

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**ACIDEZ DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE
CALAGEM E ROTAÇÃO DE CULTURAS**

MARCIO VERONESE

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Agricultura).

**BOTUCATU – SP
Agosto – 2011**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ACIDEZ DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE
CALAGEM E ROTAÇÃO DE CULTURAS**

MARCIO VERONESE

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Co-Orientador: Dr. Eros Artur Bohac Francisco

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Agricultura).

BOTUCATU – SP
Agosto – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Veronese, Marcio, 1978-

V549a Acidez do solo e produtividade da soja em função de
calagem e rotação de culturas / Marcio Veronese. - Botucatu :
[s.n.], 2011

xiii, 92 f. : gráfs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu,
2011

Orientador: Ciro Antonio Rosolem

Co-Orientador: Eros Artur Bohac Francisco

Inclui bibliografia

1. Calagem dos solos. 2. Rotação de cultivos. 3. Soja-
Semeadura. 4. Frente alcalina. I. Rosolem, Ciro Antonio.
II. Francisco, Eros Artur Bohac. III. Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ACIDEZ DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE
CALAGEM E ROTAÇÃO DE CULTURAS

ALUNO: MARCIO VERONESE

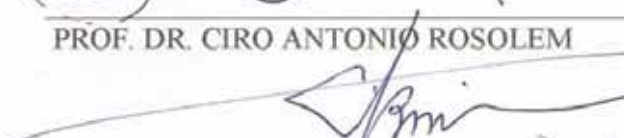
ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

CO-ORIENTADOR: DR. EROS ARTHUR BOACH FRANCISCO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM



PROF. DR. LEONARDO THEODORO BULL



PROF. DR. TAKASHI MURAOKA

Data da Realização: 18 de agosto de 2011.

Dedico,

A minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ciro Antonio Rosolem por sua orientação e pela amizade demonstrada. Por sua disponibilidade de tempo e prontidão.

A Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT) através do Programa de Monitoramento de Adubação – PMA, por permitir a realização deste trabalho dentro de sua estação experimental.

Ao pesquisador Eros Artur Bohac Francisco, pela sua co-orientação.

Ao pesquisador Leandro Zancanaro, pelo seu incentivo em realizar este projeto de vida.

A minha companheira Janaina e minha mãe, fiéis assistentes de pesquisa e conselheiras.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, com compromisso e dedicação. Nada pode ser realizado sem que haja algum esforço.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
5. MATERIAL E MÉTODOS	12
5.1. Localização e histórico da área experimental.....	12
5.2. Delineamento experimental e tratamentos	13
5.3. Instalação e condução do experimento.....	16
5.4. Avaliações	17
5.4.1. Amostragens para análise de solos	17
5.4.2. Diagnose foliar.....	18
5.4.3. Sistema radicular de soja	18
5.4.4. Produtividade de grãos	19
5.5. Análises estatísticas	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6.1. Produtividade da soja	21
6.2. Avaliação dos componentes de acidez do solo.....	24
6.2.1. Acidez ativa	24
6.2.2. Acidez trocável	31
6.2.3. Acidez potencial	37
6.2.4. Saturação por alumínio.....	42
6.3. Avaliação das bases trocáveis do solo.....	48
6.3.1. Potássio trocável	48
6.3.2. Cálcio trocável	53
6.3.3. Magnésio trocável.....	58
6.3.4. Saturação de bases	63
6.4. Concentração de nutrientes de folhas de soja.....	68
6.5. Desenvolvimento do sistema radicular.....	74
7. CONCLUSÕES	82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
9. APÊNDICE.....	90

LISTAS DE TABELAS

Página

Tabela 1. Tratamentos experimentais com blocos completos ao acaso e parcelas subdivididas, de acordo com o sistema de cultivo (SC) (parcelas), profundidade de incorporação do calcário (PI) em centímetros (subparcelas) e dose de calcário em $t \cdot ha^{-1}$ (sub subparcelas).	15
Tabela 2. Análise de variância do rendimento de grãos de soja ($kg \cdot ha^{-1}$) na safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).	22
Tabela 3. Resultados médios do rendimento de grãos de soja ($kg \cdot ha^{-1}$), em experimento na safra 09/10.	23
Tabela 4. Análise de variância do pH ($CaCl_2$) do solo na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	26
Tabela 5. Resultados médios do pH ($CaCl_2$) do solo, em experimento na safra 09/10.	27
Tabela 6. Equações de regressão do pH ($CaCl_2$) do solo em função da dose de calcário ($t \cdot ha^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	28
Tabela 7. Equações de regressão do pH ($CaCl_2$) do solo em função da dose de calcário ($t \cdot ha^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	30
Tabela 8. Análise de variância do Al trocável do solo ($cmol_c \cdot dm^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	32
Tabela 9. Resultados médios de Al trocável do solo ($cmol_c \cdot dm^{-3}$), em experimento na safra 09/10.	33
Tabela 10. Equações de regressão do Al trocável do solo ($cmol_c \cdot dm^{-3}$) em função da dose de calcário ($t \cdot ha^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	34
Tabela 11. Equações de regressão do Al trocável do solo ($cmol_c \cdot dm^{-3}$) em função da dose de calcário ($t \cdot ha^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e	

duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	36
Tabela 12. Análise de variância do teor de H+Al do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	38
Tabela 13. Equações de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	39
Tabela 14. Equações de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	41
Tabela 15. Análise de variância da saturação de alumínio (m%) do solo na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	43
Tabela 16. Resultados médios da saturação de alumínio (m%) do solo, em experimento na safra 09/10.....	44
Tabela 17. Equações de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	45
Tabela 18. Equações de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm,.....	47
Tabela 19. Análise de variância do K trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	49
Tabela 20. Resultados médios de K trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$), em experimento na safra 09/10.	50
Tabela 21. Equações de regressão do K trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: soja/pousio/soja (S/P/S), soja/milheto/soja (S/M/S) e soja/braquiária/soja (S/B/S), e duas épocas de avaliação:	

490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm,.....	52
Tabela 22. Análise de variância do Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	54
Tabela 23. Resultados médios de Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$), em experimento na safra 09/10.	55
Tabela 24. Equações de regressão do Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	57
Tabela 25. Análise de variância do Mg trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	59
Tabela 26. Resultados médios de Mg trocável ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) do solo, em experimento na safra 09/10.	60
Tabela 27. Equações de regressão do Mg trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	62
Tabela 28. Análise de variância da saturação de bases do solo (V%) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	64
Tabela 29. Equações de regressão para saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	65
Tabela 30. Equações de regressão para a saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	67
Tabela 31. Análise de variância da concentração de macro nutrientes em folhas de soja na safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).	69

Tabela 32. Resultados médios de macro nutrientes em folhas de soja, em experimento na safra 09/10.	70
Tabela 33. Análise de variância da concentração de micro nutrientes em folhas de soja na safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).	72
Tabela 34. Resultados médios de micro nutrientes em folhas de soja, em experimento na safra 09/10.	73
Tabela 35. Análise de variância da massa de matéria seca de raízes ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$), na cultura da soja, safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).	75
Tabela 36. Resultados médios da massa de matéria seca de raízes ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$), na cultura da soja, em experimento na safra 09/10.	76
Tabela 37. Análise de variância do diâmetro médio de raízes ($\text{mm} \cdot 10^{-4}$) na cultura da soja, safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).	78
Tabela 38. Resultados médios do diâmetro médio de raízes ($\text{mm} \cdot 10^{-4}$), na cultura da soja, safra 09/10, em experimento na região Centro-Oeste do Brasil.	79
Tabela 39. Análise de variância do comprimento de raízes ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$), na cultura da soja, safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).	80
Tabela 40. Resultados médios do comprimento de raízes ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$), na cultura da soja, safra 09/10, em experimento na região Centro-Oeste do Brasil.	81

LISTAS DE FIGURAS

Página

Figura 1. Croqui do experimento.....	14
Figura 2. Curvas de regressão do rendimento de grãos de soja ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), de acordo com o sistema de cultivo: soja/pousio/soja (S/P/S), soja/milheto/soja (S/M/S) e soja/braquiária/soja (S/B/S). O símbolo ** indica significância estatística pelo teste “F”, ao nível de 5%.....	23
Figura 3. Curvas de regressão do pH (CaCl_2) do solo em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	28
Figura 4. Curvas de regressão do pH (CaCl_2) do solo em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.....	29
Figura 5. Curvas de regressão do Al trocável do solo ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	33
Figura 6. Curvas de regressão do Al trocável do solo ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.	35
Figura 7. Curvas de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.	39
Figura 8. Curvas de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.....	40
Figura 9. Curvas de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.....	44
Figura 10. Curvas de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do	

- corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade. 46
- Figura 11. Curvas de regressão do K trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade. 51
- Figura 12. Curvas de regressão do Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade. 56
- Figura 13. Curvas de regressão do Mg trocável do solo ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade. 61
- Figura 14. Curvas de regressão da saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. 65
- Figura 15. Curvas de regressão da saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade. 66

APÊNDICE

Tabela 41. Concentração de macro e micro nutrientes em fitomassa seca remanescente aos 30 dias após manejo de acordo com: sistema de cultivo (SC); profundidade de incorporação do calcário (PI); quantidade de corretivo aplicado (DOSE).	90
Tabela 42. Concentração de macro e micro nutrientes em fitomassa seca remanescente aos 60 dias após manejo de acordo com: sistema de cultivo (SC); profundidade de incorporação do calcário (PI); quantidade de corretivo aplicado (Dose).....	91
Figura 16. Temperatura e precipitação média diária obtidas na Estação Meteorológica da PMA/FMT, nos anos agrícolas de 2009 e 2010, em Itiquira-MT.....	92

