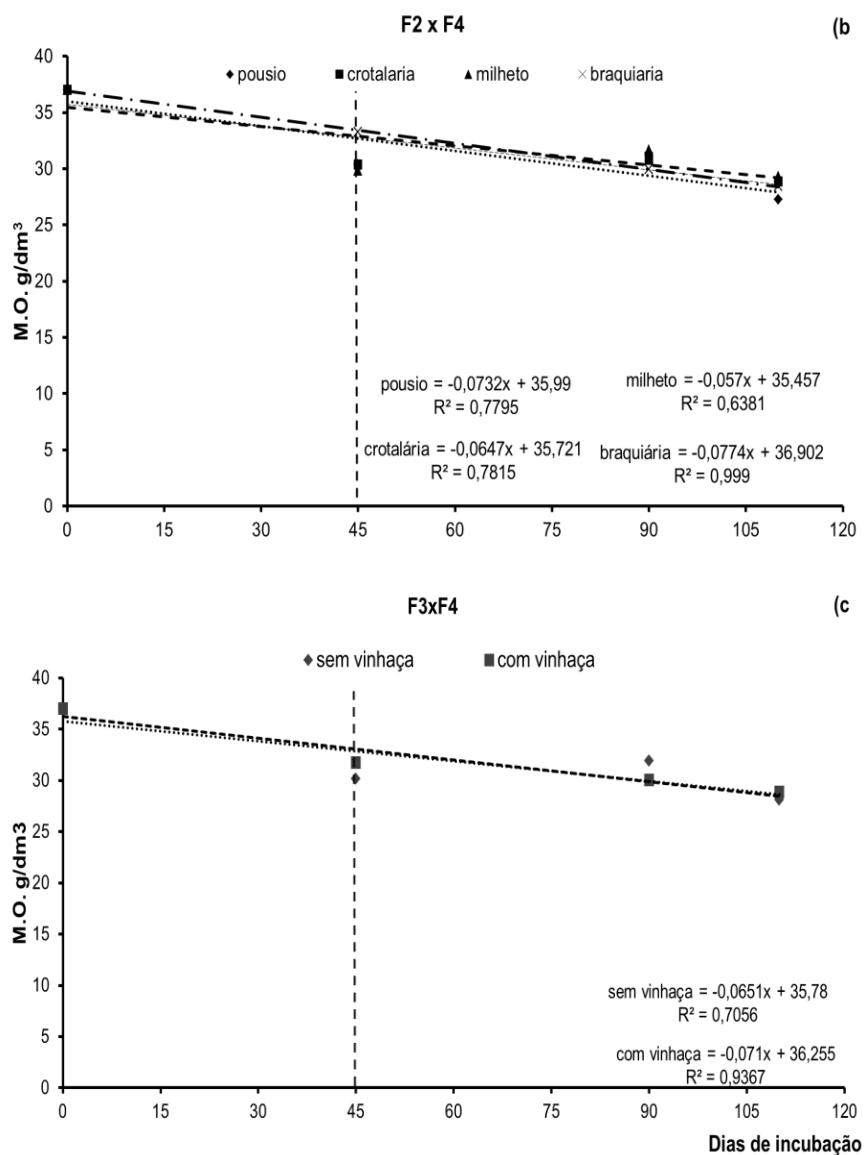


Figura 17: Teor de matéria orgânica em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) plantas de cobertura e tempo (F2xF4), b) vinhaça e tempo (F3xF4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

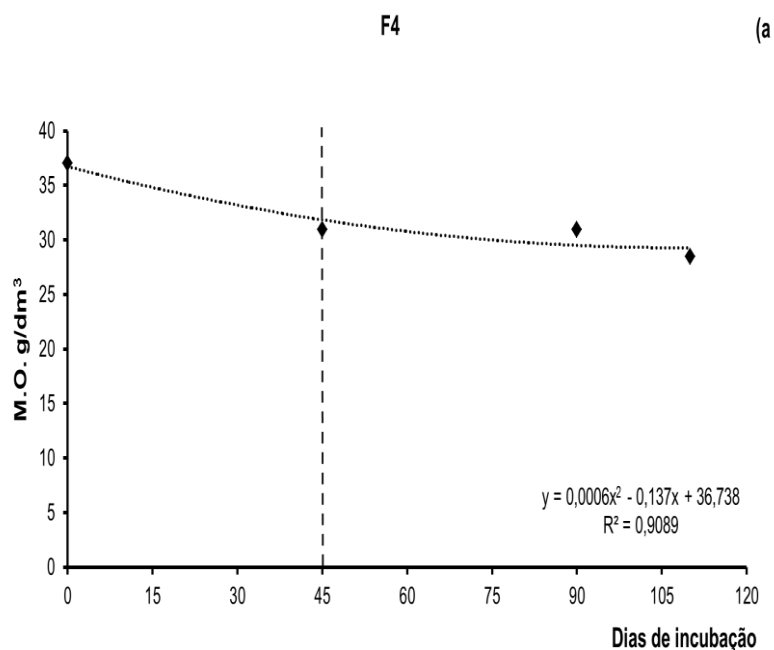


Figura 18: Teor de matéria orgânica em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função do tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

3.3.2 Macronutrientes

O resumo da análise de variância conjunta para os teores de macronutrientes P, K, Ca e Mg encontra-se na Tabela 6. Observou-se efeito significativo do remineralizador (F1) sobre todos os macronutrientes, com exceção do P que se encontra em pequena quantidade no remineralizador (Tabelas 3 e 4). O fator vinhaça (F3) e o fator tempo (F4) tiveram efeito altamente significativo sobre todos os macronutrientes avaliados no presente trabalho. As interações F1xF4, F3xF4 e F1xF3xF4 foram significativas para todos os nutrientes avaliados e a interação quádrupla (F1xF2xF3xF4) foi significativa apenas para o teor de fósforo.

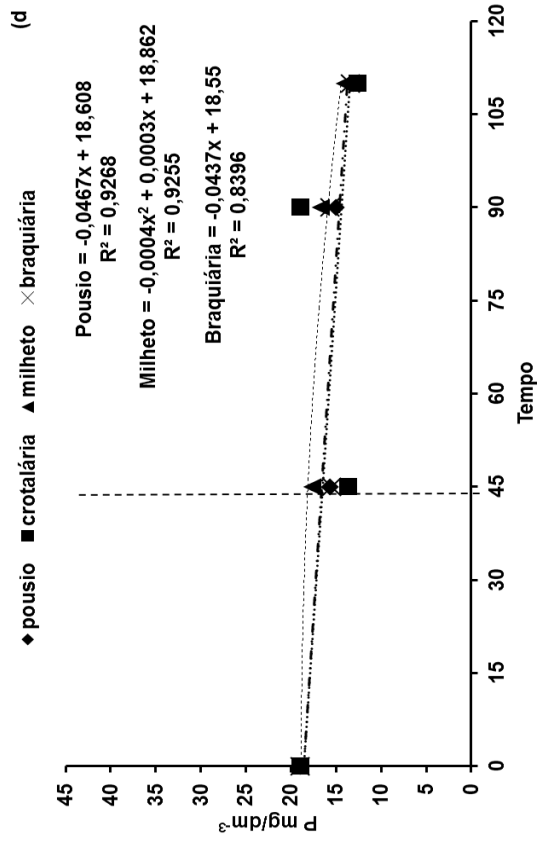
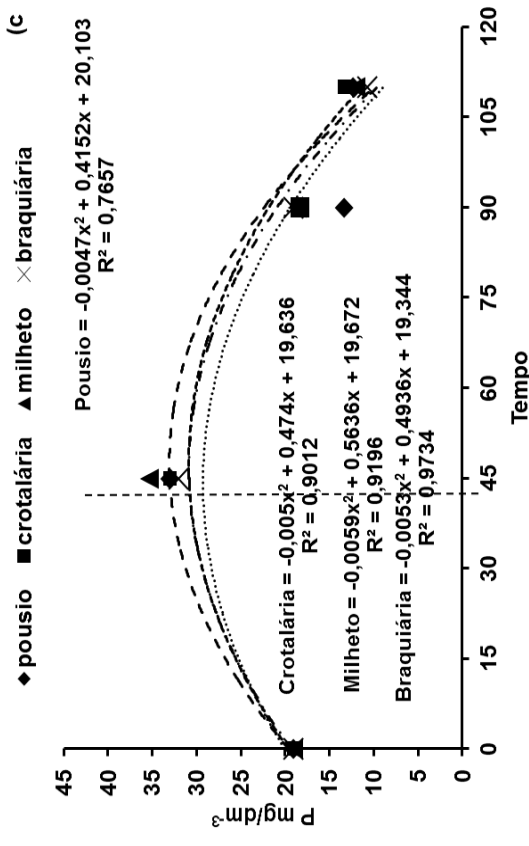
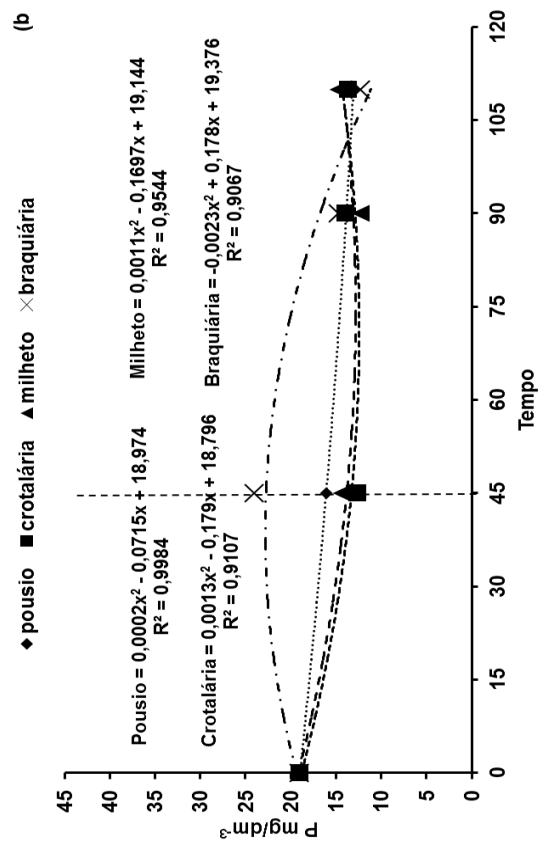
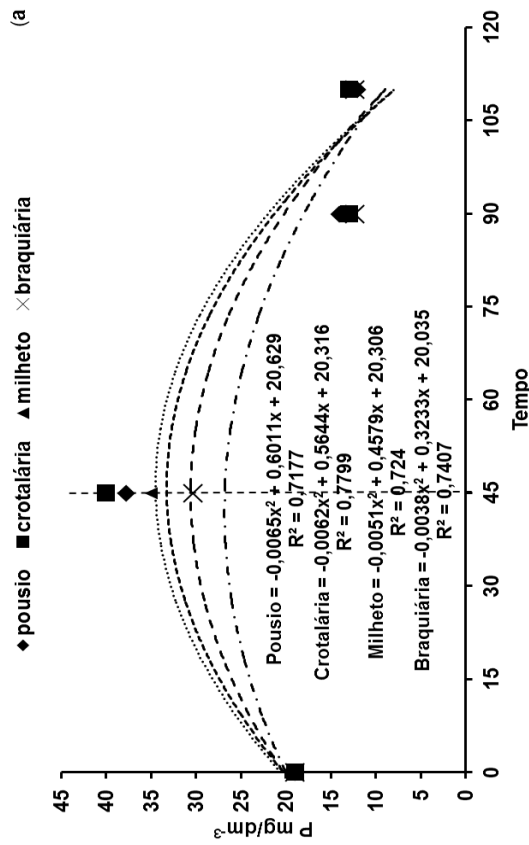
Tabela 6 - Valores do quadrado médio (QM), estatísticas F, probabilidade da significância de F (Pr>F) e coeficiente de variação (CV) para os teores de macronutrientes do solo, cultivado com feijoeiro cultivar Talismã, cultivado em sucessão a plantas de cobertura, em casa de vegetação no município de Araras (SP).

Fontes de variação	F1	F2	F3	F4	F1xF2	F1xF3	F1xF4	F2xF3	F2xF4	F3xF4	F1x2x3	F1x2x4	F1x3x4	F2x3x4	F1x2x3x4
GL	3	3	1	2	9	3	6	3	6	2	9	18	6	6	18
	P														
QM	4,85	8,24	1012,50	2737,21	15,63	131,12	150,18	31,78	16,65	1659,38	27,39	12,18	232,21	72,15	18,58
F	0,51	0,87	107,84	291,84	1,66	13,96	15,99	3,38	1,77	176,73	2,91	1,29	24,73	7,68	1,97
Pr>F	ns	ns	**	**	ns	**	**	*	ns	**	**	ns	**	**	*
CV (%)	17,41														
	K														
QM	42,77	9,80	2809,37	717,46	4,27	3,82	6,78	3,09	3,60	220,12	3,77	3,28	7,45	2,93	2,97
F	19,00	4,35	1247,99	318,71	1,90	1,70	3,01	1,37	1,60	97,78	1,67	1,45	3,31	1,30	1,31
Pr>F	**	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	21,02														
	Ca														
QM	100,70	51,85	266,06	925,80	49,83	78,97	92,93	24,66	41,41	1064,86	29,68	24,34	204,52	62,55	33,41
F	4,20	2,16	11,11	38,68	2,08	3,30	3,88	1,03	1,73	44,50	1,24	1,01	8,54	2,61	1,39
Pr>F	**	ns	**	**	*	*	**	ns	ns	**	ns	ns	**	*	ns
CV (%)	10,33														
	Mg														
QM	14,05	1,30	29,22	71,79	2,09	12,43	35,98	0,68	2,60	37,89	2,25	2,80	17,95	4,96	1,32
F	9,18	0,85	19,09	46,92	1,36	8,12	23,51	0,44	1,69	24,76	1,47	1,83	11,73	3,24	0,86
Pr>F	**	ns	**	**	ns	**	**	ns	ns	**	ns	*	**	**	ns
CV (%)	12,01														

F1= remineralizador; F2 = tipo de cobertura; F3 = vinhaça; F4 = tempo. **, * significativo a 1% e a 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F; ns não significativo pelo teste F.

Para visualizar a significância da interação quádrupla no atributo P no solo, foram feitos os desdobramentos considerando os tratamentos sem vinhaça e com aplicação de vinhaça e diferentes doses de remineralizador (Figura 19). Na ausência de vinhaça (Figuras 19 a, c, e, g), a aplicação de doses crescentes de remineralizador ao solo não proporcionou variações nos teores de P, apesar da elevação dos teores até os 45 DAI. Com o aumento da dose de remineralizador, diminuiu também o efeito das plantas de cobertura na disponibilidade de P. Em presença de vinhaça (Figuras 19 b, d, f, h), o desdobramento da interação quádrupla mostra que a disponibilidade de P tende a diminuir com o tempo. A baixa concentração de P no remineralizador (Tabela 4) e a absorção de P pela cultura do feijoeiro podem ter sido responsáveis pela diminuição do P após os 45 DAI, tanto em presença quanto

na ausência de vinhaça. As plantas de cobertura também não alteraram os teores de P do solo.