1. RESUMO

Em sistemas de semeadura direta, o calcário tem sido aplicado superficialmente. Devido a sua baixa solubilidade e mobilidade, tem ocorrido excesso de calcário nos primeiros centímetros do perfil do solo. Pesquisas têm demonstrado resultados contraditórios quanto à movimentação do calcário e a correção da acidez em profundidade, na presença de espécies de cobertura. O objetivo deste trabalho é estudar a contribuição diferencial de espécies de cobertura em Sistema de Semeadura Direta sobre a mobilização no perfil do solo, dos produtos da dissolução do calcário e bases trocáveis. O experimento foi instalado e conduzido, por dois anos agrícolas (2008/2009 e 2009/2010), na Estação Experimental do Programa de Monitoramento de Adução (PMA) da Fundação MT, localizada no município de Itiquira-MT. O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, em parcelas sub subdivididas com: sistema de cultivo: soja/pousio/soja, soja/milheto/soja e soja/braquiária/soja; aplicação do calcário: em superfície, incorporado a 20 e 40 cm de profundidade, e doses de calcário: 0, 0,5, 1,0 e 2,0 vezes a quantidade necessária para elevar a $V\% = 50$ na profundidade de 20 cm. Foram realizadas amostragens de solo para determinação da fertilidade após 490 e 620 dias da aplicação do corretivo. No pleno florescimento do segundo cultivo da cultura da soja, foi feita a amostragem de folhas para análise química nutricional e a avaliação do desenvolvimento do sistema radicular. Após a maturação do segundo cultivo da soja foi estimada a produtividade de grãos. Os resultados foram

submetidos às análises estatísticas, utilizando-se o pacote estatístico Sisvar. A introdução de braquiária ou milheto no sistema de produção levou a maior produtividade de soja, independente da calagem. Houve movimentação da frente alcalina no solo em função da calagem, de modo que é possível se realizar a calagem em superfície, sem prejuízo na produtividade de soja e na correção do perfil do solo até 20 cm. Logo após a dessecação das plantas de cobertura aumenta o potássio disponível na camada mais superficial do solo, em função da lavagem do nutriente dos restos culturais. Na implantação do sistema de semeadura direta, as espécies de cobertura apesar de promoverem melhorias discretas nos parâmetros de acidez do solo, não resultam em necessidade de modificação na recomendação de calagem.

Palavras chave: calagem, soja, frente alcalina, semeadura direta, perfil do solo.

SOIL ACIDITY AND SOYBEAN PRODUCTIVITY DUE TO LIMING AND CROP ROTATION. Botucatu, 2011, 92 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCIO VERONESE

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

Co- Adviser: EROS ARTUR BOHAC FRANCISCO

2. SUMMARY

In no-tillage seeding systems, limestone has been applied on the soil surface. Due to its low solubility and mobility, a limestone excess has been occurring in the first centimeters of the soil profile. Studies have shown contradictory results regarding limestone mobility and acidity correction in depth, in the presence of covering species. This study aimed to evaluate the differential contribution of covering species in no-tillage systems on the mobility in the soil profile, products of limestone dissolution and exchangeable bases. The experiment was installed and carried out in the Experimental Station of the Fertilizer Monitoring Program (Programa de Monitoramento de Adubação - PMA) at FUNDAÇÃO MT, in the city of Itiquira, MT, Brazil. The experiment had completely randomized block design in parcels that were subdivided as follow: crop system: soybean/fallow/soybean; soybean/millet/soybean; soybean/brachiaria/soybean; limestone application on the surface and incorporated at 20 and 40 cm depth, and limestone doses: 0, 0.5, 1.0 and 2.0 times the necessary amount to increase $V \% = 50$ at 20 cm depth. Some soil samplings were done to determine fertility after 490 and 620 days of corrective application. During the second soybean cultivation flowering, leaf sampling was done for chemical and nutritional analysis and root system development evaluation. After maturing of the second soybean cultivation, grain productivity was estimated. The results were submitted to statistical analysis using the Sisvar statistical package. The introduction of brachiaria or millet in the yield system increased

soybean productivity, regardless of liming. There was movement of the alkaline front of the soil due to liming; therefore, surface liming is possible without harming soybean productivity, and in correction of soil profile up to 20 cm. Soon after drying of covering plants, the available potassium in the most superficial layer of the soil is increased due to the washing of nutrient from crop leftovers. In the implementation of the no-tillage seeding system, the covering species do not require modification in the liming recommendation, even though they provide small improvements in the soil acidity parameters.

Keywords: liming, soybean, alkaline front, no-tillage seeding, soil profile.

3. INTRODUÇÃO

O Sistema de Semeadura Direta na Palha (SSD) se consagrou como importante ferramenta para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos manejados convencionalmente e de áreas degradadas. Segundo Moraes (2005), este sistema está sendo largamente adotado na cultura de grãos, por ser de menor impacto sobre os recursos naturais e por possibilitar a obtenção de elevadas produtividades com viabilidade técnica e econômica. Dados da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (2009) para a safra 2005/2006 indicam que 25,5 milhões de hectares foram cultivados sob este sistema no Brasil.

Para correção da acidez no SSD, o calcário é distribuído na superfície do solo, sem incorporação. Devido à baixa solubilidade e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário, essa prática tem sido limitante à implantação desse sistema de produção em solos com subsolos ácidos. Ritchey et al. (1980) e Souza; Ritchey (1986) argumentaram que, em vastas regiões do Brasil Central, como nas do cerrado brasileiro, devido os períodos prolongados de déficit hídrico no decorrer da safra de verão (os chamados “veranicos”), é recomendada a correção da acidez do solo abaixo de 20 cm de profundidade para favorecer o enraizamento profundo das plantas cultivadas e com isso, minimizar os riscos de redução de produtividade.

As pesquisas sobre o assunto têm mostrado resultados contraditórios, uma vez que a aplicação superficial de calcário ora é eficiente na correção da acidez, tanto de

superfície quanto de subsuperfície (OLIVEIRA; PAVAN, 1996 e CAIRES et al., 2000), ora os efeitos são limitados à camada de solo de 0-5 cm de profundidade (RHEINHEIMER, 2000 e AMARAL; ANGHINONI, 2001). Entretanto, ao longo do tempo os efeitos de calagem aparecem em profundidade (COSTA; ROSOLEM, 2007). Isso mostra que os mecanismos envolvidos no processo de correção da acidez com aplicação superficial de calcário podem ser distintos e não foram completamente esclarecidos.

Recentemente, as plantas de cobertura têm recebido atenção adicional no SSD, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da acidez na subsuperfície do solo. A eficácia desse sistema também está relacionada, entre outros fatores, com a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos por plantas de cobertura (TORRES, 2003).

Para Franchini et al. (1999, 2001, 2003) um dos principais mecanismos responsáveis pela eficiência da correção da acidez do solo com a aplicação superficial de calcário em SSD, é a liberação pelos materiais vegetais presentes na superfície do solo, de compostos orgânicos hidrossolúveis de baixa massa molar (ácidos orgânicos) antes do início da decomposição. Dentre os mecanismos responsáveis pela melhoria das características químicas do solo, destacam-se: a sorção de H^+ e Al^{3+} na superfície do material vegetal, a complexação do Al^{3+} por compostos orgânicos, a troca de ligantes entre os grupos funcionais OH^- dos oxihidróxidos de Fe e Al e os ânions orgânicos, e o aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos. A matéria orgânica é a principal fonte de ácidos orgânicos, mas a lavagem direta da palha dos resíduos vegetais e a produção de exudados radiculares e microbianos também são outras importantes fontes desses ácidos (EIRA, 1992).

Além disso, no SSD, a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo diminui as variações de temperatura e de umidade do solo, o que favorece a fauna responsável pela abertura de canais contínuos, pelos quais pode ocorrer movimentação física do calcário aplicado superficialmente (OLIVEIRA; PAVAN, 1996). Esses poros ou canais deixados pelas raízes mortas e o fendilhamento natural do solo também favorecem o deslocamento de partículas finas junto com o movimento descendente da água e podem influenciar a eficiência da calagem na correção da acidez do subsolo (CAIRES et al., 2003).

Ânions SO_4^{2-} e NO_3^- provenientes dos fertilizantes também podem promover, em determinadas condições a movimentação descendente dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) no perfil, em virtude da associação iônica na solução do solo com a neutralização

momentânea de cargas. Pearson et al. (1962) e Oliveira et al. (2002a) verificaram que a adubação nitrogenada intensificou a movimentação de Ca^{2+} e Mg^{2+} ao longo do perfil de solos tropicais submetidos à calagem, e o efeito do corretivo no subsolo foi atribuído à formação de sais solúvel sujeitos à lixiviação, com destaque para a adubação com sulfato de amônio. Pavan et al. (1984), relatam que o sulfato (SO_4^{2-}) adicionado via gessagem sob determinadas condições, pode promover a lixiviação de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Sendo assim, a lixiviação de bases no perfil do solo pode ser intensificada na presença de SO_4^{2-} e NO_3^- . Santos et al. (2007) comentam que se mal manejada, a técnica da gessagem pode acarretar lixiviação de bases trocáveis, principalmente do K, resultando em desequilíbrio iônico do solo, perdas ambientais e econômicas.

Vários estudos têm demonstrado os efeitos benéficos das plantas de cobertura nas propriedades do solo e no rendimento das culturas, decorrentes da produção de fitomassa, acúmulo e posterior liberação de nutrientes pela decomposição da palhada (BERTOL et al., 1998; AITA et al., 2001; AITA; GIACOMINI, 2003; TORRES et al., 2005; ESPÍNDOLA et al., 2006; Boer et al., 2007 e GAMA-RODRIGUES et al., 2007 apud TORRES et al., 2008).

Para este estudo, a hipótese é que, a presença de certos materiais vegetais é capaz de potencializar o efeito da calagem, através da mobilização da frente alcalina, com capacidade de complexar e mobilizar cálcio e magnésio, elevar o pH e neutralizar o alumínio, atingindo camadas de solo de 20 cm de profundidade em poucos dias.

O objetivo é estudar a contribuição diferencial de espécies de cobertura em SSD sobre a mobilização no perfil do solo, dos produtos da dissolução do calcário e bases trocáveis.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Poucas práticas agrícolas obtêm retornos tão elevados como a calagem no que diz respeito ao aumento da produtividade e consequentemente, da produção das mais diferentes culturas (ALCARDE, 1992). A calagem é a prática mais utilizada para o controle da acidez do solo, devido ao seu efeito no aumento do pH e cátions básicos, e na diminuição do Al trocável. Contudo, o calcário apresenta baixa solubilidade e mobilidade lenta, sendo o seu efeito restrito ao local de aplicação (CAIRES et al., 2000). A presença de barreira química a penetração das raízes (LOPES, 1994) devido à deficiência de cálcio na subsuperfície do solo, associada ou não à toxidez de alumínio (SOUZA, 2003), promove o restrito desenvolvimento do sistema radicular das culturas e ocasiona baixas produções, pois o volume de solo explorado pelas raízes não é suficiente para suprir a planta de água e nutrientes durante os períodos de estiagem que ocorrem na estação chuvosa (RITCHEY et al., 1980 apud LOPES, 1994).

No SSD a eficiência da calagem para a correção da acidez do subsolo é controvertida, com resultados demonstrando nenhum movimento além do seu local de aplicação, até movimento com correção do subsolo. Caires et al. (2000), trabalhando com calagem superficial em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média, verificaram que o efeito da calagem no aumento de pH, Ca+Mg trocáveis, saturação por bases e na

redução da acidez potencial ($H + Al$) ocorreu até os primeiros 10 cm de profundidade após 12 meses da aplicação do calcário. Santos et al. (1995), trabalhando com um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, verificaram que após três anos de cultivo não houve diferença de pH entre a aplicação de calcário em superfície ou incorporada a 20 cm. Oliveira; Pavan (1996) mencionam que a movimentação do corretivo pode chegar há maiores profundidades de forma lenta e gradual, como 40 cm aos 32 meses e entre 60 a 80 cm aos 40 meses após a aplicação. Os mesmos resultados foram encontrados por Costa; Rosolem (2007), que observaram efeito da calagem a 60 cm de profundidade independente da forma de aplicação. Kaminski et al. (2005), avaliando a eficiência da calagem superficial ou incorporada, antes da instalação do SSD em um Argissolo acinzentado distrófico plântico, textura média, após sete anos de cultivo, concluíram que a incorporação do calcário neutralizou a acidez em profundidades maiores e mostrou-se mais eficiente do que a aplicação superficial.

No Estado de Mato Grosso, a prática da calagem superficial tem sido adotada indiscriminadamente, simplesmente devido à facilidade e o baixo custo, ignorando todos os benefícios do SSD sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo e da resposta das culturas à acidez do solo (FUNDAÇÃO MT, 2007).

Em trabalhos recentes, têm sido verificadas respostas pouco expressivas da soja à aplicação superficial de calcário, e alta produtividade da cultura em solos ácidos sob semeadura direta (CAIRES et al., 1998, 1999). A menor resposta da soja à calagem, em áreas de semeadura direta, tem sido relacionada ao maior acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes na superfície do solo, que reduzem a atividade do Al e consequentemente, sua toxicidade, pela formação de complexos Al-orgânicos e pela maior força iônica da solução do solo (SALET et al., 1999). Além disso, o aumento na capacidade de troca de cátions do solo, devido ao maior teor de matéria orgânica, pode proporcionar concentrações suficientes de cátions trocáveis, mesmo em solo com alta acidez (CAIRES et al., 1998). Deve-se considerar, ainda, que o SSD conserva a umidade nas camadas superficiais, o que favorece a absorção de nutrientes pelas plantas (CAIRES; FONSECA, 2000).

O manejo de solos ácidos com resíduos vegetais é uma importante estratégia para diminuir a acidez, pois compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso

molecular, liberados no período inicial de decomposição, colaboram para a neutralização da acidez (FRANCHINI et al., 1999).

Vários trabalhos já foram realizados no Brasil, com o intuito de comparar o efeito dos resíduos de plantas na disponibilidade de Ca, Mg e K, bem como na complexação do Al (FRANCHINI et al., 1999 e AMARAL et al., 2004). Os resultados obtidos demonstram que os teores de Ca, Mg e K trocáveis aumentam nas camadas superficiais, uma provável resposta à quantidade presente no resíduo e não ao aumento da disponibilidade do nutriente preexistente no solo. Quanto ao Al em solução, os ácidos orgânicos mostraram-se capazes de promover sua complexação, tornando-o indisponível (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Porém, resultados apresentados por Franchini et al. (2003) permitem constatar que, sob sistemas com alto aporte de resíduos orgânicos, os cátions polivalentes (Ca, Mg e Al) são preferencialmente lixiviados no perfil do solo, em relação aos monovalentes (K).

Quanto ao pH do solo, já foram observadas algumas elevações com a adição de resíduos vegetais (FRANCHINI et al., 2001). Esse resultado seria decorrente da complexação dos H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial.

A cobertura vegetal é uma das práticas responsáveis pelo sucesso do SSD, mas depende de vários fatores, como solo, clima e a cultura a ser utilizada para formação da cobertura morta. Esta última é a mais importante, tendo como funções o controle da erosão e de plantas daninhas, manutenção da umidade e aumento do teor de matéria orgânica (VEDOATO, 1985). A palha na superfície do solo constitui reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999), dependendo das interações entre a espécie utilizada, manejo da fitomassa (época de semeadura e de corte), umidade (regime de chuvas), aeração, temperatura, atividade macro e microbiológica do solo, composição química da palha e tempo de permanência dos resíduos sobre o solo (OLIVEIRA et al., 1999; ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002b e PRIMAVESI et al., 2002). Neste contexto, Lima (2001) relata que é necessária a utilização de coberturas vegetais com a finalidade de proteção superficial do solo, formação de palhada e reciclagem de nutrientes. Alcântara et al. (2000) ressaltam a importância de plantas

de cobertura que mobilizem elementos lixiviados ou pouco solúveis presentes nas camadas mais profundas do solo.

Araújo (2003), estudando a aplicação de extratos de milho e braquiária ($12,5 \text{ t ha}^{-1}$) em colunas deformadas de um Latossolo Vermelho distroférico argiloso, não verificou efeito sobre a movimentação de calcário aplicado em superfície, sendo isso também observado por Amaral et al. (2004), trabalhando com um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico. Neste último estudo, a aplicação de calcário + ácido cítrico promoveu aumento da ordem de 10 vezes nos teores de Al^{3+} e K^{+} na solução percolada.

Kochhann; Selles (1991) relatam que o resíduo deixado na superfície e o não revolvimento do solo no SSD, provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que refletem na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas. Essas alterações modificam o movimento e a redistribuição de compostos mais solúveis, entre os quais se destaca o nitrogênio. Rosolem; Caires (1991) observam efeito da calagem na diminuição dos teores de nitrogênio amoniacal em quatro solos do Estado de São Paulo. Os autores concluíram que uma rápida nitrificação do N do fertilizante, pode levar a perdas por desnitrificação. Por outro lado, o fósforo e o potássio tendem a acumular-se na camada superficial (SHEAR; MOSCHELER, 1969).

Diante dos resultados apresentados, fica evidente a importância de ampliar os conhecimentos, sobre as interações entre as formas de aplicação de calcário e as espécies de coberturas em SSD, por serem consideráveis seus efeitos na química do solo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e histórico da área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Programa de Monitoramento de Adubação (PMA) da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária do Estado do Mato Grosso (FUNDAÇÃO MT), no município de Itiquira-MT, latitude 17° 10' S, longitude 54° 42' W e altitude de 520 m.

Localizada na região do cerrado brasileiro, a área vinha sendo cultivada com *Brachiaria brizantha*, há mais de cinco anos sob pastejo de bovinos.

O clima é classificado como tropical, quente, semi-úmido continental, segundo a classificação de Strahler, com meses de seca de junho a agosto. Precipitação anual de 1.500 mm, com intensidade máxima de dezembro a fevereiro. No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) a denominação da unidade de solo da área experimental é Latossolo Vermelho-Amarelo alumínico.

5.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental proposto é o de blocos completos ao acaso em parcelas sub subdivididas com quatro repetições (Figura 1). As parcelas, cujas dimensões foram de 600 m², representam o sistema de cultivo (SC): soja/pousio/soja (S/P/S), soja/milheto/soja (S/M/S) e soja/braquiária/soja (S/B/S). As subparcelas representam a profundidade de incorporação do calcário (PI): em superfície ou 0 cm, incorporado a 20 ou 40 cm, tendo, por conseguinte, 200 m². As sub subparcelas de 50 m² representam as doses de calcário: 0, 0,5 1,0 e 2,0 vezes a quantidade necessária para elevar a V % = 50 na profundidade de 20 cm, conforme recomendação para a cultura da soja (FUNDAÇÃO MT, 2008), representadas pelas doses de 0,0, 2,0, 4,0 e 8,0 t ha⁻¹ a PRNT de 100% respectivamente. O calcário aplicado apresentou as seguintes características: 28% de CaO, 18,5% de MgO, 96% de PN e 76,6 % de PRNT. Na Tabela 1 estão demonstrados os tratamentos experimentais empregados.

		20 m	3 m	20 m	3 m	20 m	3 m	20 m	
		SC 1		SC 3		SC 3		SC 2	
10 m		4,0	2,0	0,0	8,0	4,0	2,0	8,0	2,0
		0,0	8,0	4,0	2,0	8,0	0,0	4,0	0,0
		superfície		superfície		superfície		superfície	
10 m		0,0	4,0	4,0	2,0	2,0	0,0	0,0	2,0
		2,0	8,0	8,0	0,0	4,0	8,0	4,0	8,0
		20 cm		20 cm		20 cm		20 cm	
10 m		0,0	8,0	2,0	4,0	0,0	2,0	0,0	4,0
		2,0	4,0	0,0	8,0	8,0	4,0	8,0	2,0
		40 cm		40 cm		40 cm		40 cm	
		corredor de 8 m							
		SC 2		SC 1		SC 2		SC 3	
10 m		4,0	2,0	8,0	2,0	0,0	8,0	4,0	2,0
		0,0	8,0	4,0	0,0	4,0	2,0	8,0	0,0
		superfície		superfície		superfície		superfície	
10 m		0,0	4,0	0,0	2,0	4,0	2,0	2,0	0,0
		2,0	8,0	4,0	8,0	8,0	0,0	4,0	8,0
		40 cm		40 cm		40 cm		40 cm	
10 m		0,0	8,0	0,0	4,0	2,0	4,0	0,0	2,0
		2,0	4,0	8,0	2,0	0,0	8,0	8,0	4,0
		20 cm		20 cm		20 cm		20 cm	
		corredor de 8 m							
		SC 3		SC 2		SC 1		SC 1	
10 m		4,0	2,0	4,0	2,0	8,0	2,0	0,0	8,0
		8,0	0,0	0,0	8,0	4,0	0,0	4,0	2,0
		40 cm		40 cm		40 cm		40 cm	
10 m		2,0	0,0	0,0	4,0	0,0	2,0	4,0	2,0
		4,0	8,0	2,0	8,0	4,0	8,0	8,0	0,0
		20 cm		20 cm		20 cm		20 cm	
10 m		0,0	2,0	0,0	8,0	0,0	4,0	2,0	4,0
		8,0	4,0	2,0	4,0	8,0	2,0	0,0	8,0
		superfície		superfície		superfície		superfície	
		corredor de 8 m							

Figura 1. Croqui do experimento.