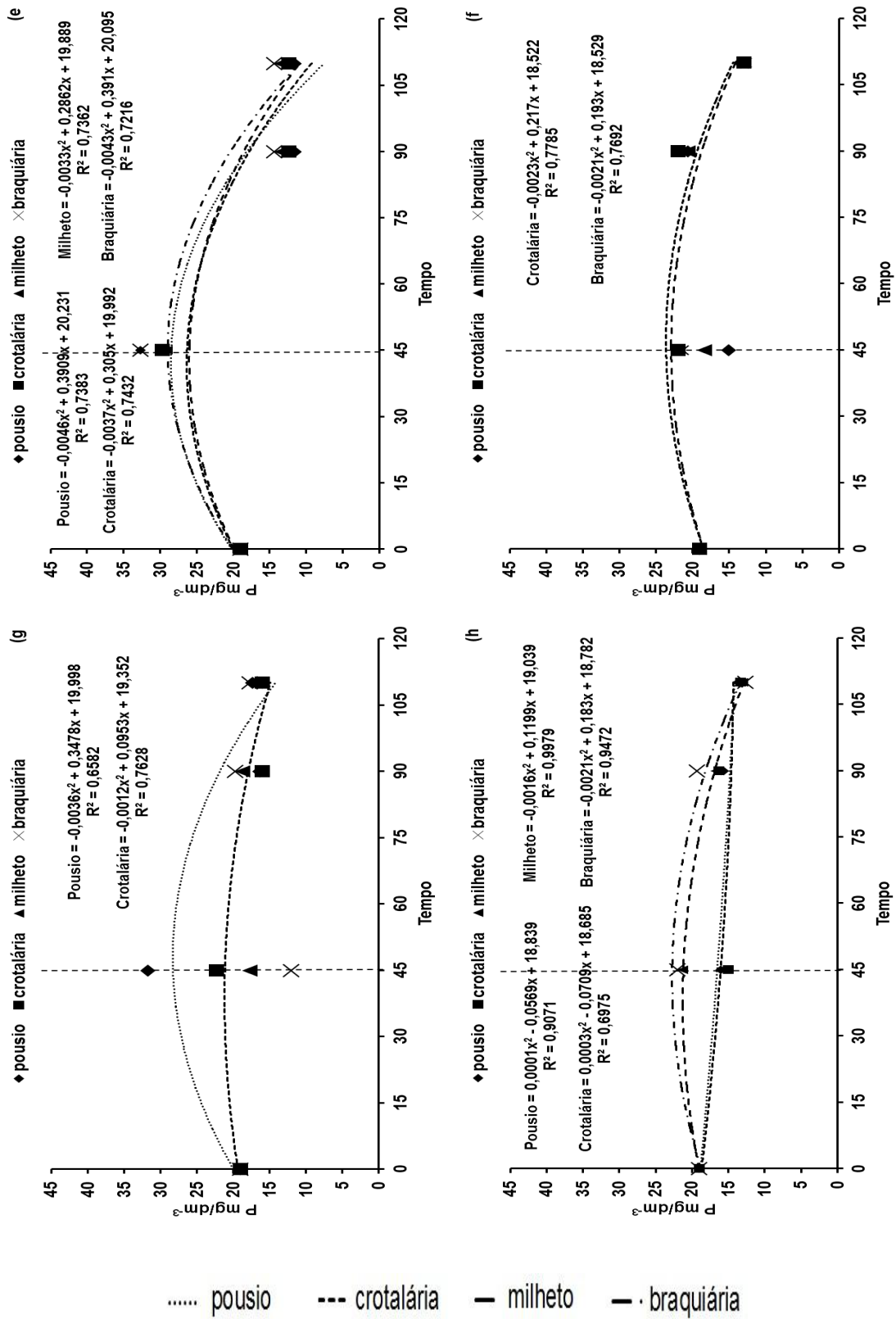


Figura 19: Teor de fósforo em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da

interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo (F1xF2xF3xF4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

Na análise dos fatores F3 (vinhaça) e F4 (tempo), constata-se que a ausência de vinhaça não modificou o teor de P e a aplicação de vinhaça influenciou negativamente os teores de P (Figura 20 a), em relação ao valor presente no solo no início do experimento (19 mg dm⁻³). Em trabalho realizado por Ribeiro et al. (2011) apontam que em solos ricos em óxidos de ferro e de alumínio, como os Latossolos, a aplicação de vinhaça como fertilizante pode contribuir para o aumento da disponibilidade de P para as plantas devido ao bloqueio dos sítios de adsorção de P pelos compostos orgânicos da vinhaça e, também, pelo aumento da carga líquida negativa da fração argila, o que não foi observado no presente trabalho. Ao longo do tempo, os teores de P apresentaram uma pequena elevação até 45 DAI, diminuindo após o plantio do feijoeiro (Figura 20 b). Neste trabalho, o ligeiro aumento do teor de P até os 45 DAI sugere que possivelmente houve liberação de P, mas este pode ter sido consumido pelas plantas de cobertura.

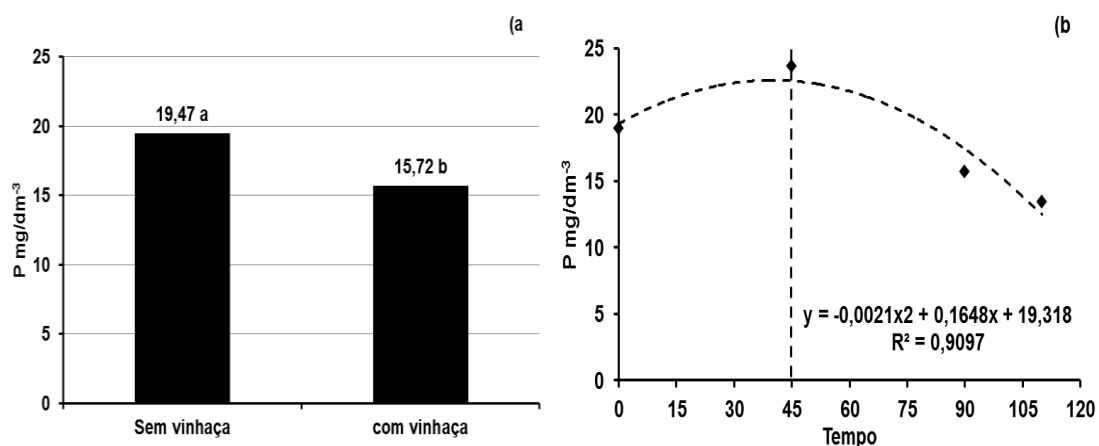


Figura 20 - Teor de fósforo em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função: a) de vinhaça (F3); e b) tempo (F4). A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

A concentração de K no solo apresentou interação significativa para todos os fatores avaliados com efeitos mais acentuados para a aplicação de vinhaça (Figura 21). Doses crescentes de remineralizador proporcionaram incremento nos teores de K, mostrando que houve liberação de K ainda que pequena (Figura 21 a), concordando com resultados encontrados por Silva et al. (2012). Esses autores verificaram que uma rocha ultramáfica promoveu aumento nas concentrações de Ca, Mg e K no solo. Os valores crescentes observados na concentração de K no solo divergem dos de Ferreira et al. (2009), que avaliando a utilização do pó de basalto como fonte de nutrientes para a cultura do feijão, e seu efeito sobre as propriedades químicas do solo, não observaram valores crescentes no teor de K no solo conforme o aumento da dose de pó de basalto aplicada.

As gramíneas forrageiras são eficientes na extração de potássio, juntamente com o nitrogênio (BRAZ et al., 2004; CARVALHO et al., 2006; COSTA et al., 2008). No entanto, na avaliação do efeito de plantas de cobertura, o teor de K no tratamento com braquiária foi inferior aos demais (pousio, crotalária e milho) que tiveram efeito semelhante. (Figura 21b). A aplicação de vinhaça teve efeito significativo no teor de K no solo, que aumentou de $5,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no início do experimento para $10,26 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$

(Figura 21c), provavelmente em função da elevada concentração de K aplicada nos vasos (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Bébé et al. (2009) e por Brito et al. (2005) ao estudarem efeito de vinhaça em solos. As concentrações de K aumentaram ao longo do tempo, com a maior concentração aos 90 DAI (Figura 21d), apesar do cultivo de plantas de cobertura e de feijoeiro.

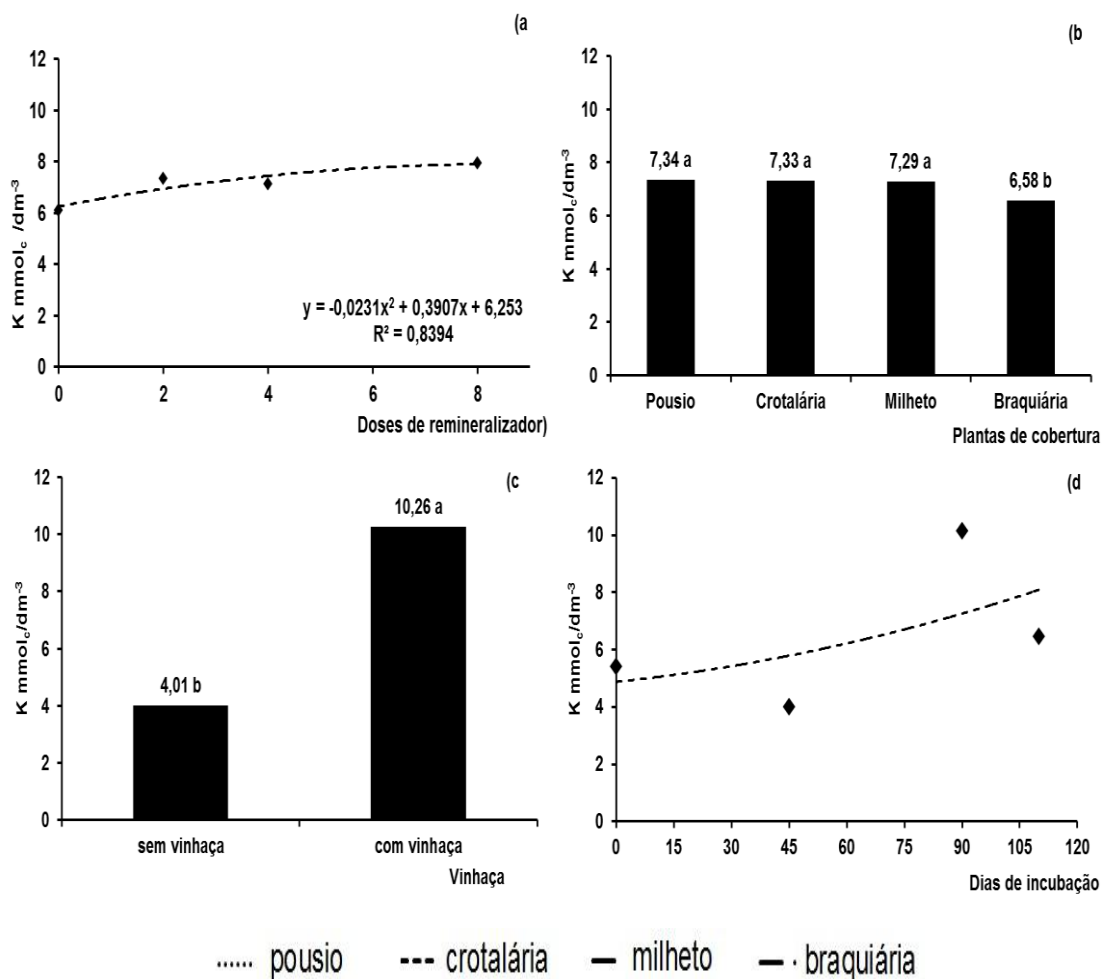


Figura 21: Teor de potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação em função: a) doses de remineralizador; b) plantas de cobertura; c) aplicação de vinhaça (F3); e d) tempo (F4).

No desdobramento da interação significativa F1xF3xF4 constatou-se que houve elevação dos teores de K apenas nos tratamentos com vinhaça (Figura 22). Os tratamentos que não receberam de vinhaça não apresentaram grandes

variações no teor de K em relação ao teor de inicial. Apesar de valores mais elevados de K nos tratamentos com vinhaça, esse aumento não foi capaz de elevar a concentração de K foliar do feijoeiro, como mostrado no capítulo anterior. A quantidade elevada de K no solo pode ter influenciado de forma negativa a absorção desse cátion pelo feijoeiro, tendo em vista que nos tratamentos sem a aplicação de vinhaça as concentrações de K no solo ficaram próximas às do valor inicial do experimento e a absorção de K pelo feijoeiro foi maior.

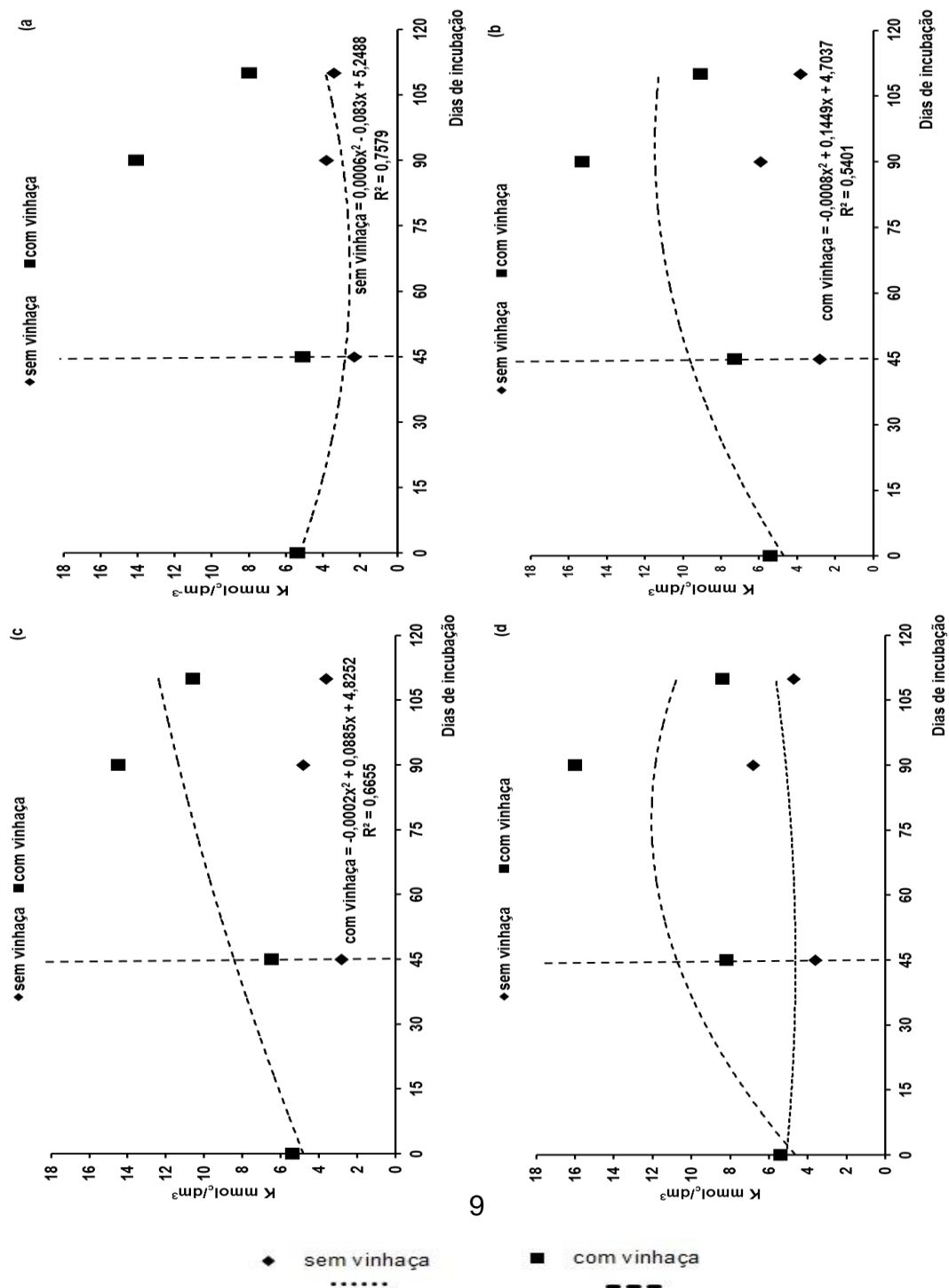
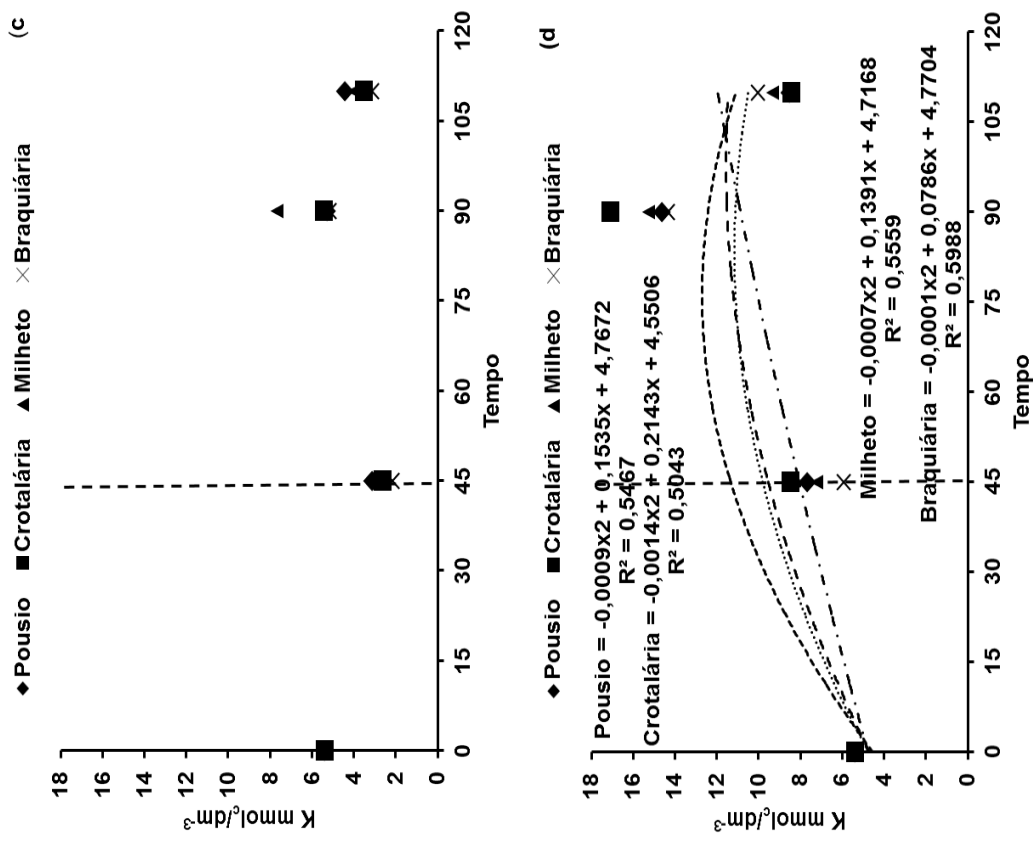
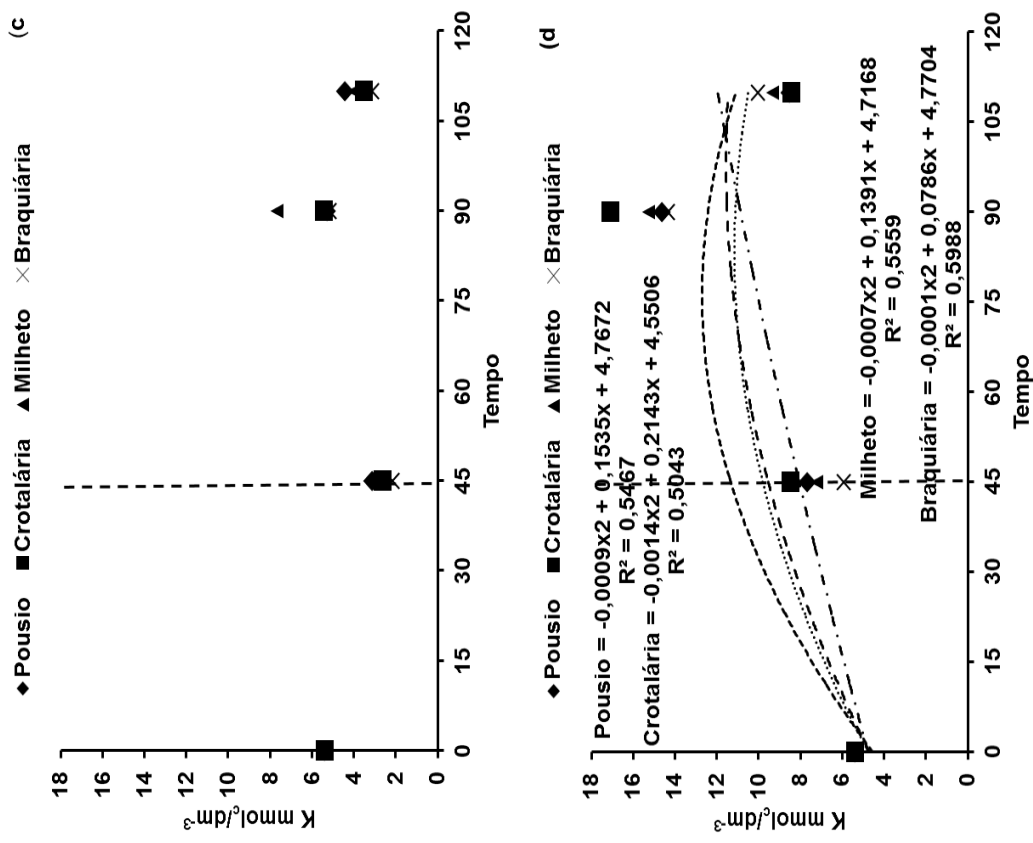
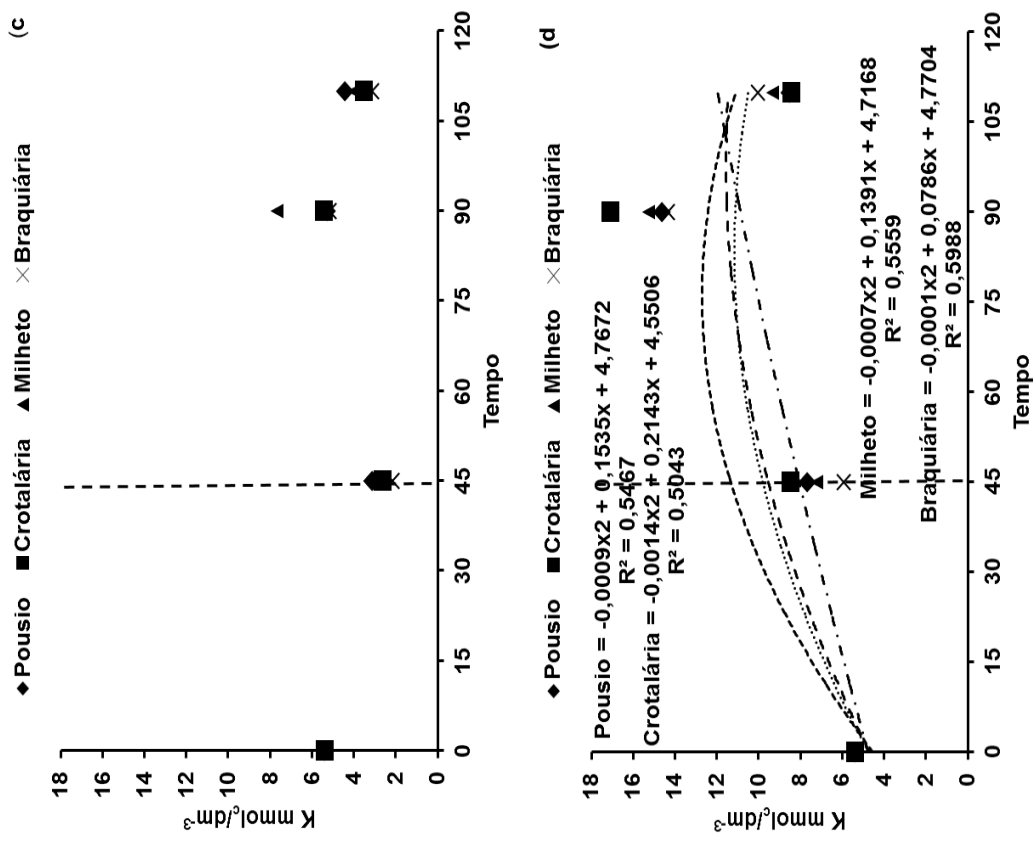
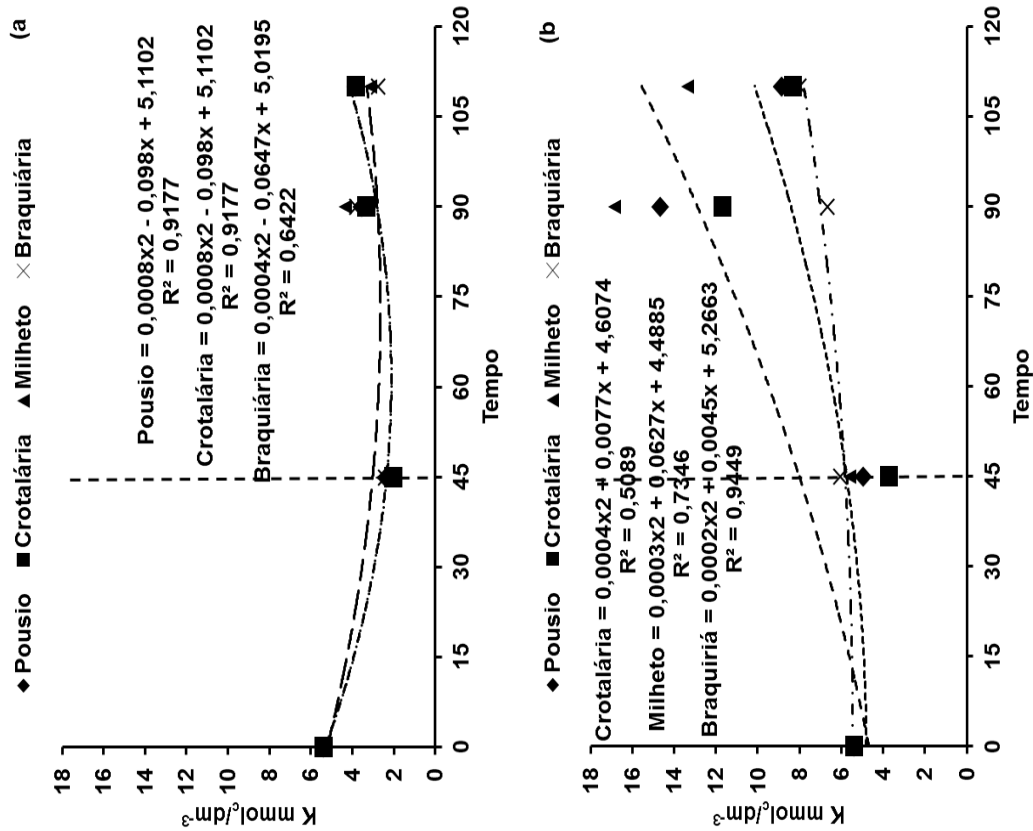


Figura 22: Teor de potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, vinhaça e tempo (F1xF3xF4): a) 0 t ha⁻¹ de remineralizador, b) 2 t ha⁻¹ de remineralizador, c) 4 t ha⁻¹ de remineralizador, e

d) 8 t ha⁻¹ de remineralizador. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

Os fatores remineralizador (F1), vinhaça (F3) e tempo (F4) apresentaram diferença significativa nos teores de Ca do solo, que caiu de 72 para menos de 50 mmol_c dm⁻³, com menor queda na dose 4 t ha⁻¹ (Figura 23). A pequena de resposta dos tratamentos com pó de basalto pode ter ocorrido pelo curto período de aplicação dos mesmos, já que se trata de material de baixa solubilidade.



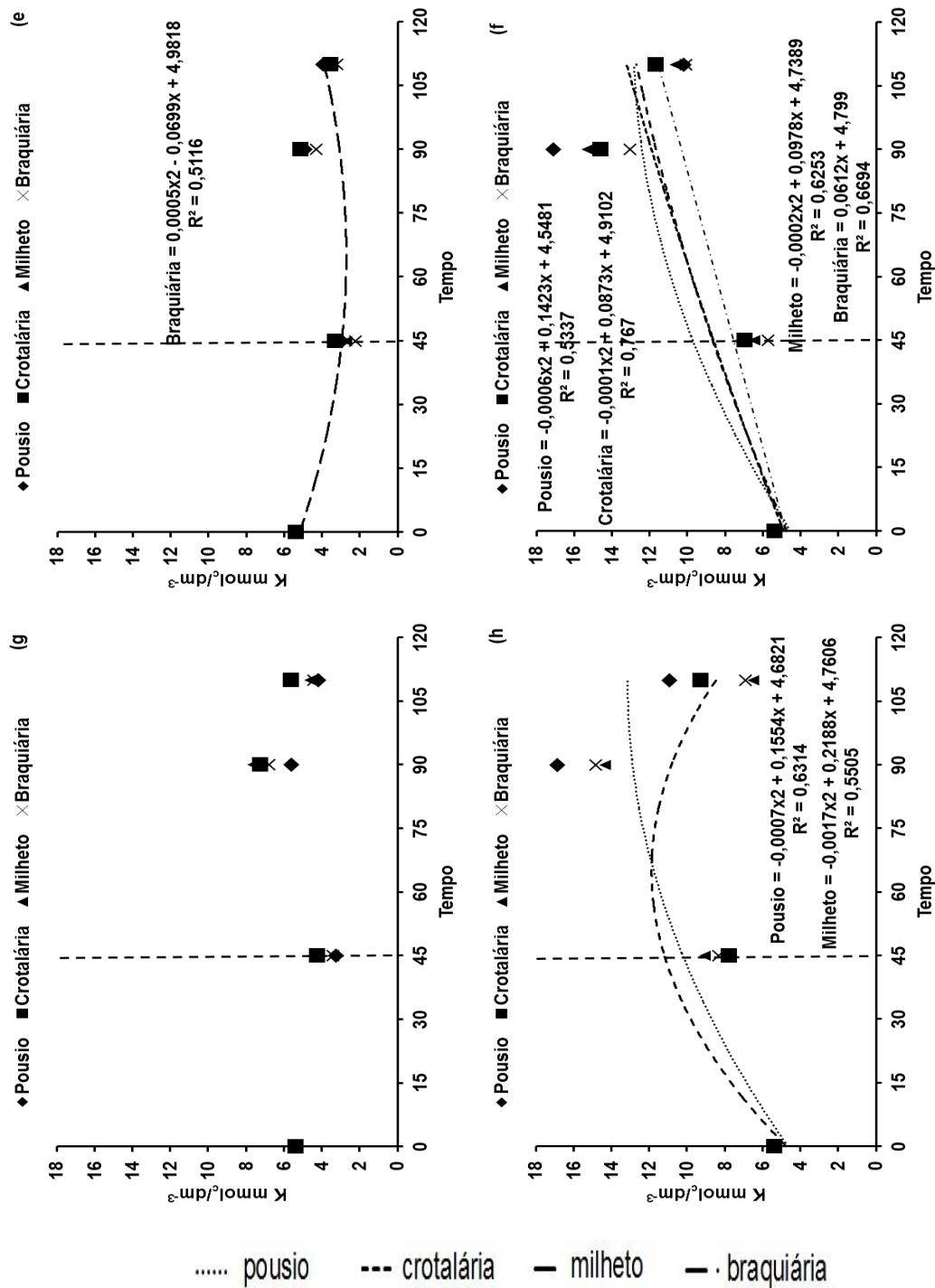


Figura 23: Teor de Potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo (F1x F2x F3x F4): a) sem remineralizador e sem vinhaça, b) sem remineralizador com vinhaça, c) 2 t ha⁻¹ de remineralizador sem vinhaça, d) 2 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça, e) 4 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, f) 4 t ha⁻¹

remineralizador com vinhaça, g) 8 t ha⁻¹ remineralizador sem vinhaça, h) 8 t ha⁻¹ remineralizador com vinhaça. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

A aplicação de vinhaça causou diferença significativa na concentração de Ca no solo, com maior teor de Ca (Figura 24b). O teor de Ca diminuiu nos primeiros 45 DAI, e manteve-se estável aos 90 e 110 DAI, possivelmente devido à absorção de Ca pelas plantas de cobertura e de feijão (Figura 24c).