Tabela 1. Tratamentos experimentais com blocos completos ao acaso e parcelas sub subdivididas, de acordo com o sistema de cultivo (SC) (parcelas), profundidade de incorporação do calcário (PI) em centímetros (subparcelas) e dose de calcário em t ha⁻¹ (sub subparcelas).

Tratamento	SC ¹	PI ²	Dose de calcário ³
1	(S/P/S)	0	0,0
2	(S/P/S)	0	2,0
3	(S/P/S)	0	4,0
4	(S/P/S)	0	8,0
5	(S/P/S)	20	0,0
6	(S/P/S)	20	2,0
7	(S/P/S)	20	4,0
8	(S/P/S)	20	8,0
9	(S/P/S)	40	0,0
10	(S/P/S)	40	2,0
11	(S/P/S)	40	4,0
12	(S/P/S)	40	8,0
13	(S/P/S)	0	0,0
14	(S/P/S)	0	2,0
15	(S/P/S)	0	4,0
16	(S/P/S)	0	8,0
17	(S/P/S)	20	0,0
18	(S/P/S)	20	2,0
19	(S/P/S)	20	4,0
20	(S/P/S)	20	8,0
21	(S/P/S)	40	0,0
22	(S/P/S)	40	2,0
23	(S/P/S)	40	4,0
24	(S/P/S)	40	8,0
25	(S/B/S)	0	0,0
26	(S/B/S)	0	2,0
27	(S/B/S)	0	4,0
28	(S/B/S)	0	8,0
29	(S/B/S)	20	0,0
30	(S/B/S)	20	2,0
31	(S/B/S)	20	4,0
32	(S/B/S)	20	8,0
33	(S/B/S)	40	0,0
34	(S/B/S)	40	2,0
35	(S/B/S)	40	4,0
36	(S/B/S)	40	8,0

¹ Sistema de cultivo: soja/pousio/soja (S/P/S), soja/milheto/soja (S/M/S) e soja/braquiária/soja (S/B/S).

² Profundidade de incorporação: 0, 20 e 40 cm.

³ Dose de calcário a PRNT 100%, em quantidade recomendada para atingir saturação por bases de 50% na profundidade de 20 cm.

5.3. Instalação e condução do experimento

A área experimental inicialmente foi manejada para uniformização do solo até a profundidade de 40 cm. Foram realizadas as seguintes operações: subsolagem (40 cm); gradagem com disco de 28"; aivecagem (40 cm); gradagem com disco de 28" e nivelção com grade de 22".

Em junho de 2008 antes da montagem do experimento, foi coletada uma amostra de solo composta com 20 pontos na profundidade de 0-20 cm, para caracterização inicial. Em seguida o material coletado foi analisado quimicamente conforme procedimentos descritos pela EMBRAPA (2009). Os resultados obtidos foram: $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$: 3,78; P: 1,8 mg dm^{-3} ; K: 0,10, Ca: 1,18, Mg: 0,69, H+Al: 6,9, Al: 0,70 e CTC: 10,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V: 27%; m: 24% e MO: 3,3%. A análise granulométrica foi realizada segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). Os resultados obtidos foram: areia: 230; silte: 135 e argila: 635 em g Kg^{-1} .

A distribuição do material corretivo foi realizada de forma manual e a incorporação nas parcelas indicadas de forma mecanizada. Utilizou-se grade niveladora com discos de 22" nos tratamentos de 20 cm, com uma passada; nos tratamentos de 40 cm a metade da dose foi distribuída e feita à incorporação com arado de aiveca a 40 cm, aplicando-se logo após a segunda metade e finalizando a incorporação com uma passada de grade niveladora com discos de 22". Onde o tratamento foi superficial, não houve manejo de incorporação.

O primeiro cultivo de soja (safra 08/09) foi realizado no sistema convencional de acordo com as recomendações oficiais (FUNDAÇÃO MT, 2008) para época de semeadura, adubação e tratamentos fitossanitários.

A semeadura foi realizada em 3 de novembro de 2008, de forma mecanizada em semeadeira com sistemas de discos para abertura do sulco da semente e adubo com espaçamento de 45 cm entre linhas. Trinta minutos antes do plantio, as sementes foram inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio, *Bradyrhizobium japonicum*. A adubação empregada na semeadura foi de 550 kg ha^{-1} da fórmula 00-20-15 e 100 kg ha^{-1} de cloreto de potássio em cobertura aos 25 dias. A variedade utilizada foi a TMG 115, transgênica, com ciclo de 127 dias.

As culturas de cobertura do solo foram semeadas mecanicamente, após a colheita da soja (safra 08/09). O espaçamento entre linhas foi de 45 cm para ambas as espécies, e as quantidades de semente utilizadas foram calculadas para: 12 kg ha⁻¹ de sementes de milheto (*Pennisetum glaucum*) e 4 kg ha⁻¹ para sementes de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*).

O segundo cultivo de soja (safra 09/10) foi realizado no SSD de acordo com as recomendações oficiais (FUNDAÇÃO MT, 2009) para época de semeadura, adubação e tratamentos fitossanitários.

A dessecação da cultura de cobertura foi feita com 20 dias de antecedência a semeadura da soja. Foi adotado o manejo químico com Glyphosate de acordo com a recomendação indicada no rótulo do produto.

A semeadura foi realizada em 27 de outubro de 2009, de forma mecanizada em semeadeira com sistemas de discos para abertura do sulco da semente e adubo. Trinta minutos antes do plantio, as sementes foram inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio, *Bradyrhizobium japonicum*. A adubação empregada na semeadura foi a mesma do primeiro cultivo, 550 kg ha⁻¹ da fórmula 00-20-15 e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio em cobertura aos 25 dias. A variedade utilizada foi a TMG 132, com ciclo de 124 dias.

5.4. Avaliações

5.4.1. Amostragens para análise de solos

A amostragem de solo foi realizada em duas épocas: 490 dias (Coleta 1) e 620 dias (Coleta 2) após a aplicação do corretivo. A primeira coleta corresponde ao período de dessecação das culturas de inverno, para a semeadura da segunda safra de soja (09/10). A segunda coleta foi realizada logo após a colheita da soja da safra (09/10).

As profundidades de amostragem foram de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm para a primeira coleta, e 0-10, 10-20 e 20-40 cm para a segunda coleta. A profundidade de

40-60 cm da segunda coleta, não foi amostrada, devido à limitação do equipamento de amostragem, que impossibilitou a retirada das amostras, pelas condições de umidade do solo.

Para retirada das amostras foi utilizado um trado tipo sonda desenvolvido pela Fundação MT, retirando-se aleatoriamente, oito subamostras por subparcela para constituir uma amostra composta de cada camada.

Após a coleta as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos do Depto. de Produção Vegetal – FCA/UNESP, para determinação do pH (CaCl_2), acidez potencial (H^+/Al) e trocável (Al), Ca e Mg e K trocáveis, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009), e calculados os valores de $\text{V}\%$ e $\text{m}\%$.

5.4.2. Diagnose foliar

Amostras de folha foram coletadas no período de florescimento da soja, correspondente ao estágio R2 (FERH et al., 1971), As folhas coletadas foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação de ar a temperatura de 60°C , por 72 horas. Em seguida foram moídas em moinho “Wiley” equipado com peneira 20. Foram realizadas análises de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre, zinco e manganês, conforme metodologia de análise descrita pela EMBRAPA (2009).

5.4.3. Sistema radicular de soja

A avaliação do crescimento e distribuição do sistema radicular da soja foi realizada após o segundo cultivo de soja (safra 09/10) no segundo ano de implantação do experimento, no período de florescimento da cultivar TMG-132, correspondente ao estágio R2 (FEHR et al., 1971). A amostragem foi efetuada com um tubo cilíndrico de aço, de 80 cm de altura, diâmetro interno de 7,5 cm e parede de tubo de 0,4 cm. O tubo foi serrado ao meio para permitir que, aberto, as amostras fossem separadas em extratos de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. O tubo era fechado por estruturas de encaixe em suas extremidades inferior e superior. A amostragem foi realizada na linha e na entrelinha da cultura, retirando-se três subamostras por

subparcela de soja. Foram amostrados apenas os tratamentos que continham a dose de 0,0 e 4,0 t ha⁻¹ de calcário.

Após a coleta, o solo contendo as raízes foi acondicionado em sacos plásticos e congeladas a -4°C, para serem posteriormente lavadas e analisadas. Precedendo a lavagem das raízes, as amostras foram colocadas em recipientes (baldes plásticos) contendo água para acelerar o descongelamento e amolecer o solo para facilitar o processo de lavagem. Após o descongelamento dos torrões, as amostras foram colocadas sob peneiras com malha de 1 mm e lavadas com jatos de água dirigidos para a retirada de todo o solo das amostras. Utilizaram-se pinças para separar as raízes das impurezas e dos restos culturais. Em seguida, as raízes, ainda contendo impurezas, foram colocadas em bacias com água, para que os fragmentos mais leves flutuassem e com isso fossem facilmente retirados com a pinça. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos, submersas em solução aquosa contendo 30 % de álcool etílico para aumentar o tempo de conservação, e armazenadas sob refrigeração a 2 °C.

A avaliação das raízes foi realizada no laboratório de relação solo planta do Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal da FCA-UNESP, Botucatu, por um sistema de análise de imagens, o RHIZO, versão 3.8.3, para ambiente Windows (RÉGENT INSTRUMENTS, 1997a,b). Determinou-se a densidade de comprimento radicular (cm cm⁻³ de solo), baseado no método de Tennant (1975) e o diâmetro médio radicular (mm 10⁻⁴). Essas avaliações foram realizadas com resolução média de 300 dpi. Em seguida as amostras de raízes foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de aeração forçada a 65°C por 48 horas, para determinação da massa seca radicular.

5.4.4. Produtividade de grãos

A produtividade média de grãos foi determinada colhendo-se plantas da área útil de cada sub subparcela nas três linhas centrais com 4 metros de comprimento. Após a colheita os grãos de soja foram separados do restante do material vegetal com auxílio de uma trilhadeira mecânica e pesados. O teor de água dos grãos foi corrigido para 13 % de umidade e a produtividade obtida foi transformada para kg ha⁻¹.