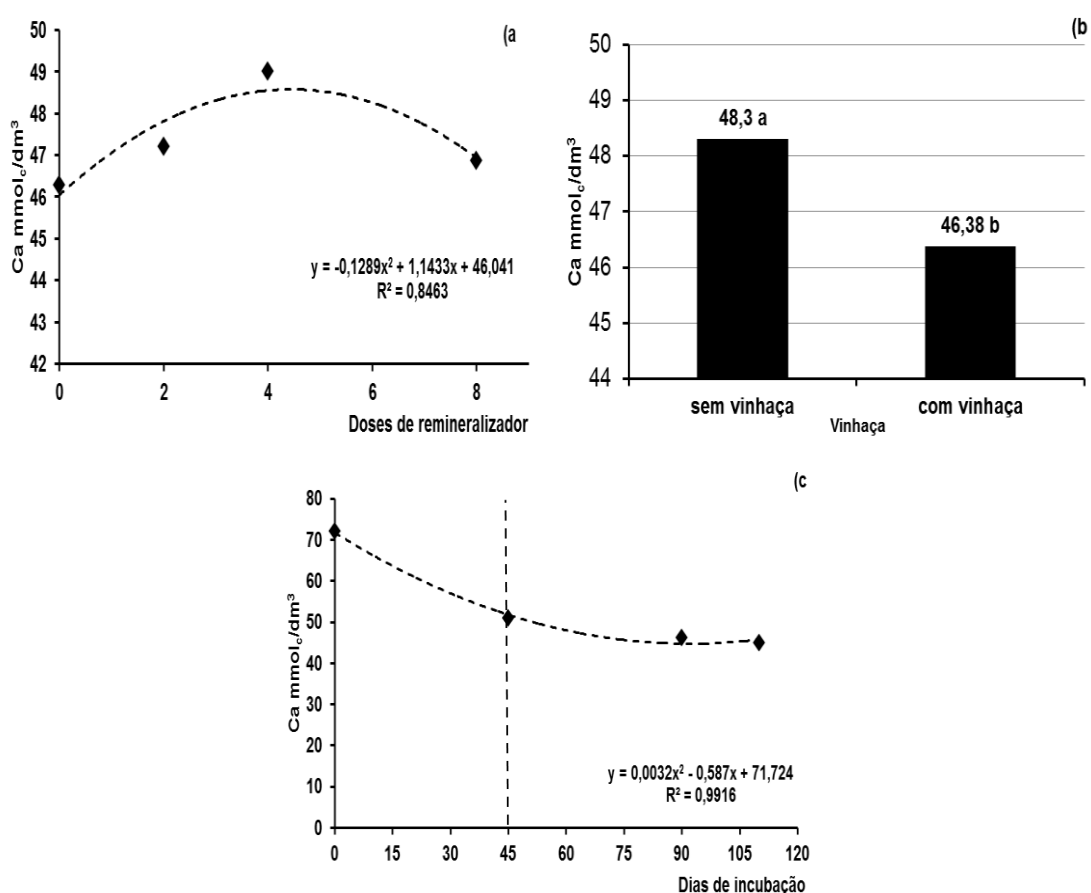


Figura 24: Concentração de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) doses de remineralizador (F1); e b) vinhaça (F3); e c) tempo. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

O desdobramento da interação significativa F1xF3 evidencia o efeito negativo da vinhaça sobre os teores de Ca do solo (Figura 25). Esse resultado

é diferente dos observados por autores que relatam haver aumento na concentração de Ca em solo tratados com vinhaça (BRITO et al., 2005; BEBÉ et al., 2009).

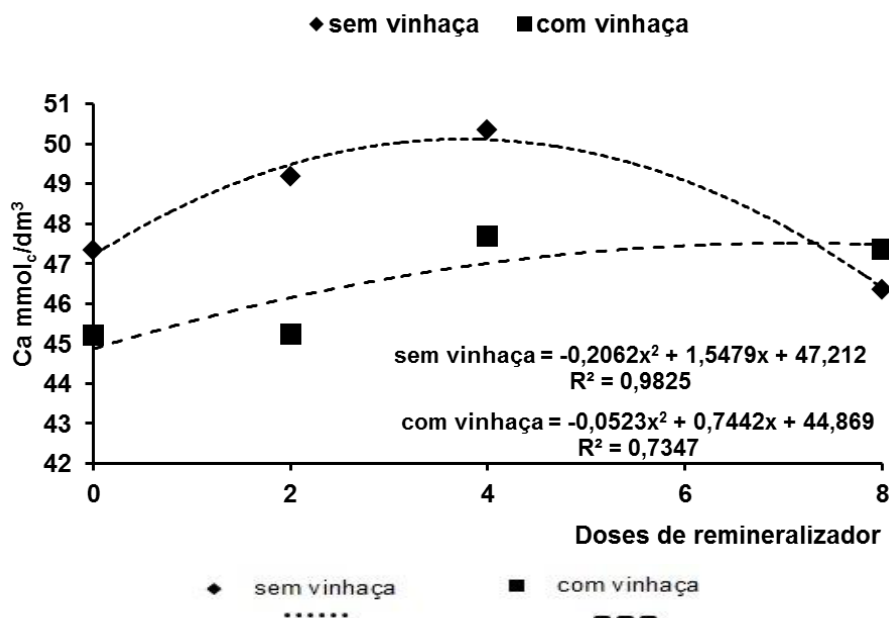


Figura 25: Teor de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função da interação remineralizador e vinhaça (F1x3).

A aplicação de remineralizador não alterou os níveis de Mg do solo possivelmente devido a baixa solubilização (Figura 26a). Esse resultado é semelhante ao observado por Melo et al. (2012) que realizaram avaliação do efeito da aplicação de diferentes doses de basalto em um Latossolo e observaram que não houve incremento de Mg pois este se encontra em minerais de baixa solubilidade e lenta alteração. A aplicação da vinhaça não mostrou efeito sobre os teores de Mg, que se mantiveram abaixo dos teores iniciais de 14 mmol_c dm⁻³ (Figura 26b).

O teor de Mg do solo variou com o tempo com valores inferiores aos observados no início do trabalho (Figura 26c), o que pode ter sido ocasionado, como nos demais nutrientes, devido ao consumo do mesmo pelo feijoeiro. No presente estudo todos os nutrientes avaliados apresentaram diminuição em

suas concentrações no solo após os 45 DAI, com exceção do K. Como visto anteriormente no capítulo 2, as concentrações de P, K, Ca e Mg foram influenciadas negativamente com a aplicação de vinhaça. Os teores desses elementos no solo corroboram com os teores observados em folhas de feijoeiro. Neste trabalho a aplicação de vinhaça foi o fator que afetou tanto a absorção de elementos pelo feijoeiro quanto as concentrações desses elementos no solo.

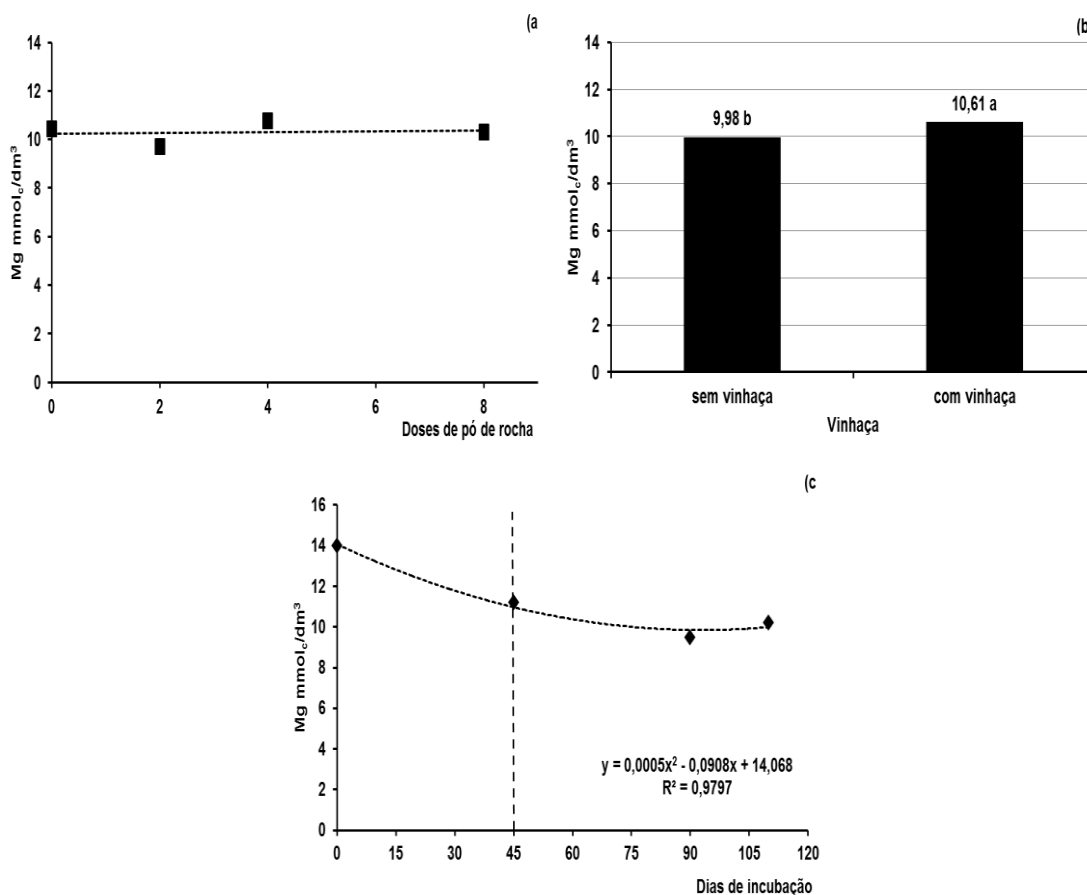


Figura 26: Concentração de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: a) doses de remineralizador (F1); e b) vinhaça (F3); e c) tempo. A linha tracejada aos 45 dias de incubação, paralela ao eixo y, indica a época do plantio do feijão.

3.4. CONCLUSÕES

Doses crescentes de remineralizador provocaram pequenas alterações no pH, na acidez potencial e na saturação por bases. As plantas de cobertura não

se diferenciaram do controle, com alterações pequenas nos teores de pH. A vinhaça foi o fator que proporcionou maior efeito no pH, na acidez potencial e na saturação por bases.

A aplicação de vinhaça foi o fator que mais influenciou os teores de macronutrientes do solo, provocando diminuição das concentrações de Ca, Mg e P e aumento no teor de K.

3. 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, R. P. et al. 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.
- BEBÉ, F. V. et al. 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.
- BRAZ, A. J. B. P. et al. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, p. 83-87, 2004.
- BRITO, F.L et al. Teores de potássio e de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p. 52-56, 2005.
- CARVALHO, F. G. et al. Produção de matéria seca e concentração de macronutrientes em *Brachiaria decumbens* sob diferentes sistemas de manejo na zona da mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia v. 36, p. 101-106, 2006.
- CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.935-944, 2003.
- COSTA, K. A. P. et al. Adubação nitrogenada e potássica na concentração de nutrientes do capim-xaraés. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia v. 9, n. 1, p. 86-92, 2008.

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Arroz e Feijão. **Cultivo do Feijão da Primeira e Segunda Safras na Região Sul de Minas Gerais**. Sistemas de Produção. n. 6, Versão Eletrônica. 2005. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrasulMG/calagem_adubacao.htm>. Acesso em: 16 de julho de 2016.
- ESCOSTEGUY, P. A.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 22, p. 11-20, 1998.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. **Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata-doce**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, (Embrapa Agrobiologia, Comunicado técnico, 14), 1997, 6p.
- FABIAN, A.; J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 118 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.
- FERREIRA, C. R. R. P. T.; VERGO, C. L. R. Fertilizantes: aumento dos preços pagos pelos agricultores em 2015. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, n. 10, v.7, 2015.
- FERREIRA, E. R. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 8, p. 111-121, 2009.
- FRAGSTEIN, P.; PERTL, W.; VOGTMANN, H. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Berlin, v.151, p. 141 - 146, 1988.
- GILLMAN, G. P.; BUEKKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects on soil cation chemistry. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 39, p. 799 - 811, 2001.
- GRAYSTON S.J.; VAUGHAN D.; JONES D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its

- impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, p. 29-56, 1997.
- GUELFY-SILVA et al. Agronomic efficiency of potassium fertilization in lettuce fertilized with alternative nutrient sources. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza v. 44, n. 2, p. 267-277, 2013.
- HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; FEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin American between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 38, p. 173-199, 1991.
- KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. **Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo**. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F., eds. Química e mineralogia do solo: Parte 1 - Conceitos básicos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.333-380.
- KORNDORFER, P. H. et al. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, n. 2, p. 119-125, 2010.
- LEAL, J. R. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas v. 7, p. 257-261, 1983
- LOPES, O; M; M. **Efeito de agromineral e vinhaça em atributos químicos de dois tipos de solo**. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente), Universidade Federal de São Carlos, 2013.
- LOPES, O. M. M; CARRILHO, E. N. V; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 38, p. 1547-1557, 2014.
- MELO, V. F. et al. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 4, p.471-476, 2012.
- RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001, p. 285.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

- REIS, T. C.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação o ph do solo sob diferentes temperaturas. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas, v. 26, p. 619-626, 2002.
- RIBEIRO, B. T. et al. 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. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa v. 34, p. 891-897, 2010.
- RODRIGUES, A. F. S. et al. **Agrominerais: recursos e reservas**. In: Fernandes, FRC, Luz, A. B.; Castilhos, Z. C. (Eds). Agrominerais para o Brasil. CETEM/MCT, p. 380, 2010.
- ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.19, n.12, p.1443-1448, 1984.
- SILVA, D. R. G. et al. 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. et al. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista árvore**, v. 32, p. 323-333, 2008.
- SILVA, M. A., GRIEBELER, N. P., BORGES, 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.
- SOARES, E. et al. Efeito da relação entre teores trocáveis de Ca e Mg do solo na absorção de K por plantas de centeio. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 58, p. 315-330, 1983.
- SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R.F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p.

THEODORO,S. H.; LEONARDOS,O. H. the use of rochs to improve Family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 78, p. 263-292, 2006.

VASCONCELOS, R. F. B. et al. 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, p.639-648, 2010.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou avaliar a utilização de alternativas para aumentar a eficiência da utilização de remineralizadores na agricultura. Plantas de cobertura e vinhaça foram às alternativas usadas para potencializar a solubilização de minerais contidos no remineralizador. Neste trabalho o cultivo do feijoeiro foi utilizado como cultura extratora. A utilização de um solo com características adequadas para o cultivo do feijão foi utilizado como forma de representar o impacto da substituição insumos convencionais por alternativos.

Os efeitos dos fatores sobre as características do feijoeiro mostraram que a aplicação de doses de remineralizador proporcionaram aumento da altura da planta, na área foliar específica (IAF), e nos teores de macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S) foliares. Os resultados observados não mostraram se houve liberação de nutrientes para o feijoeiro ocasionado pela aplicação de remineralizador, já que o solo apresentava condições ideais para o cultivo do feijão. Com o cultivo de plantas de cobertura antecedendo o cultivo do feijão, houve efeito em todos os parâmetros biométricos avaliados e nos teores de nutrientes de P, K Ca e Mg, com destaque para as gramíneas. A aplicação de vinhaça teve efeito apenas na variável índice de clorofila (ICF) e diminuiu as concentrações de nutrientes foliares avaliados do feijoeiro. Portanto, a utilização de vinhaça antecedendo a cultura de feijoeiro não proporcionou resultados satisfatórios. A combinação de doses de remineralizador e vinhaça no solo proporcionou diferenças nos teores de macronutrientes foliares, com níveis satisfatórios de suficiência para o feijoeiro, no estágio em que foi avaliado, de florescimento pleno do feijoeiro (R6).

A avaliação do efeito dos fatores sobre as características químicas do solo mostrou que todos os fatores (doses de remineralizador, plantas de cobertura, vinhaça e tempo) influenciaram, mesmo que levemente as características estudadas. As doses crescentes de remineralizador se correlacionaram com os valores observados para as variáveis acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V). O cultivo de plantas de cobertura proporcionaram elevação do pH e diminuição da H+Al, com destaque para os efeitos das gramíneas.

Como já esperado, a aplicação da vinhaça proporcionou efeitos nos atributos químicos pH, H+Al e V, dada a adição de grande quantidade de matéria orgânica que estimula a ação de microrganismos e é transformada por estes em húmus. O pH foi o único atributo que apresentou aumento ao longo do tempo em relação aos valores iniciais, com diminuição da acidez potencial em relação ao valor medido no início do ensaio. Dentre as interações, foi observado pouco efeito sobre as variáveis avaliadas, mas a associação de pó de basalto com vinhaça destaca-se entre as interações, principalmente sobre as variáveis pH, H+Al e V.