5.5. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram baseadas em Gomes (1973) e Mischak; Pinho (1996). Os resultados foram submetidos à análise de variância, pelo SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2003), em esquema de parcelas sub subdivididas. As variáveis qualitativas tiveram suas médias comparadas pelo teste da diferença mínima significativa (DMS), a 5%, conforme descrito por Little; Hills (1976). A relação entre as variáveis quantitativas e a sua natureza foi avaliada por análise de regressão. Foi adotada como critério para escolha do modelo mais adequado, a significância dos coeficientes de regressão pelo teste de t até 50% de probabilidade, além da magnitude e significância dos coeficientes de determinação calculados no mesmo nível de significância.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Produtividade da soja

A análise de variância para a produtividade da soja safra 09/10, mostrou diferença significativa no sistema de cultivo e na dose de calcário aplicada. (Tabela 2). Avaliando o efeito do sistema de cultivo, observa-se que a presença do milheto ou braquiária na entressafra da soja, aumentou o rendimento de grãos comparado ao sistema com pousio, com diferenças na produtividade de 242 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Trabalhos encontrados na literatura como o de Chaves; Calegari (2001) relatam que sob condições de cerrado, as gramíneas têm desempenhado uma importante atuação como planta de cobertura. Boer et al. (2007), afirma que a rotação de culturas promove à diversificação da produção agrícola com sustentabilidade, sendo uma estratégia para melhoria da qualidade ambiental e diminuindo os efeitos nocivos do monocultivo. Para Duda et al. (2003), os resíduos culturais na superfície do solo também constituem uma importante reserva de nutrientes, uma vez que essas plantas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial pela decomposição dos seus resíduos. Esta disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003).

Avaliando o efeito da dose de calcário, observa-se que houve resposta na produtividade de grãos de soja da menor até a maior dose de calcário aplicada, com diferença de 442 kg ha⁻¹ de grãos de soja, como pode ser observado na Tabela 3.

Na Figura 2 pode-se constatar que, independente da dose de calcário a produtividade é incrementada quando é introduzido milheto ou braquiária no sistema de cultivo. Com 2 t ha⁻¹ de calcário no sistema com palha, a produtividade foi maior do que a maior dose de calcário aplicada, no sistema com pousio. Mesmo sem a aplicação de calcário, o sistema com cobertura na entressafra foi capaz de produzir mais do que a adição de 50% da dose recomendada para a correção da acidez do solo. Com este experimento é possível mostrar que, pode-se aumentar a produtividade apenas com cobertura do solo no período de entressafra da soja, e mesmo sem adição de calcário.

Tabela 2. Análise de variância do rendimento de grãos de soja (kg ha⁻¹) na safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).

Causas de variação	Produtividade de grãos de soja
Valor de F¹	
SC	10,44 *
PI	2,57 ns
SC x PI	0,83 ns
Dose	28,08 **
SC x Dose	0,27 ns
PI x Dose	0,23 ns
SC x PI x Dose	0,89 ns
N.M.S.	
SC	0,011
PI	0,104
SC x PI	0,523
Dose	0,000
SC x Dose	0,948
PI x Dose	0,964
SC x PI x Dose	0,560
C.V.	
SC ²	12,4
PI ³	13,3
Dose ⁴	8,9

¹ **, * e ns, significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV SC, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV PI, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV Dose, refere-se às sub subparcelas.

Tabela 3. Resultados médios do rendimento de grãos de soja (kg ha^{-1}), em experimento na safra 09/10.

Sistema de cultivo	
S/P/S	2197,9 b
S/M/S	2429,0 a
S/B/S	2439,5 a
Dose	
0	2111,9 c
2	2334,8 b
4	2421,8 b
8	2553,4 a

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Dose de calcário (Dose): 0, 2, 4 e 8 t ha^{-1} .

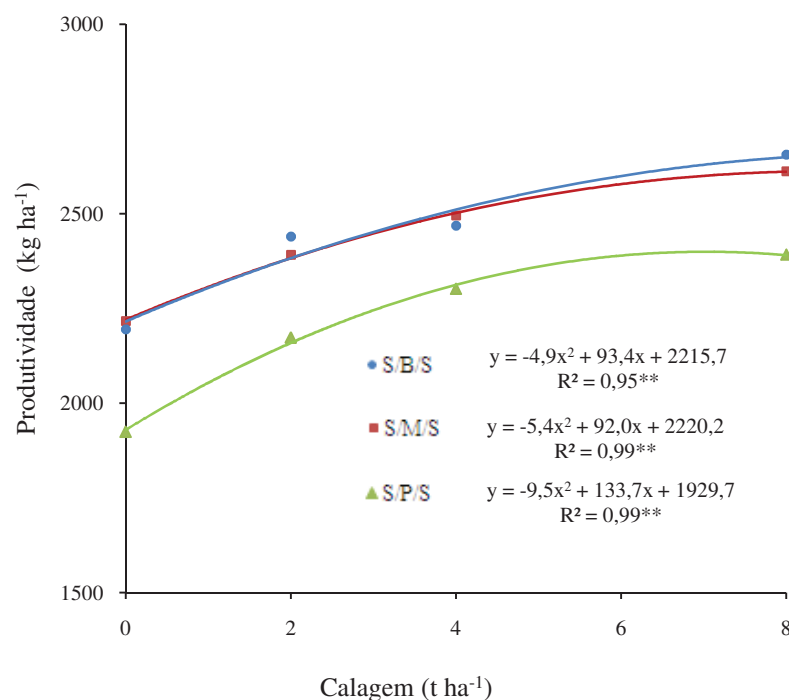


Figura 2. Curvas de regressão do rendimento de grãos de soja (kg ha^{-1}) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), de acordo com o sistema de cultivo: soja/pousio/soja (S/P/S), soja/milheto/soja (S/M/S) e soja/braquiária/soja (S/B/S). O símbolo ** indica significância estatística pelo teste “F”, ao nível de 5% de probabilidade.

6.2. Avaliação dos componentes de acidez do solo

6.2.1. Acidez ativa

Observando-se a análise de variância do pH do solo, apresentada na Tabela 4, constata-se que houve diferença significativa para o sistema de cultivo, profundidade de incorporação, dose e época do coleta.

O sistema de cultivo, promoveu alterações no pH até a profundidade de 20 cm no perfil do solo (Tabela 5). Na presença de braquiária como espécie de cobertura do solo houve aumento de pH. O sistema de cultivo com milheto, apesar de também contribuir para elevação do pH na camada de 0-10 cm, não foi capaz de se diferenciar do sistema com pousio.

Na Figura 3, observa-se que houve interação do sistema de cultivo com a dose de calcário aplicada na camada de 10-20 cm. Quanto maior a dose de calcário, maior o efeito do sistema com braquiária em elevar o pH.

Na Tabela 5, considerando apenas o efeito da profundidade de incorporação do corretivo, verificaram-se alterações no pH até a profundidade de 40 cm. O manejo de incorporação do calcário a 40 cm diminui o efeito da dose e apresentou valores de pH mais elevados em profundidade do que em superfície, sendo que este efeito, se restringe até a camada de 40 cm no perfil (Figura 4). Estes resultados apresentam-se conforme o esperado, uma vez que para o manejo de 40 cm, a incorporação foi realizada com arado de aiveca. Este equipamento inverte as camadas no perfil, trazendo o solo de baixo para cima e vice e versa. Sendo assim acredita-se que as maiores influências nos resultados do pH estão diretamente relacionadas com o implemento utilizado e não com a movimentação dos produtos da dissolução do calcário no solo, apesar delas ocorrerem.

É importante salientar que no manejo de incorporação a 40 cm, ocorre diluição da dose, uma vez que não houve um fator de correção para a profundidade, quando se calculou as doses de 0,5, 1,0 e 2,0 vezes a necessidade de corretivo. O mesmo pode ser dito no manejo sem incorporação, onde ocorre a concentração. Isto de certa forma, pode justificar as diferenças de pH entre os manejos, que foram mais expressivas na camada superficial em relação à camada de 20-40 cm.

Após o cultivo da safra de soja 09/10, na segunda coleta de solo (Tabela 5), observa-se que houve movimentação da frente alcalina no perfil, para o manejo com calagem superficial, pois aos 620 dias os valores de pH no perfil de 10-20 cm, não mais se diferenciaram para o manejo com incorporação a 20 cm. Estes resultados podem estar relacionados com o tempo de reação do corretivo, uma vez que não foram observadas interações positivas com o sistema de cultivo. A diminuição do efeito do calcário em profundidade, esta relacionada com os materiais corretivos utilizados, que são pouco solúveis em água, e os produtos da reação do calcário mostram mobilidade limitada no perfil do solo (CAIRES et al., 1999). Para Costa (2000), a reação do calcário no solo decorre de suas características intrínsecas, do modo e tempo de aplicação, das condições físicas e químicas do solo favoráveis a sua dissolução. Cambri (2004) avaliou o efeito do calcário em SSD sem revolvimento 6 meses após a aplicação em superfície, e observou que as modificações no pH ficaram restritas a camada de 0-5 cm de profundidade.

Independente do sistema de cultivo ou da profundidade de incorporação, com o aumento da dose de calcário aplicada ao solo, houve aumento do valor de pH em todas as camadas amostradas, como pode ser observado na Figura 4. O maior efeito no pH, esta relacionado com o aumento na dose do corretivo aplicado do que com os outros fatores. Mesmo na calagem superficial com o aumento da dose de calcário foi observados efeitos no pH até a profundidade de 60 cm. Isolando-se apenas o efeito da dose de corretivo, observa-se que, na ausência de calcário, os valores de pH não se elevaram com a presença de palha no sistema de cultivo (Figura 3). Estes resultados, discordam dos encontrados na literatura, em que, o aumento do pH de solos ácidos com a adição de resíduos vegetais é um resultado relativamente comum (HOYT; TURNER, 1975; HUE; AMIEN, 1989; MIYAZAWA et al., 1993; FRANCHINI et al., 1999 a,b e AMARAL et al., 2000). A baixa produção de massa de matéria seca de cobertura, devido ao volume de chuva abaixo da média histórica para o período, pode ter contribuído para que os efeitos fossem minimizados, ou a camada de amostragem não ter sido estratificada o suficiente para detectar alterações no pH. Amaral et al. (2004), avaliando o efeito de diversos resíduos de cobertura com valores de massa de matéria seca próximos a 10 t ha^{-1} , observaram alteração do pH até a profundidade de 2,5 cm. Os efeitos no solo dos ácidos orgânicos provenientes da decomposição inicial de resíduos vegetais têm sido verificados somente quando foram utilizadas doses muito elevadas

(40 a 80 t ha⁻¹ de resíduo seco) (MIYAZAWA et al., 1993; FRANCHINI et al., 1999 a,b; ZIGLIO et al., 1999 e FRANCHINI et al., 2001).