Com exceção do K, os teores de macronutrientes do solo apresentaram menores concentrações quando houve a aplicação de vinhaça. Apesar da quantidade elevada desses elementos na vinhaça, não foi observado efeito no solo.

A partir dos resultados observados conclui-se que a utilização de plantas de cobertura com a aplicação de remineralizador:

- é pouco vantajosa para o aumento da solubilização de nutrientes contidos no remineralizador, mas não foi levada em conta a quantidade absorvida pelas plantas de cobertura;
- os benefícios ocasionados com a combinação podem ser potencializados se a parte aérea for mantida sobre o solo;
- é boa alternativa de adubação para culturas agrícolas, mas deve se levar em conta o tempo e o manejo adotados;
- a combinação de remineralizador e vinhaça apresentou a liberação adequada durante o experimento, mas possivelmente esse efeito é oriundo da vinhaça devido ao curto tempo do experimento;
- a utilização de plantas de cobertura e vinhaça como forma de acelerar a solubilização do remineralizador pode ser mais eficiente em solos pobres em nutrientes.

APÊNDICE 1

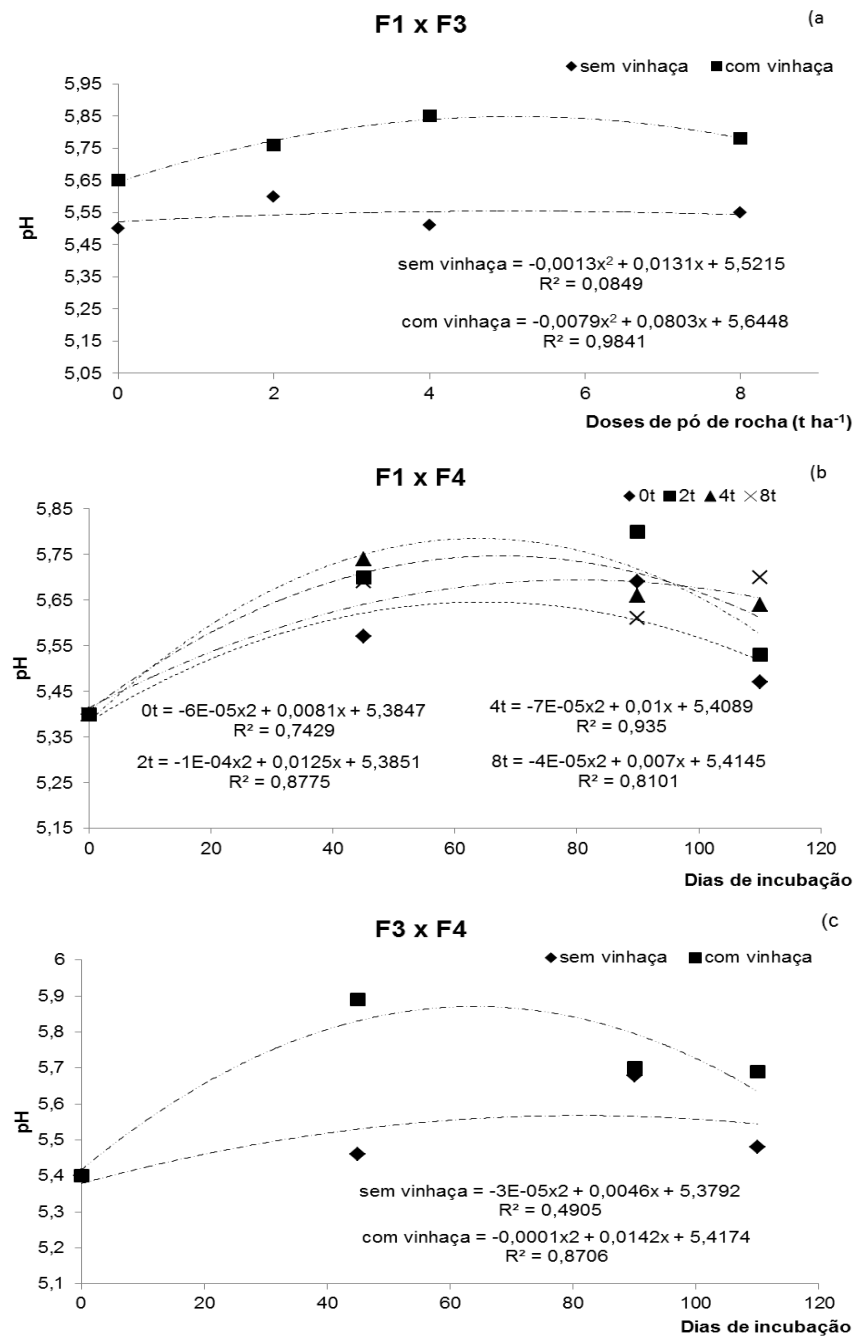
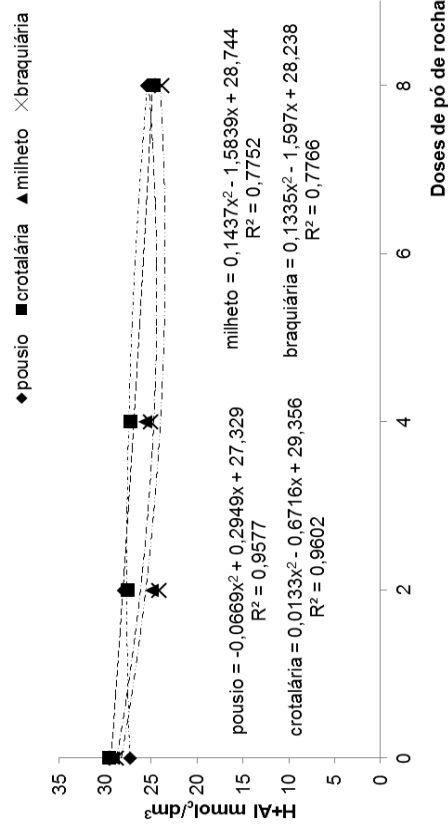
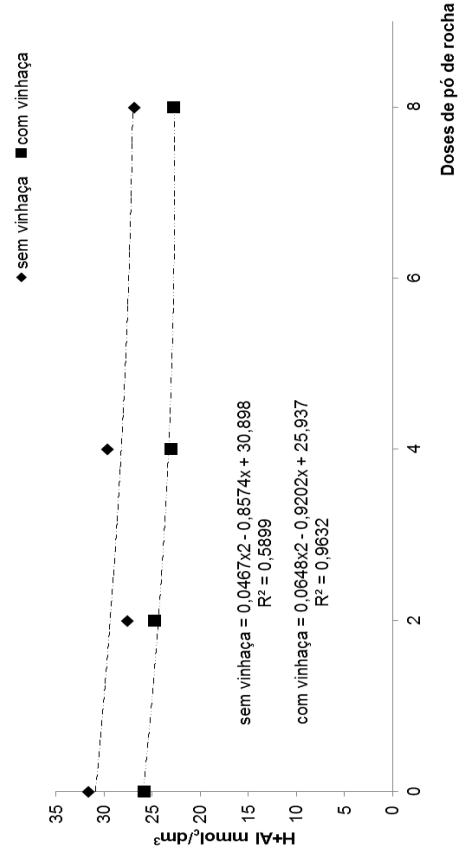


Figura A1: Valores de pH em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função das interações entre os fatores avaliados: a) doses de pó de basalto com vinhaça (F1xF3), b) doses de pó de rocha e tempo (F1xF4), c) vinhaça e tempo (F3xF4).

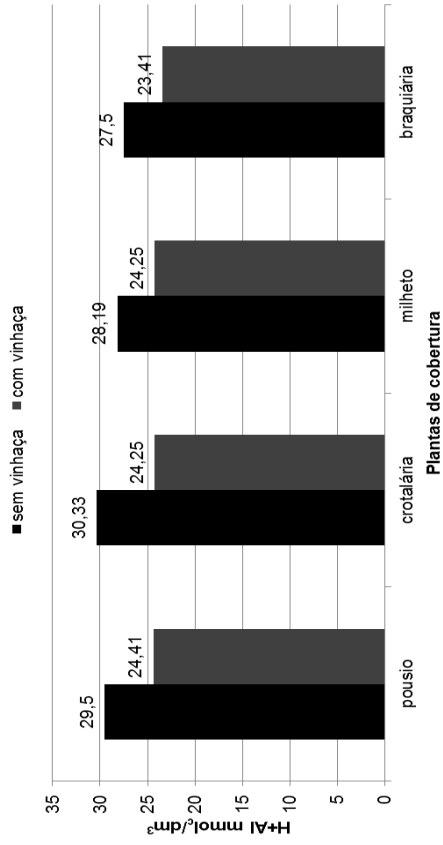
F1 x F2 (a)



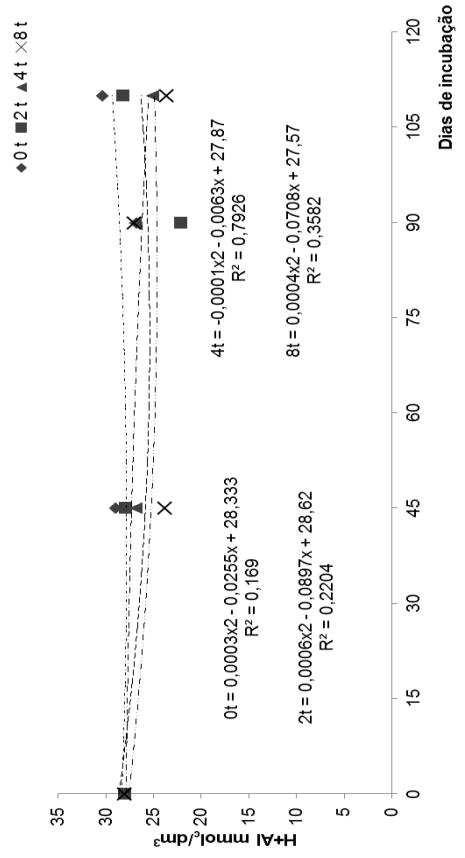
F1 x F3 (b)



F2 x F3 (c)



F1 x F4 (d)



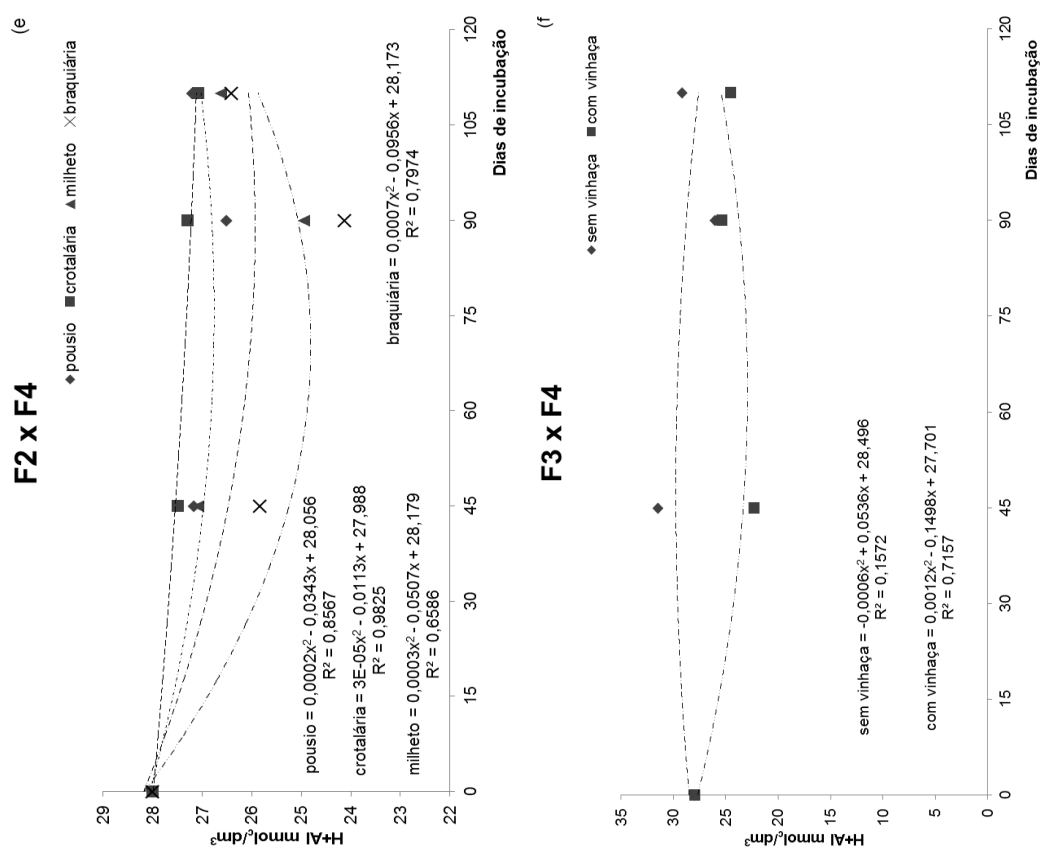


Figura A2: Acidez potencia em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função da combinação: a) de pó de basalto e plantas de cobertura (F1xF2), b) pó de rocha e vinhaça (F1xF3), c) planta de cobertura e vinhaça (F2xF3), e d) pó de rocha e tempo (F1xF4), e) plantas de cobertura e tempo (F2xF4), f) vinhaça e tempo (F3xF4).

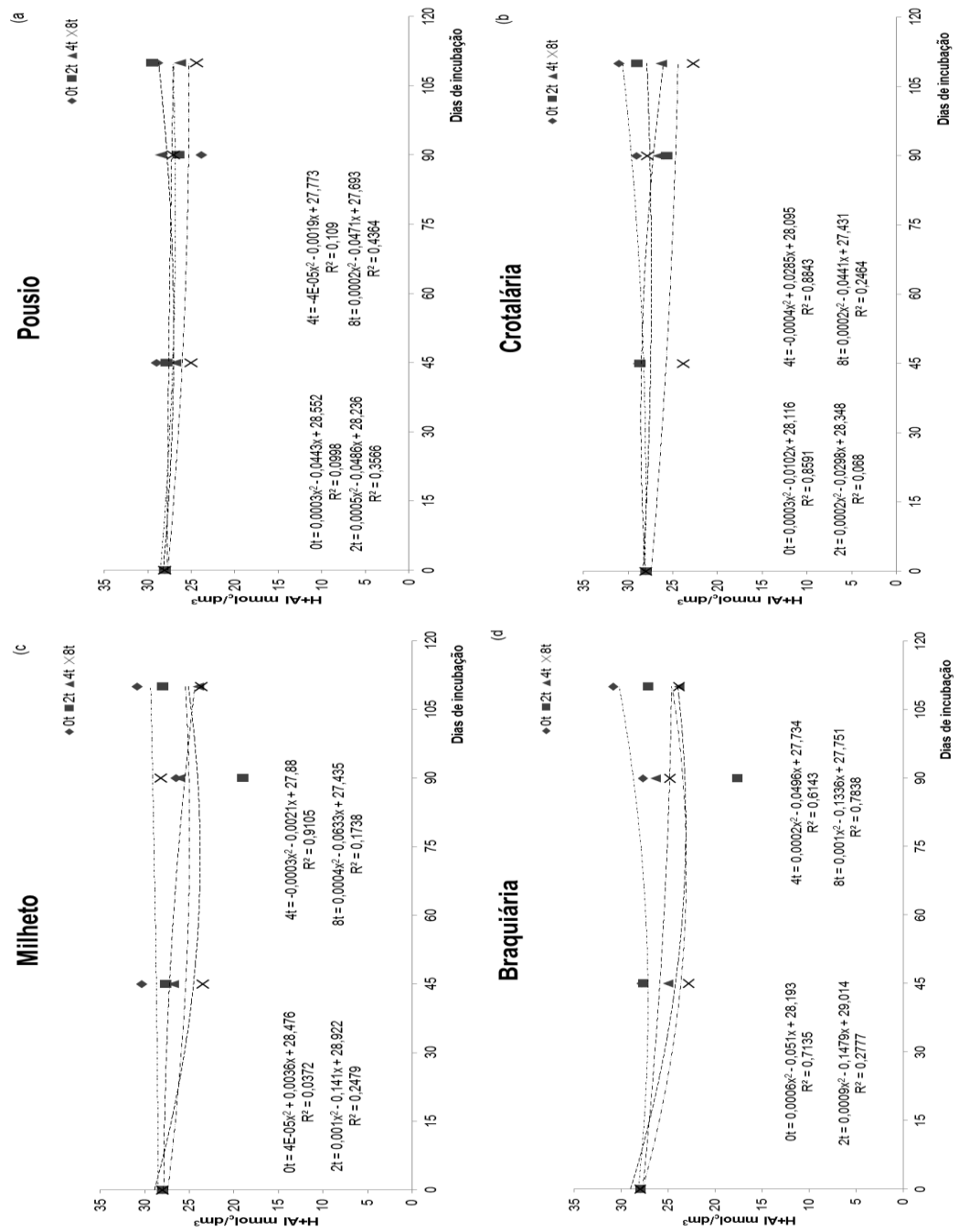


Figura A3: Acidez potencia em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e tempo (F1x F2x F4) a) Pousio, b) Crotalária, c) Milheto, e d) Braquiária.

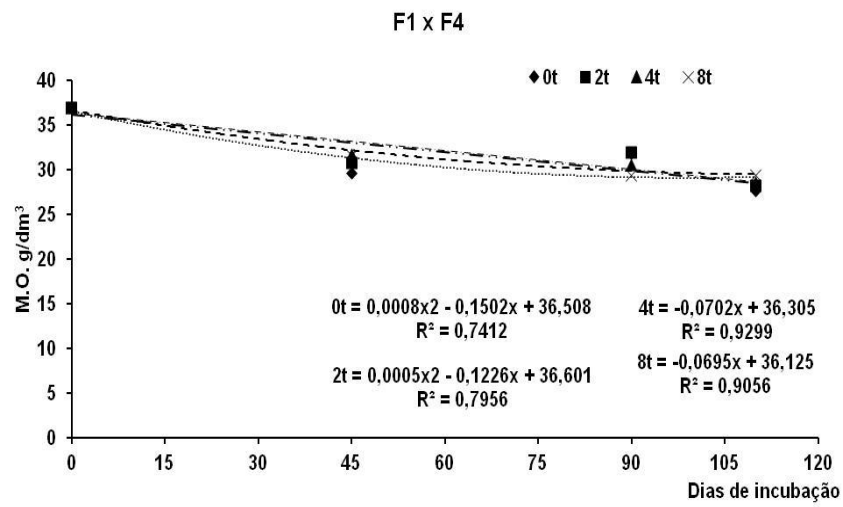


Figura A4: Teor de matéria orgânica em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação: pó de rocha e tempo (F1x4).

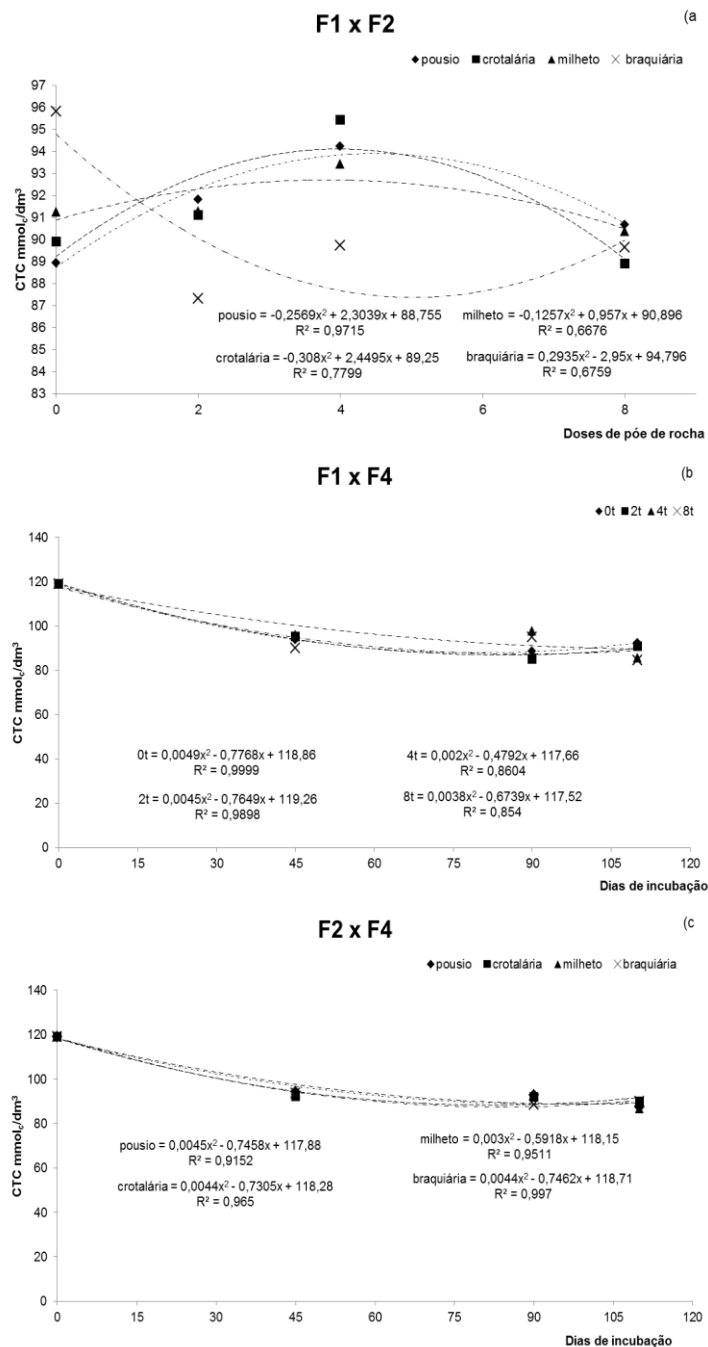


Figura A5: Capacidade de troca de cátions em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função das combinações: a) de pó de basalto e plantas de cobertura (F1x F2), b) pó de rocha e tempo (F1x F4), c) plantas de cobertura e tempo (F2x F4).

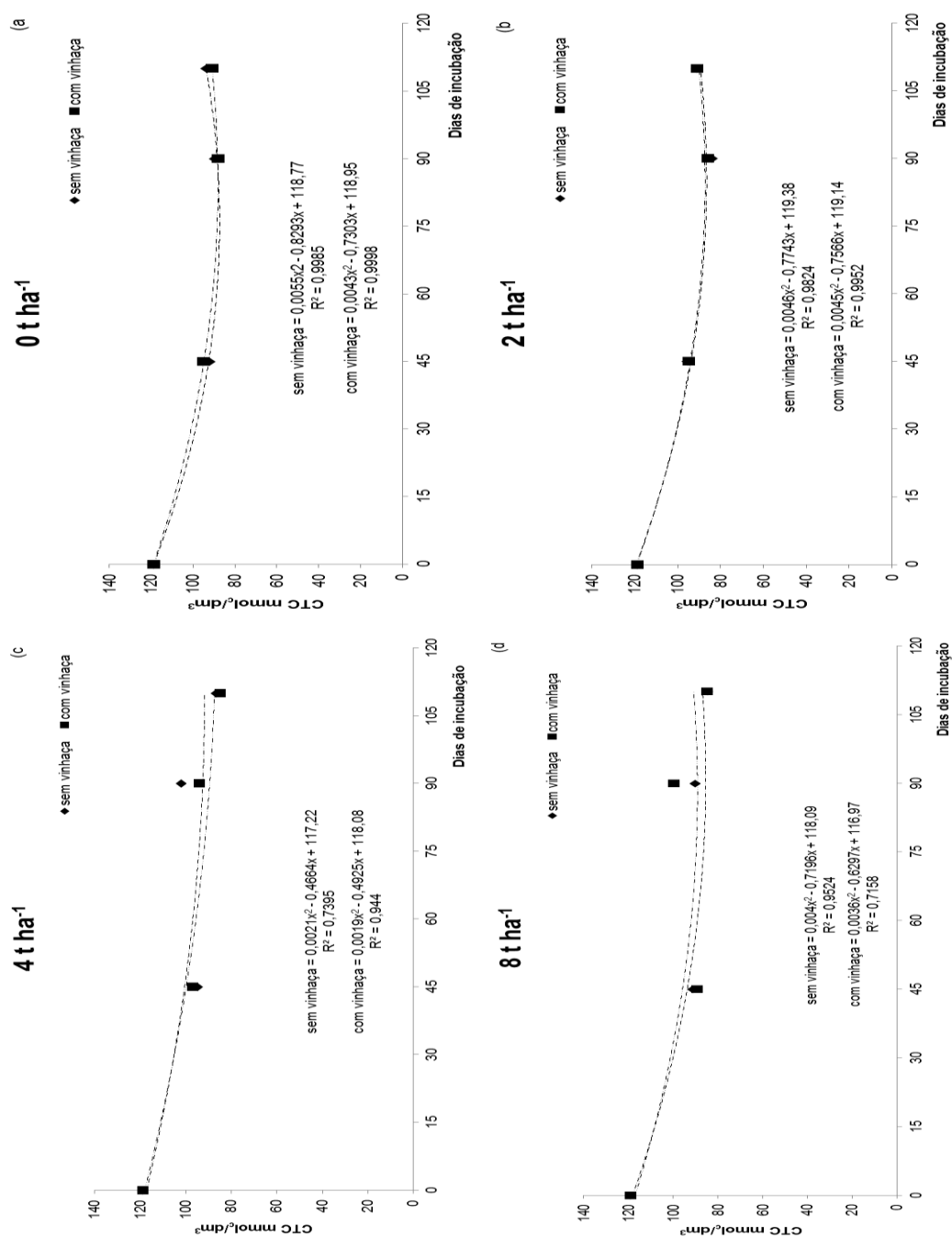


Figura A6: Capacidade de troca de cátion em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e tempo (F1xF3xF4) a) 0 t ha⁻¹ de pó de rocha, b) 2 t ha⁻¹ de pó de rocha, c) 4 t ha⁻¹ de pó de rocha, e d) 8 t ha⁻¹ de pó de rocha.

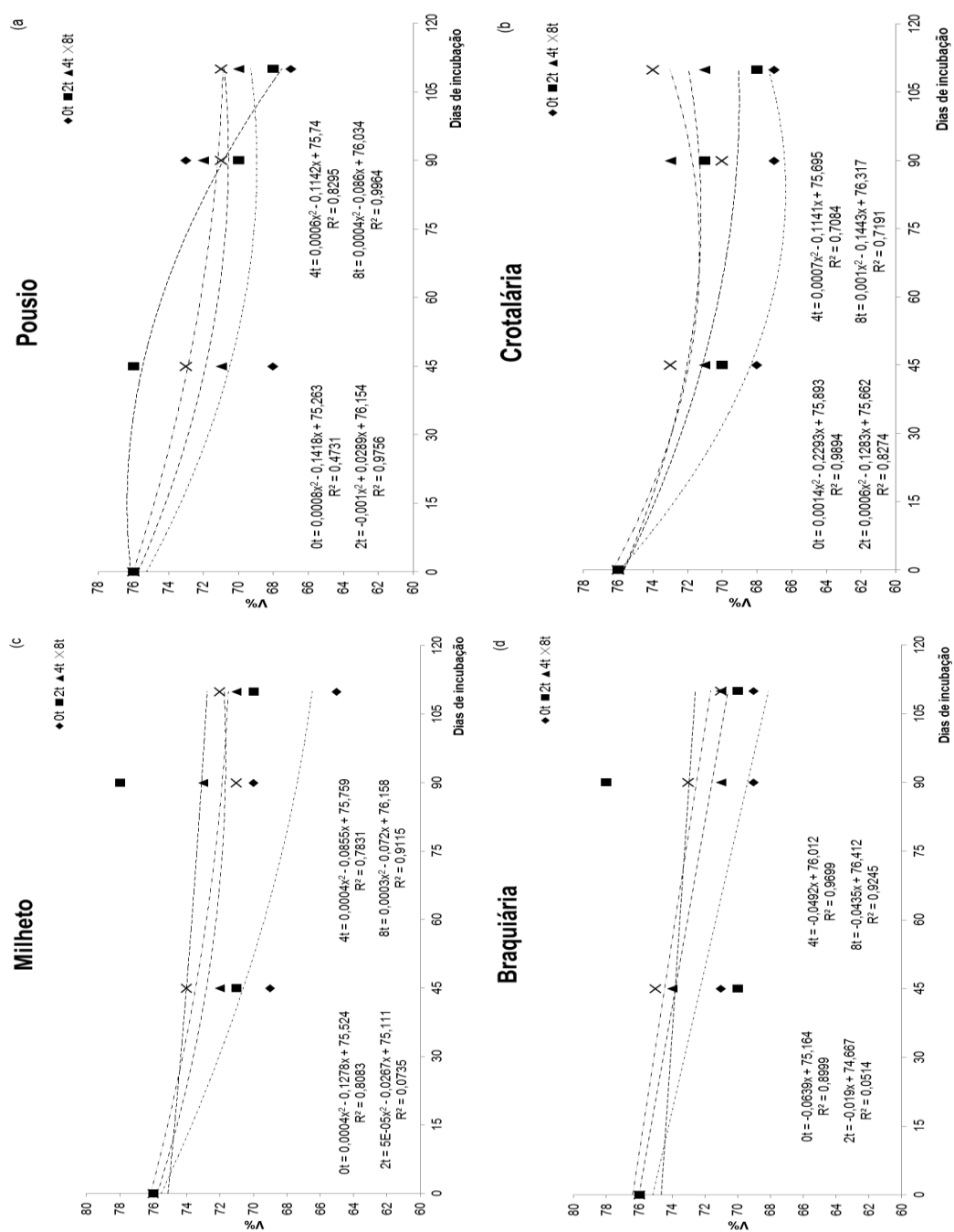


Figura A7: saturação por bases em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e tempo (F1x F2x F4) a) Pousio, b) Crotalária, c) Milheto, e d) Braquiária.

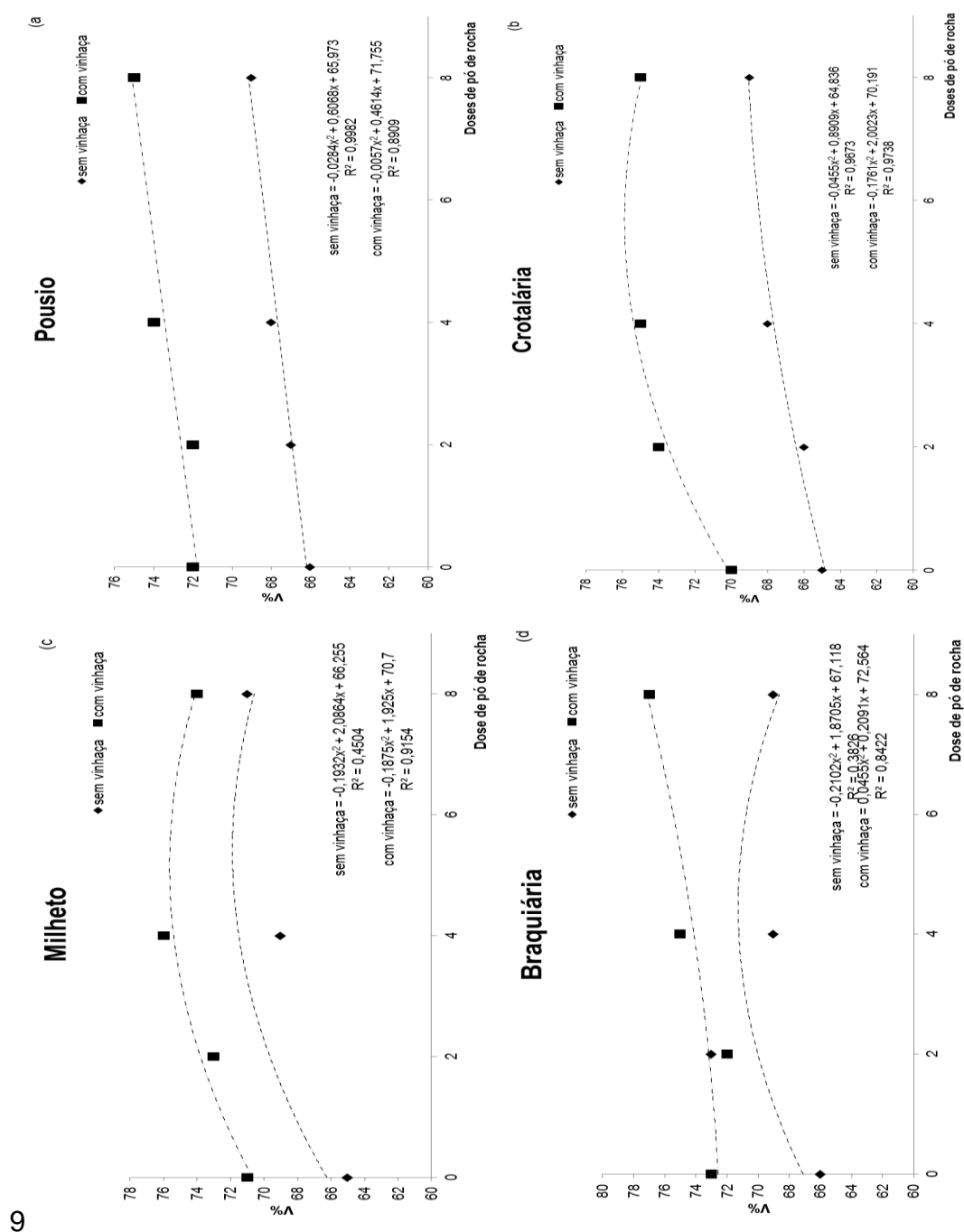


Figura A8: Saturação por bases em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e vinhaça (F1x F2x F3) a) Pousio, b) Crotalária, c) Milheto, e d) Braquiária.