Tabela 4. Análise de variância do pH (CaCl₂) do solo na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	8,03 ns	15,674 *	13,50 *	
SC	4,31 *	4,48 *	2,15 ns	3,24 ns
Coleta x SC	2,26 ns	1,38 ns	0,52 ns	
PI	213,78 **	9,16 **	13,98 **	1,10 ns
Coleta x PI	3,29 *	3,76 *	0,14 ns	
SC x PI	0,92 ns	0,65 ns	0,51 ns	1,01 ns
Coleta x SC x PI	0,80 ns	1,32 ns	1,01 ns	
Dose	293,29 **	177,79 **	70,64 **	27,05 **
Coleta x Dose	0,15 ns	4,33 **	5,02 **	
SC x Dose	2,09 ns	2,85 *	0,60 ns	1,73 ns
PI x Dose	26,36 **	2,34 *	1,45 ns	1,01 ns
Coleta x SC x Dose	0,11 ns	0,43 ns	1,49 ns	
Coleta x PI x Dose	0,64 ns	1,65 ns	0,46 ns	
SC x PI x Dose	1,01 ns	1,63 ns	2,02 *	1,29 ns
Coleta x SC x PI x Dose	1,12 ns	0,51 ns	0,37 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,066	0,029	0,035	
SC	0,039	0,035	0,159	0,111
Coleta x SC	0,147	0,289	0,609	
PI	0,000	0,001	0,000	0,355
Coleta x PI	0,049	0,033	0,868	
SC x PI	0,465	0,633	0,726	0,430
Coleta x SC x PI	0,532	0,282	0,415	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,000
Coleta x Dose	0,930	0,006	0,002	
SC x Dose	0,058	0,012	0,734	0,124
PI x Dose	0,000	0,034	0,200	0,423
Coleta x SC x Dose	0,996	0,860	0,184	
Coleta x PI x Dose	0,702	0,136	0,839	
SC x PI x Dose	0,447	0,088	0,025	0,241
Coleta x SC x PI x Dose	0,347	0,905	0,972	
C.V.				
Coleta ²	7,9	7,5	8,17	
SC ³	3,1	6,7	7,0	4,0
PI ⁴	4,8	7,9	6,3	2,8
Dose ⁵	5,4	6,3	5,4	2,4

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

Tabela 5. Resultados médios do pH (CaCl₂) do solo, em experimento na safra 09/10.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)	
	0-10 cm	
Sistema de cultivo		
S/P/S	4,37 b	
S/M/S	4,40 ab	
S/B/S	4,43 a	
Coleta x PI		
	Coleta 1	Coleta 2
0	4,55 a	4,75 a
20	4,48 a	4,53 b
40	3,99 b	4,10 c
	10-20 cm	
Sistema de cultivo		
S/P/S	4,19 b	
S/M/S	4,22 b	
S/B/S	4,31 a	
Coleta x PI		
	Coleta 1	Coleta 2
0	4,07 b	4,36 a
20	4,29 a	4,41 a
40	4,14 b	4,17 b

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. (P<0,05).

Coleta: (1) - 490 dias e (2) - 620 dias da aplicação do corretivo.

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

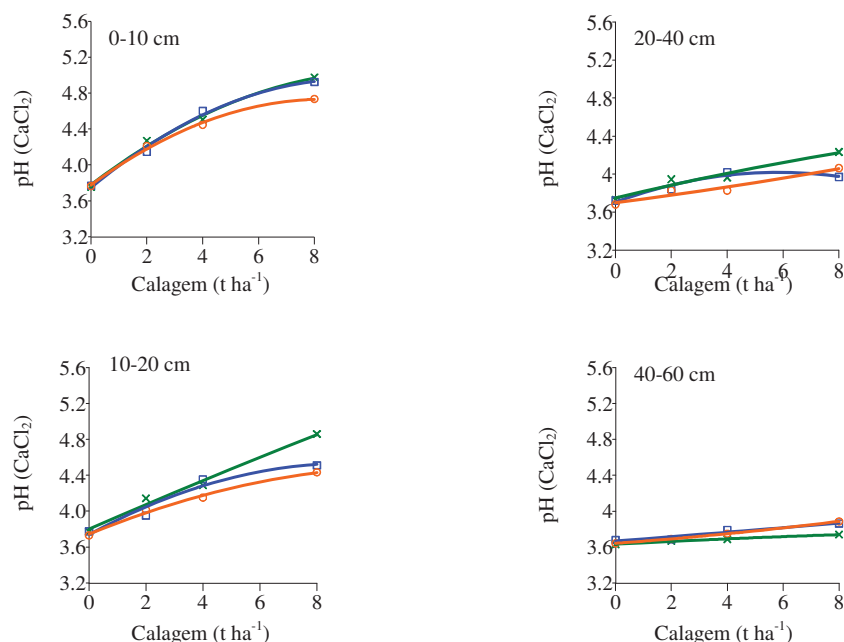


Figura 3. Curvas de regressão do pH (CaCl₂) do solo em função da dose de calcário (t ha⁻¹), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Tabela 6. Equações de regressão do pH (CaCl₂) do solo em função da dose de calcário (t ha⁻¹), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Equação	r ²	Equação	r ²
0-10 cm				
S/P/S	-0,01x ² +0,24x+3,83	99,61% **	0,00x ² +0,07x+3,70	99,99% **
S/M/S	-0,01x ² +0,26x+3,79	98,72% **	-0,01x ² +0,10x+3,74	99,98% **
S/B/S	-0,01x ² +0,25x+3,82	99,45% **	0,00x ² +0,10x+3,75	99,38% **
10-20 cm				
S/P/S	-0,01x ² +0,20x+3,74	99,91% **	0,00x ² +0,02x+3,64	99,99% **
S/M/S	-0,01x ² +0,19x+3,74	97,01% **	0,00x ² +0,02x+3,67	92,32% **
S/B/S	0,00x ² +0,18x+3,78	99,48% **	0,00x ² +0,02x+3,63	99,22% *