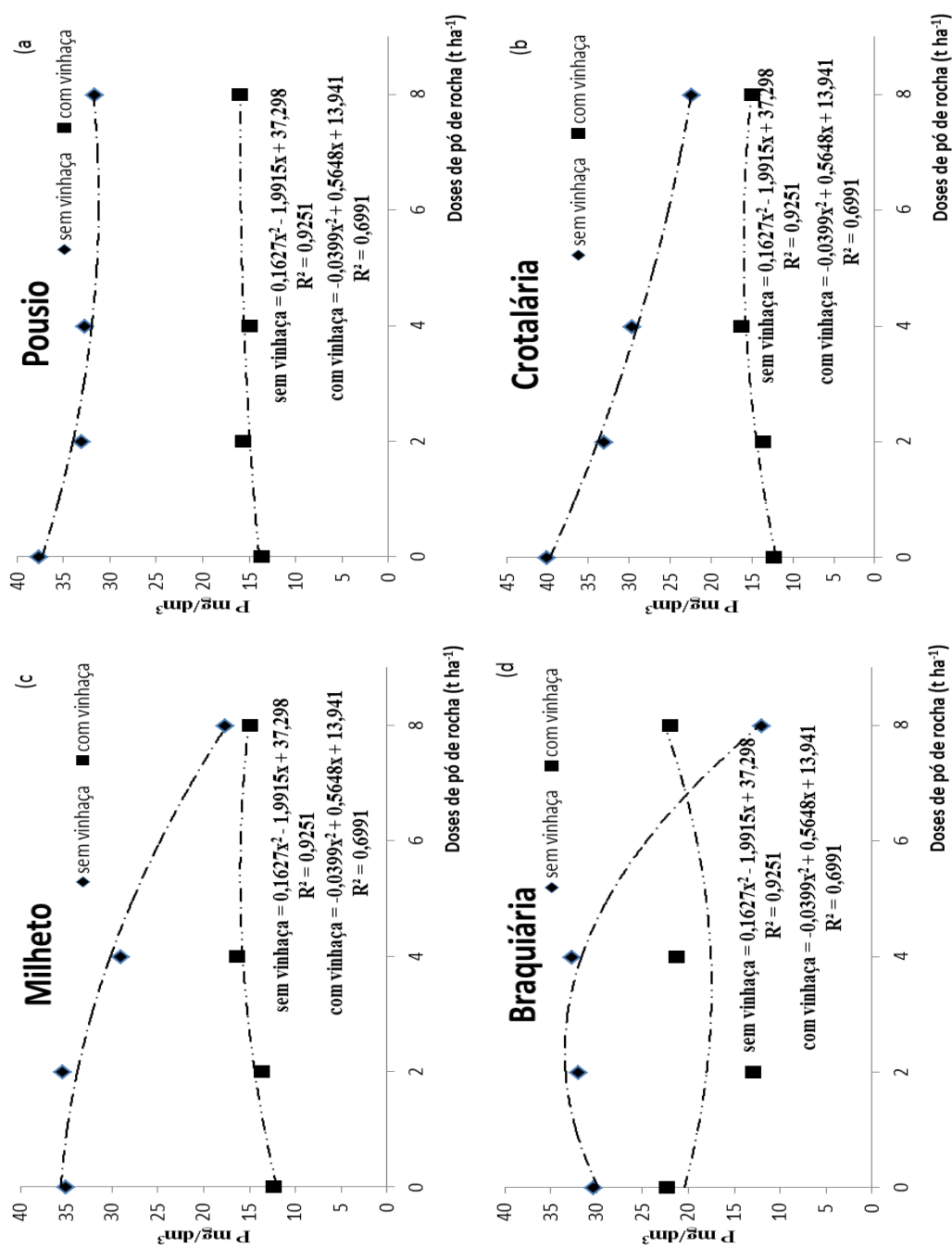


Figura A9: teor de fósforo em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e vinhaça (F1x F2x F3) a) Pousio, b) Crotalária, c) Milheto, e d) Braquiária.

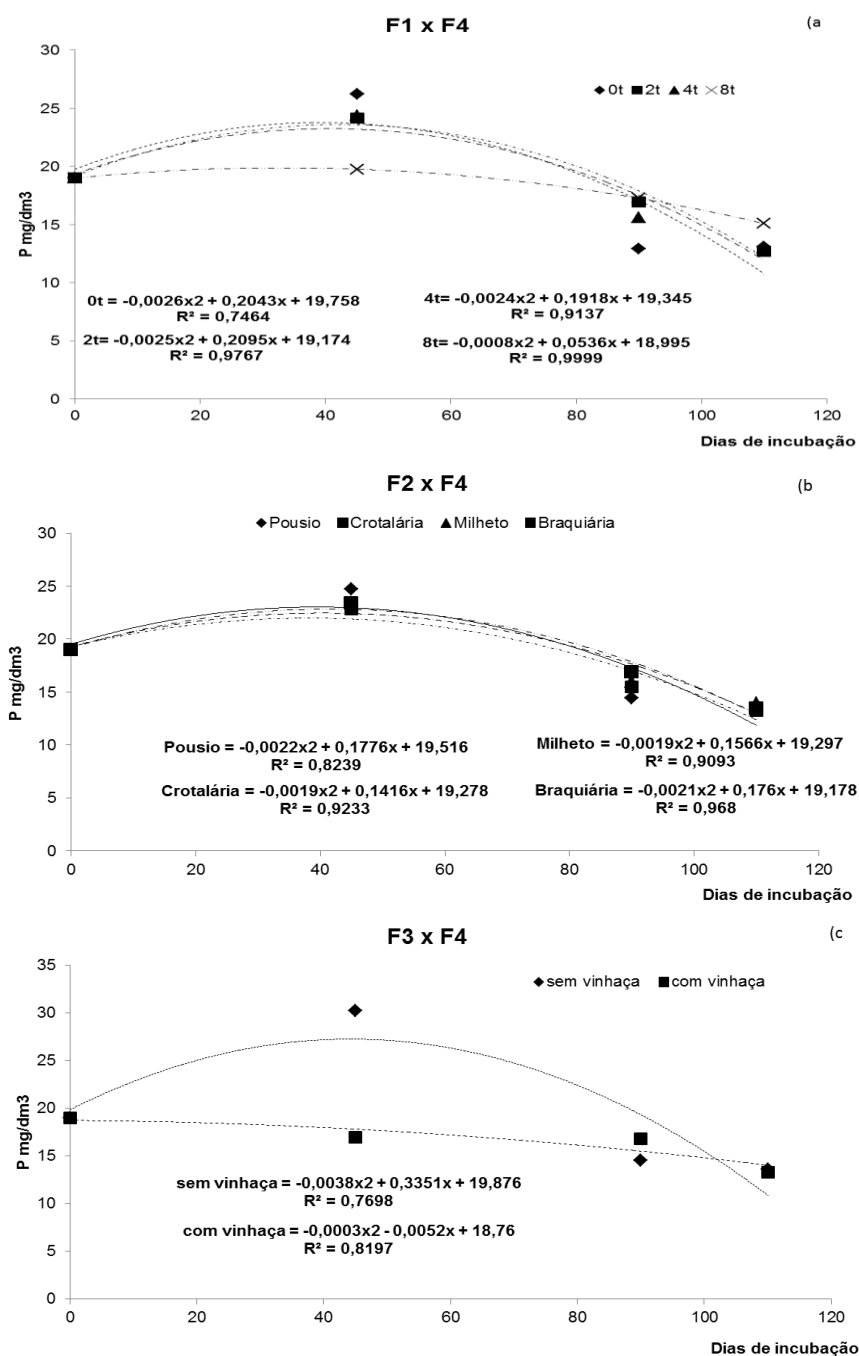


Figura: A10: Teor de fósforo em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função das combinações: a) pó de rocha e tempo (F1xF4), b), planta de cobertura e tempo (F2xF4) c) vinhaça e tempo (F3xF4).

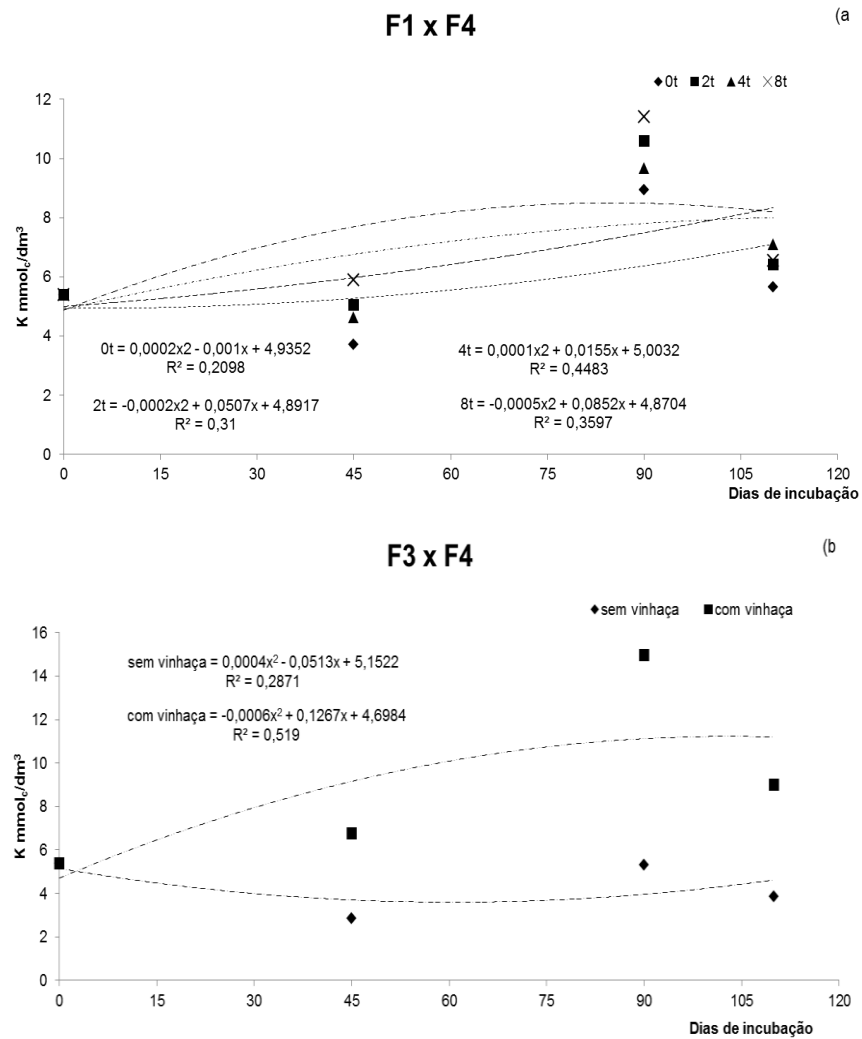


Figura: A11: Teor de potássio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função das combinações: a) pó de rocha e tempo (F1xF4), b), vinhaça e tempo (F3xF4).

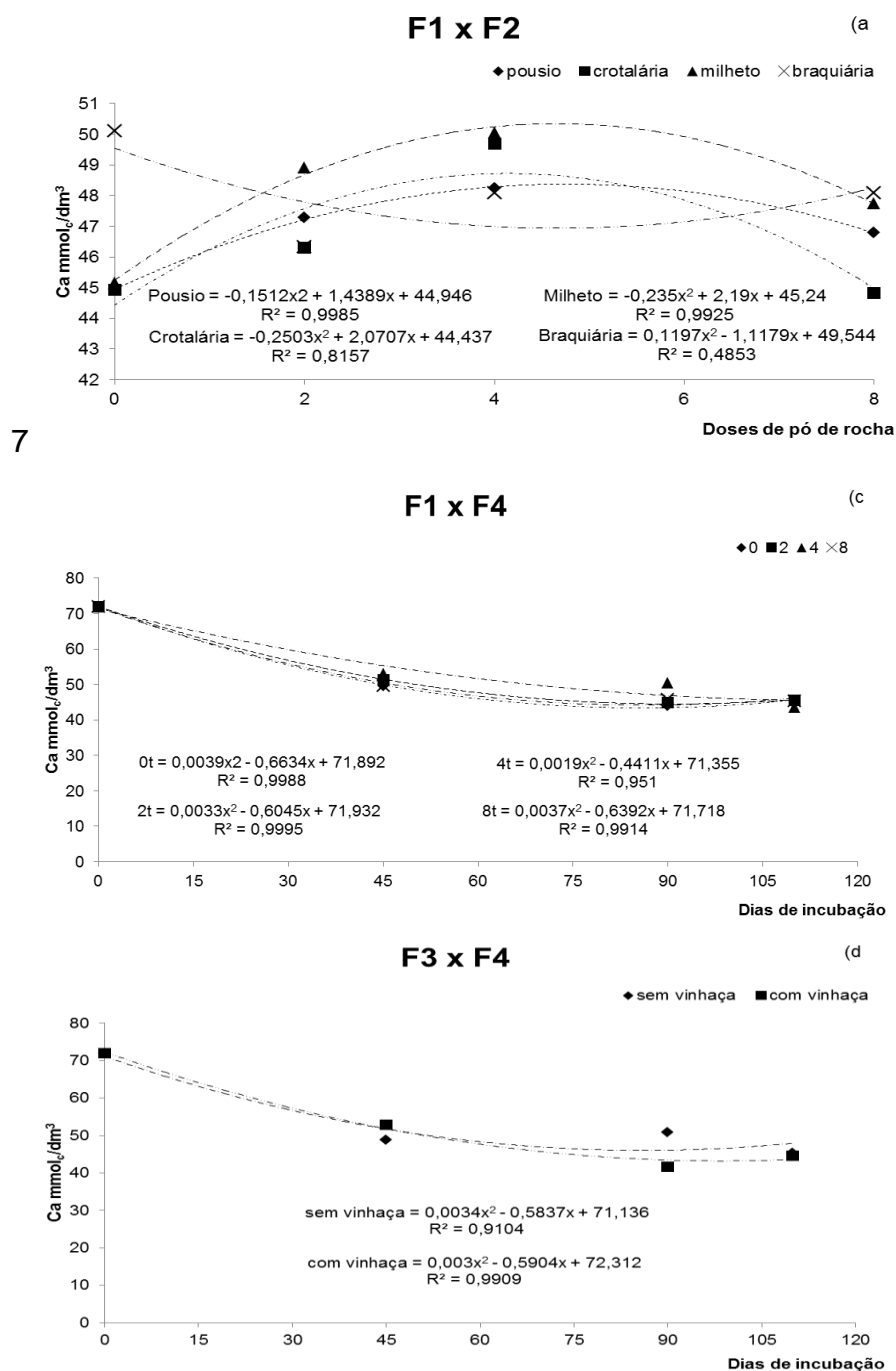


Figura: A12: Teor de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função das combinações: a) pó de rocha e plantas de cobertura (F1xF2), b), pó de rocha e vinhaça (F1xF3), c) pó de rocha e tempo (F1xF4), e d) vinhaça e tempo (F3xF4).

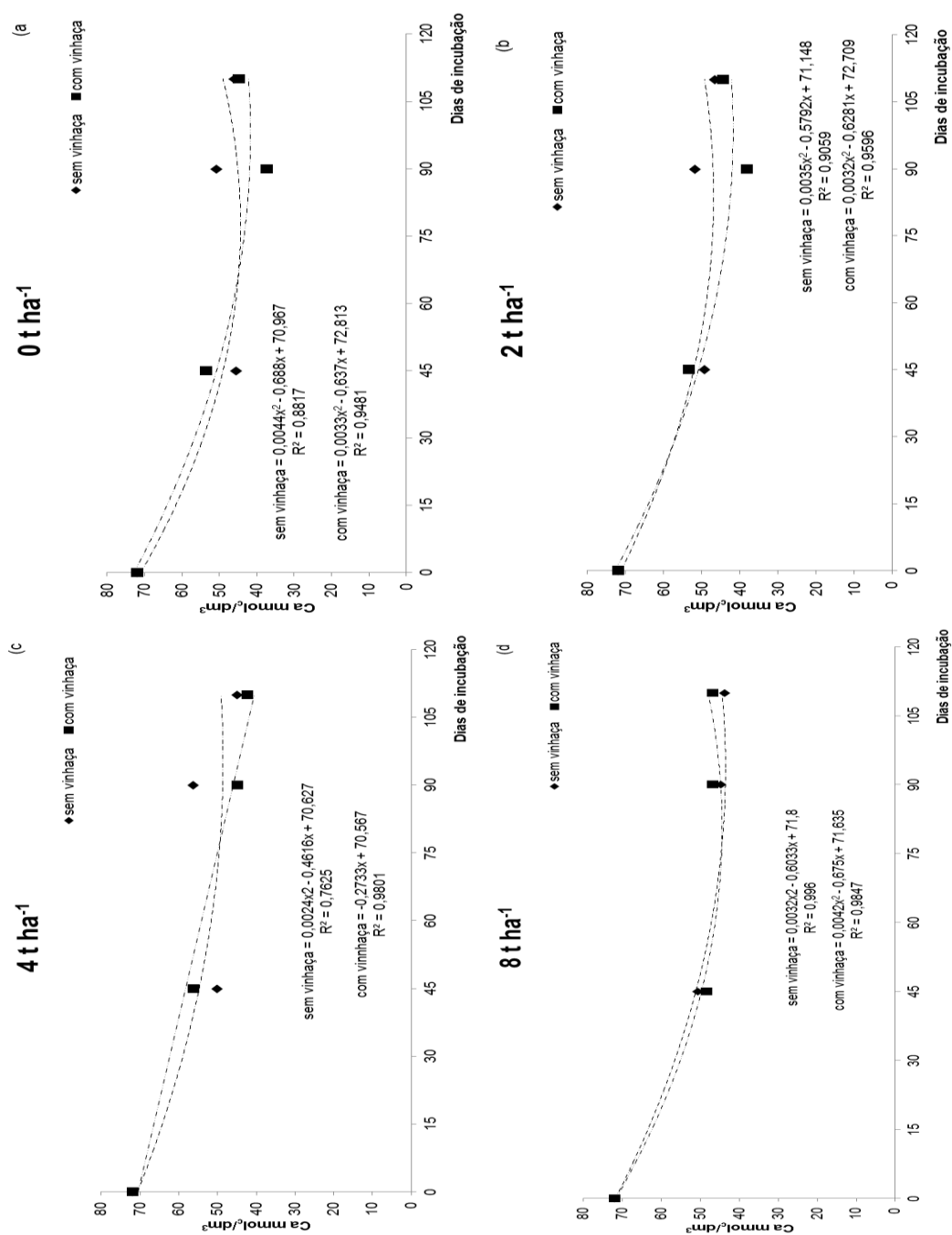


Figura A13: Teores de cálcio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e vinhaça (F1x3xF4) a) 0 t ha⁻¹ de pó de rocha, b) 2 t ha⁻¹ de pó de rocha, c) 4 t ha⁻¹ de pó de rocha, e d) 4 t ha⁻¹ de pó de rocha.

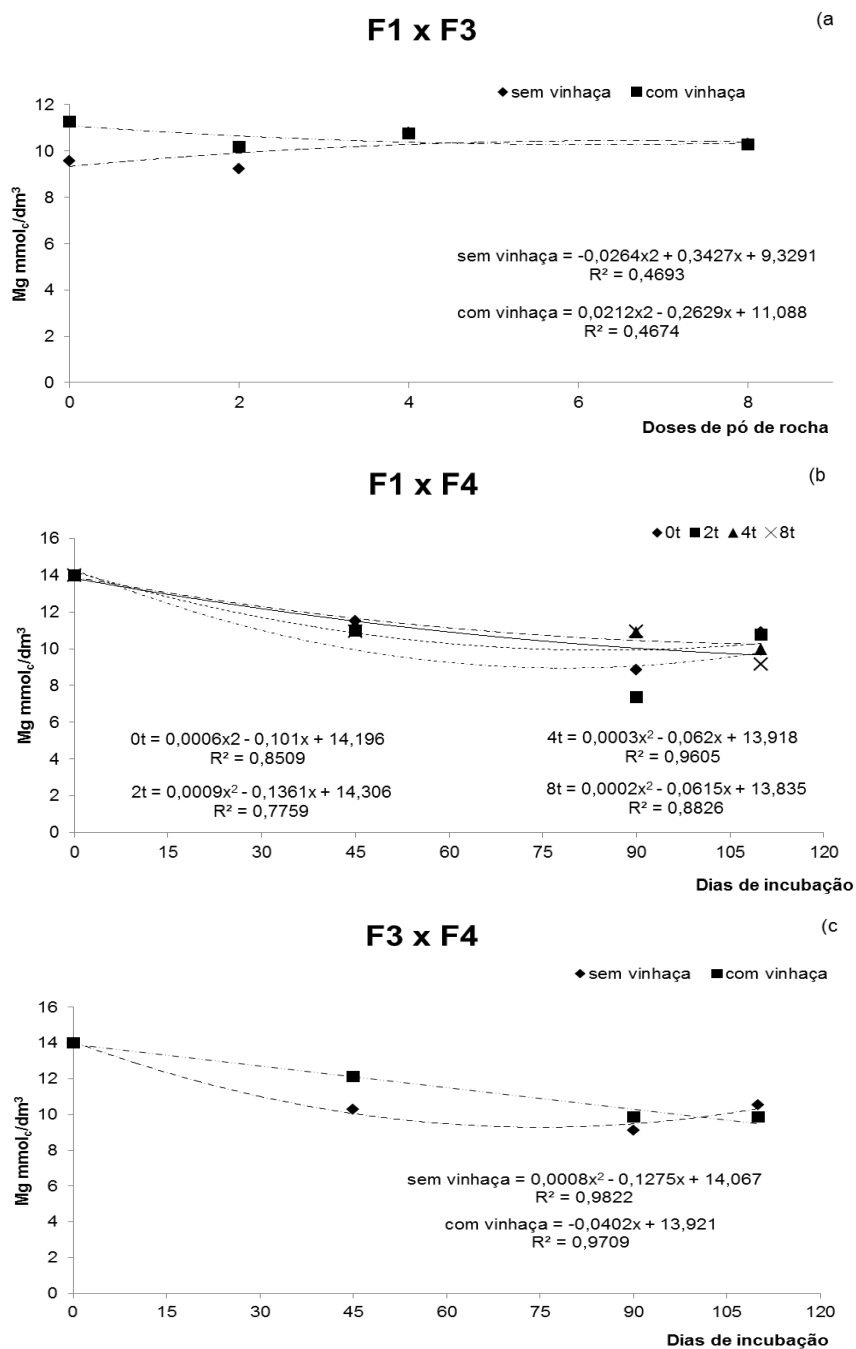


Figura: A14: Teor de magnésio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função das combinações: a) pó de rocha e vinhaça (F1xF3), b), pó de rocha e tempo (F1xF4), e c) vinhaça e tempo (F3xF4).

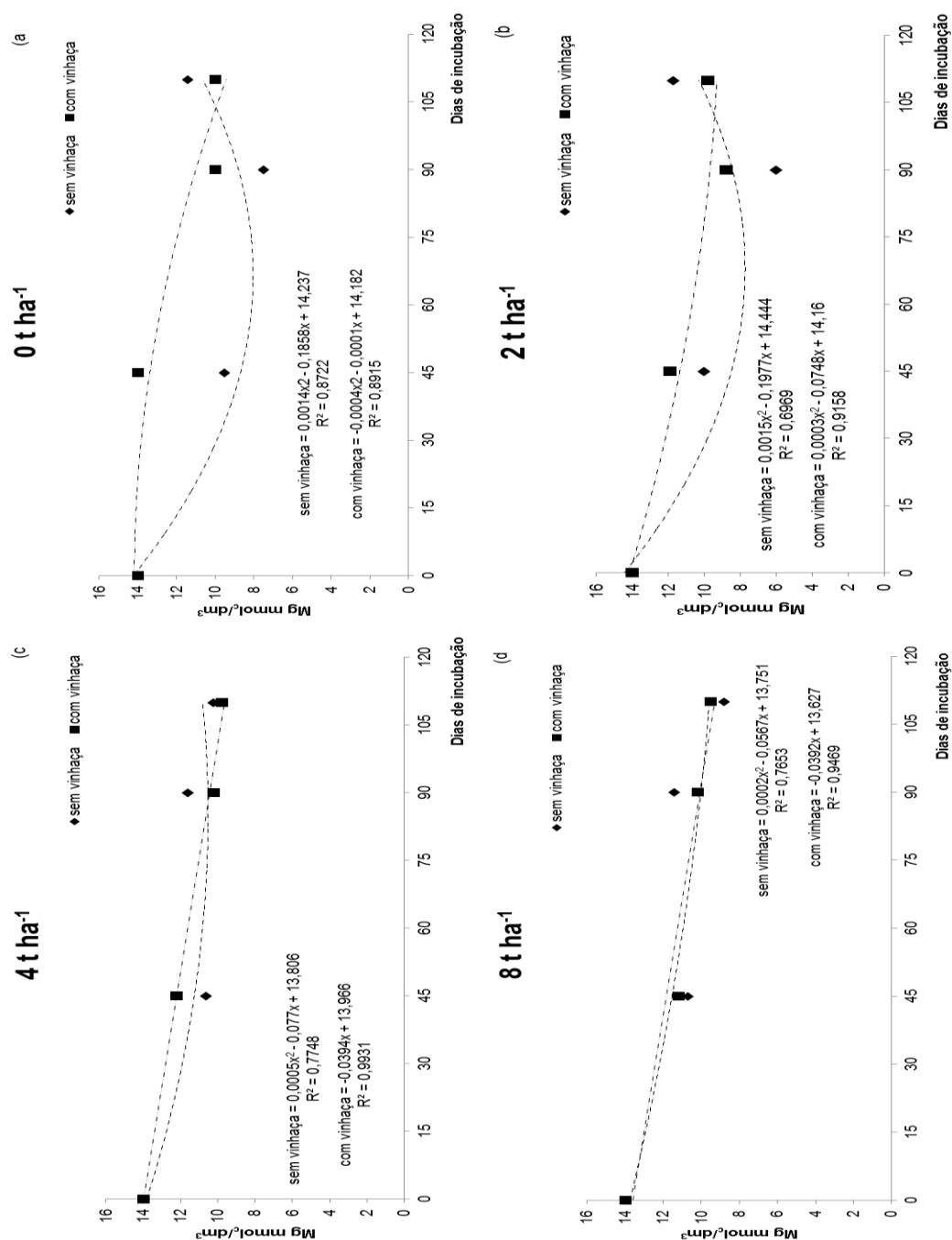


Figura A15: Teores de magnésio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e vinhaça (F1xF3xF4) a) 0 t ha⁻¹ de pó de rocha, b) 2 t ha⁻¹ de pó de rocha, c) 4 t ha⁻¹ de pó de rocha, e d) 4 t ha⁻¹ de pó de rocha.

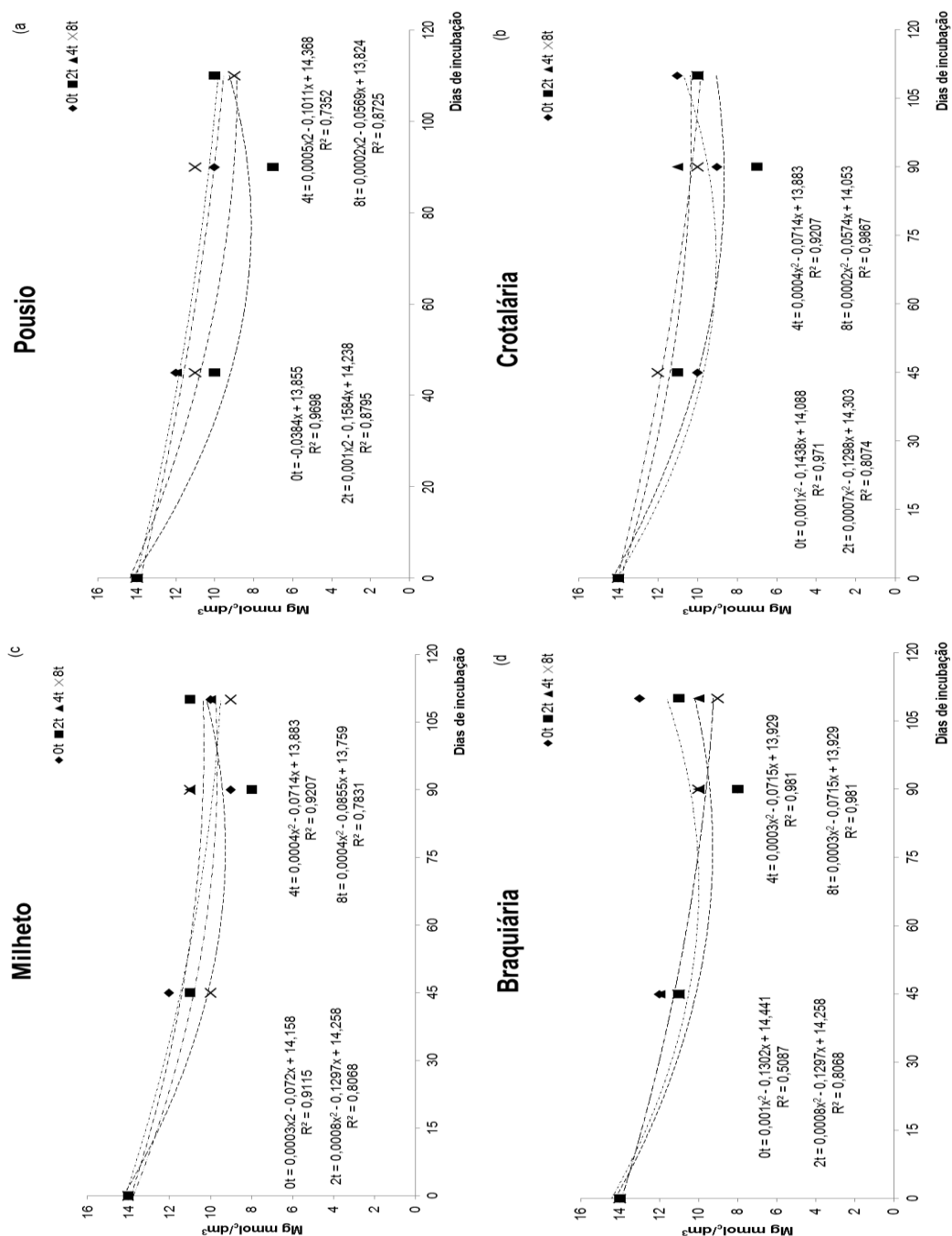


Figura A16: Teores de magnésio em solo cultivado com feijoeiro em sucessão a plantas de cobertura em casa de vegetação, em função do desdobramento da interação pó de rocha, plantas de cobertura e vinhaça (F1x F2x F4) a) Pousio, b) Crotalária, c) Milheto, e d) Braquiária.