** e * indicam significativo a 1 e 5%, pelo teste de F (P<0,05).

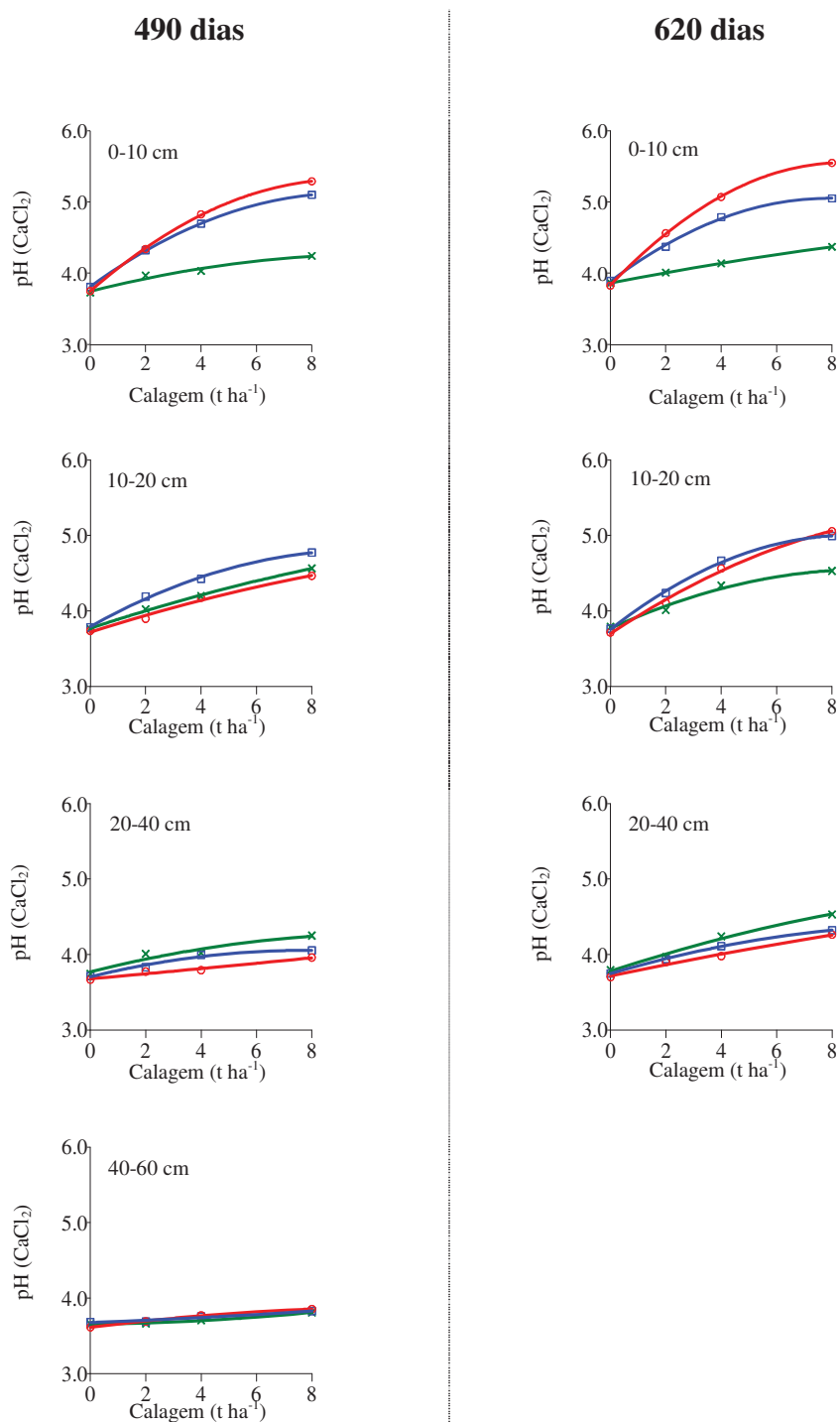


Figura 4. Curvas de regressão do pH (CaCl₂) do solo em função da dose de calcário (t ha⁻¹), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (o) 0 cm, (□) 20 cm, e (x) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 7. Equações de regressão do pH (CaCl_2) do solo em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$0,91x^2 - 10,27x + 24,82$	95,78% **	$-0,02x^2 + 0,41x + 3,83$	99,99% **
20 cm	$0,73x^2 - 8,39x + 21,07$	95,14% **	$-0,02x^2 + 0,29x + 3,88$	99,82% **
40 cm	$0,30x^2 - 4,93x + 26,41$	97,04% **	$0,00x^2 + 0,07x + 3,86$	99,99% **
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$0,39x^2 - 5,61x + 26,28$	98,66% **	$-0,01x^2 + 0,25x + 3,70$	99,68% **
20 cm	$0,65x^2 - 7,83x + 23,66$	95,43% **	$-0,02x^2 + 0,29x + 3,76$	99,84% **
40 cm	$0,39x^2 - 5,65x + 24,29$	98,17% **	$-0,01x^2 + 0,17x + 3,77$	98,39% **
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,09x^2 - 2,63x + 35,15$	99,82% **	$0,00x^2 + 0,08x + 3,72$	98,59% **
20 cm	$0,31x^2 - 4,51x + 31,77$	99,59% **	$0,00x^2 + 0,11x + 3,75$	99,97% **
40 cm	$0,30x^2 - 4,85x + 28,22$	90,59% **	$0,00x^2 + 0,12x + 3,78$	99,10% **
	40-60 cm			
0 cm	$0,43x^2 - 5,61x + 52,36$	98,56% **		
20 cm	$0,30x^2 - 4,08x + 51,09$	98,26% *		
40 cm	$0,01x^2 - 1,90x + 48,35$	99,99% *		

** e * indicam significativo a 1 e 5%, pelo teste de F ($P < 0,05$).

6.2.2. Acidez trocável

Na Tabela 8 é apresentada a análise de variância do alumínio trocável do solo, na safra 09/10. Considerando apenas o efeito dos tratamentos do sistema de cultivo verificou-se que, houve alteração do alumínio na camada de 20-40 cm. A redução do alumínio trocável ocorreu nos sistemas com braquiária ou milheto como cobertura do solo, (Tabela 9). Na camada de 0-10 cm percebe-se que houve interação do sistema de cultivo com a profundidade de incorporação do calcário, e é possível observar que os sistemas com presença de palha, apresentaram os menores valores de alumínio no manejo de incorporação a 40 cm em relação ao sistema com pousio.

Na Figura 5, nota-se que há interação do sistema de cultivo com a dose nas profundidades de 0-10 cm e 40-60 cm. Não houve diferença no teor de alumínio entre as doses aplicadas para o sistema de cultivo com braquiária. De acordo com a literatura, existem algumas preferências de complexação entre compostos orgânicos e íons do solo. O Al é preferencialmente complexado com o ácido cítrico, por isso, muitas vezes, algumas espécies de plantas têm maior potencial em diminuir o Al tóxico do solo (MIYAZAWA et al., 2000).

Avaliando-se o efeito do manejo da profundidade de incorporação do calcário no solo, observa-se que as diferenças encontram-se até a profundidade de 40 cm, onde houve revolvimento do solo pelos equipamentos de incorporação (Tabela 8). A medida que a incorporação foi mais profunda, maiores foram os efeitos da correção da acidez em profundidade (Figura 6).

A dose de calcário alterou o teor de alumínio até a profundidade de 60 cm. Houve efeito significativo entre as coletas, nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm. Este efeito aparentemente está relacionado apenas com a quantidade de calcário aplicado, independente dos demais fatores avaliados (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de variância do Al trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	26,47 *	9,553 ns	21,53 *	
SC	2,78 ns	2,91 ns	4,87 *	4,50 ns
Coleta x SC	1,35 ns	0,44 ns	0,20 ns	
PI	104,43 **	14,60 **	27,92 **	0,49 ns
Coleta x PI	1,89 ns	1,81 ns	0,83 ns	
SC x PI	2,84 *	2,37 ns	1,01 ns	1,60 ns
Coleta x SC x PI	0,49 ns	0,13 ns	1,40 ns	
Dose	322,93 **	287,10 **	115,67 **	22,08 **
Coleta x Dose	0,88 ns	6,54 **	5,98 **	
SC x Dose	2,50 *	1,88 ns	1,27 ns	3,72 **
PI x Dose	10,54 **	2,00 ns	1,07 ns	1,18 ns
Coleta x SC x Dose	0,61 ns	0,24 ns	1,41 ns	
Coleta x PI x Dose	0,41 ns	2,80 *	0,65 ns	
SC x PI x Dose	1,24 ns	0,74 ns	1,53 ns	1,52 ns
Coleta x SC x PI x Dose	0,88 ns	0,30 ns	0,29 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,014	0,054	0,019	
SC	0,102	0,094	0,028	0,064
Coleta x SC	0,296	0,657	0,823	
PI	0,000	0,000	0,000	0,623
Coleta x PI	0,166	0,178	0,443	
SC x PI	0,038	0,070	0,416	0,217
Coleta x SC x PI	0,746	0,970	0,254	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,000
Coleta x Dose	0,453	0,000	0,001	
SC x Dose	0,024	0,088	0,275	0,003
PI x Dose	0,000	0,069	0,380	0,323
Coleta x SC x Dose	0,723	0,961	0,215	
Coleta x PI x Dose	0,875	0,013	0,690	
SC x PI x Dose	0,263	0,712	0,119	0,134
Coleta x SC x PI x Dose	0,565	0,989	0,990	
C.V.				
Coleta ²	22,1	19,3	25,72	
SC ³	42,5	67,7	58,7	36,3
PI ⁴	37,8	42,3	32,8	22,0
Dose ⁵	44,0	39,5	31,5	18,5

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

Tabela 9. Resultados médios de Al trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em experimento na safra 09/10.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)		
	0-10 cm		
Sistema de cultivo x PI		S/P/S	S/M/S
			S/B/S
	0	0,23 b	0,21 b
	20	0,18 c	0,20 b
40		0,43 a	0,37 a
			0,33 a
20-40 cm			
Sistema de cultivo			
	S/P/S	0,55 a	
	S/M/S	0,47 b	
	S/B/S	0,43 b	

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

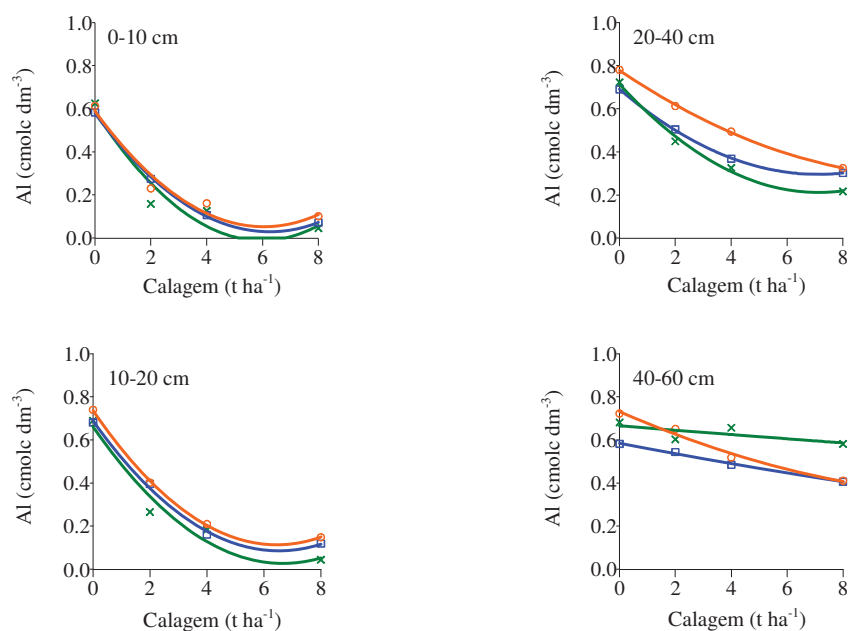


Figura 5. Curvas de regressão do Al trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Tabela 10. Equações de regressão do Al trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		20-40 cm	
S/P/S	$0,01x^2 - 0,18x + 0,59$	95,75% **	$0,00x^2 - 0,09x + 0,78$	99,94% **
S/M/S	$0,01x^2 - 0,18x + 0,58$	99,92% **	$0,01x^2 - 0,11x + 0,69$	99,97% **
S/B/S	$0,02x^2 - 0,20x + 0,59$	92,36% **	$0,01x^2 - 0,14x + 0,71$	99,38% **
	10-20 cm		40-60 cm	
S/P/S	$0,01x^2 - 0,19x + 0,74$	99,94% **	$0,00x^2 - 0,06x + 0,73$	98,17% **
S/M/S	$0,01x^2 - 0,18x + 0,69$	99,65% **	$0,00x^2 - 0,02x + 0,58$	99,46% **
S/B/S	$0,01x^2 - 0,19x + 0,66$	96,02% **	$0,00x^2 - 0,01x + 0,67$	53,02% ns

** indicam significativo a 1% e ns não significativo pelo teste de F ($P < 0,05$).

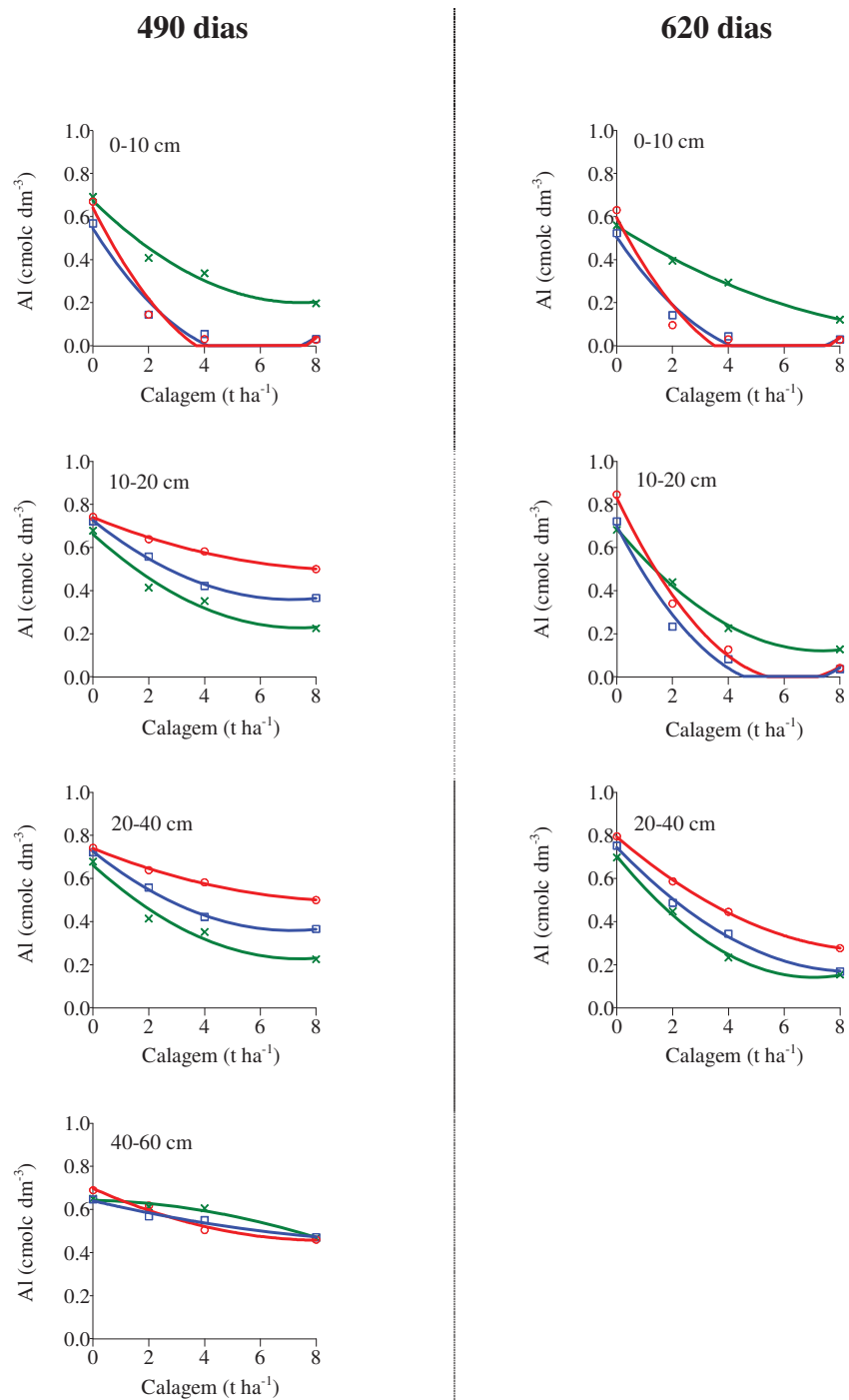


Figura 6. Curvas de regressão do Al trocável do solo (cmol_c dm⁻³) em função da dose de calcário (t ha⁻¹), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 11. Equações de regressão do Al trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$0,02x^2 - 0,26x + 0,64$	96,72% **	$0,02x^2 - 0,25x + 0,60$	94,20% **
20 cm	$0,02x^2 - 0,20x + 0,54$	96,53% **	$0,02x^2 - 0,19x + 0,50$	97,46% **
40 cm	$0,01x^2 - 0,13x + 0,67$	97,18% **	$0,00x^2 - 0,08x + 0,56$	99,78% **
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$0,01x^2 - 0,12x + 0,67$	98,92% **	$0,02x^2 - 0,27x + 0,83$	99,33% **
20 cm	$0,01x^2 - 0,18x + 0,61$	97,06% **	$0,02x^2 - 0,25x + 0,70$	98,25% **
40 cm	$0,01x^2 - 0,16x + 0,68$	99,59% **	$0,01x^2 - 0,15x + 0,69$	99,69% **
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,00x^2 - 0,05x + 0,74$	99,65% **	$0,01x^2 - 0,11x + 0,79$	99,95% **
20 cm	$0,01x^2 - 0,10x + 0,72$	99,78% **	$0,01x^2 - 0,14x + 0,74$	99,68% **
40 cm	$0,01x^2 - 0,12x + 0,66$	96,90% **	$0,01x^2 - 0,16x + 0,70$	99,70% **
	40-60 cm			
0 cm	$0,00x^2 - 0,06x + 0,70$	97,38% **		
20 cm	$0,00x^2 - 0,03x + 0,64$	96,97% **		
40 cm	$0,00x^2 - 0,00x + 0,64$	97,77% **		

** indica significativo a 1%, pelo teste de F ($P < 0,05$).

6.2.3. Acidez potencial

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da análise de variância da acidez potencial. Não houve contribuição significativa do sistema de cultivo para a redução da acidez potencial do solo, no entanto houve interação entre o sistema de cultivo e a Dose, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Observa-se que quanto maior a dose de calcário, maior a concentração de H+Al para o sistema com pousio (Figura 7).

Avaliando-se apenas o efeito do manejo da profundidade de incorporação, constata-se que houve alterações no teor de H+Al até a profundidade de 40 cm no perfil. Para o fator dose este efeito foi observado até a camada de 20 cm no perfil, como pode ser constatado na Figura 8.

A dose alterou o teor de H+Al no solo até a profundidade de 60 cm no perfil (Tabela 12), desta forma é o fator que mais contribuiu para reduzir a acidez potencial do solo. Assim como para o Al houve diminuição da acidez trocável nas camadas de 10-20 e 20-40 cm após a primeira coleta de solo.

Tabela 12. Análise de variância do teor de H+Al do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	0,54 ns	0,229 ns	0,39 ns	
SC	3,57 ns	2,31 ns	1,39 ns	0,49 ns
Coleta x SC	3,70 ns	1,46 ns	0,27 ns	
PI	136,69 **	6,18 **	21,01 **	0,60 ns
Coleta x PI	8,06 **	5,16 *	0,30 ns	
SC x PI	0,55 ns	1,17 ns	0,63 ns	1,23 ns
Coleta x SC x PI	0,45 ns	0,62 ns	1,00 ns	
Dose	261,60 **	206,69 **	53,66 **	3,40 *
Coleta x Dose	0,74 ns	5,49 **	3,18 *	
SC x Dose	3,01 **	3,45 **	1,45 ns	0,72 ns
PI x Dose	17,30 **	2,44 *	1,01 ns	0,54 ns
Coleta x SC x Dose	0,14 ns	0,51 ns	1,20 ns	
Coleta x PI x Dose	0,86 ns	2,25 *	0,54 ns	
SC x PI x Dose	1,05 ns	1,41 ns	0,96 ns	0,99 ns
Coleta x SC x PI x Dose	0,81 ns	0,50 ns	0,89 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,516	0,665	0,575	
SC	0,061	0,142	0,286	0,637
Coleta x SC	0,056	0,271	0,768	
PI	0,000	0,005	0,000	0,561
Coleta x PI	0,001	0,011	0,741	
SC x PI	0,700	0,339	0,643	0,332
Coleta x SC x PI	0,769	0,651	0,423	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,022
Coleta x Dose	0,529	0,001	0,026	
SC x Dose	0,008	0,003	0,198	0,633
PI x Dose	0,000	0,028	0,423	0,780
Coleta x SC x Dose	0,991	0,803	0,307	
Coleta x PI x Dose	0,529	0,041	0,780	
SC x PI x Dose	0,408	0,166	0,493	0,462
Coleta x SC x PI x Dose	0,637	0,914	0,561	
C.V.				
Coleta ²	32,8	19,9	21,46	
SC ³	13,2	19,3	17,1	16,0
PI ⁴	10,4	12,6	9,1	9,5
Dose ⁵	11,4	9,7	9,2	11,4

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

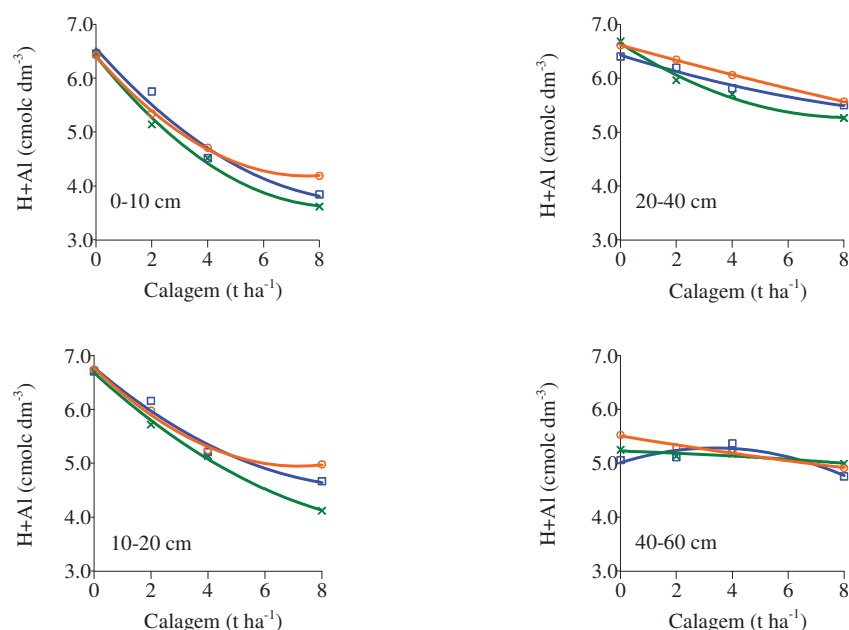


Figura 7. Curvas de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Tabela 13. Equações de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		20-40 cm	
S/P/S	$0,04x^2 - 0,59x + 6,41$	99,89% **	$0,00x^2 - 0,14x + 6,61$	99,97% **
S/M/S	$0,03x^2 - 0,58x + 6,55$	97,49% **	$0,01x^2 - 0,16x + 6,43$	98,21% **
S/B/S	$0,04x^2 - 0,65x + 6,41$	99,37% **	$0,02x^2 - 0,34x + 6,65$	98,56% **
	10-20 cm		40-60 cm	
S/P/S	$0,04x^2 - 0,51x + 6,77$	99,40% **	$0,00x^2 - 0,09x + 5,51$	97,94% ns
S/M/S	$0,02x^2 - 0,45x + 6,77$	97,65% **	$-0,02x^2 + 0,16x + 5,01$	85,22% ns
S/B/S	$0,02x^2 - 0,48x + 6,68$	99,69% **	$0,00x^2 - 0,02x + 5,23$	84,37% ns

** indica significativo a 1%, e ns não significativo pelo teste de F ($P < 0,05$).

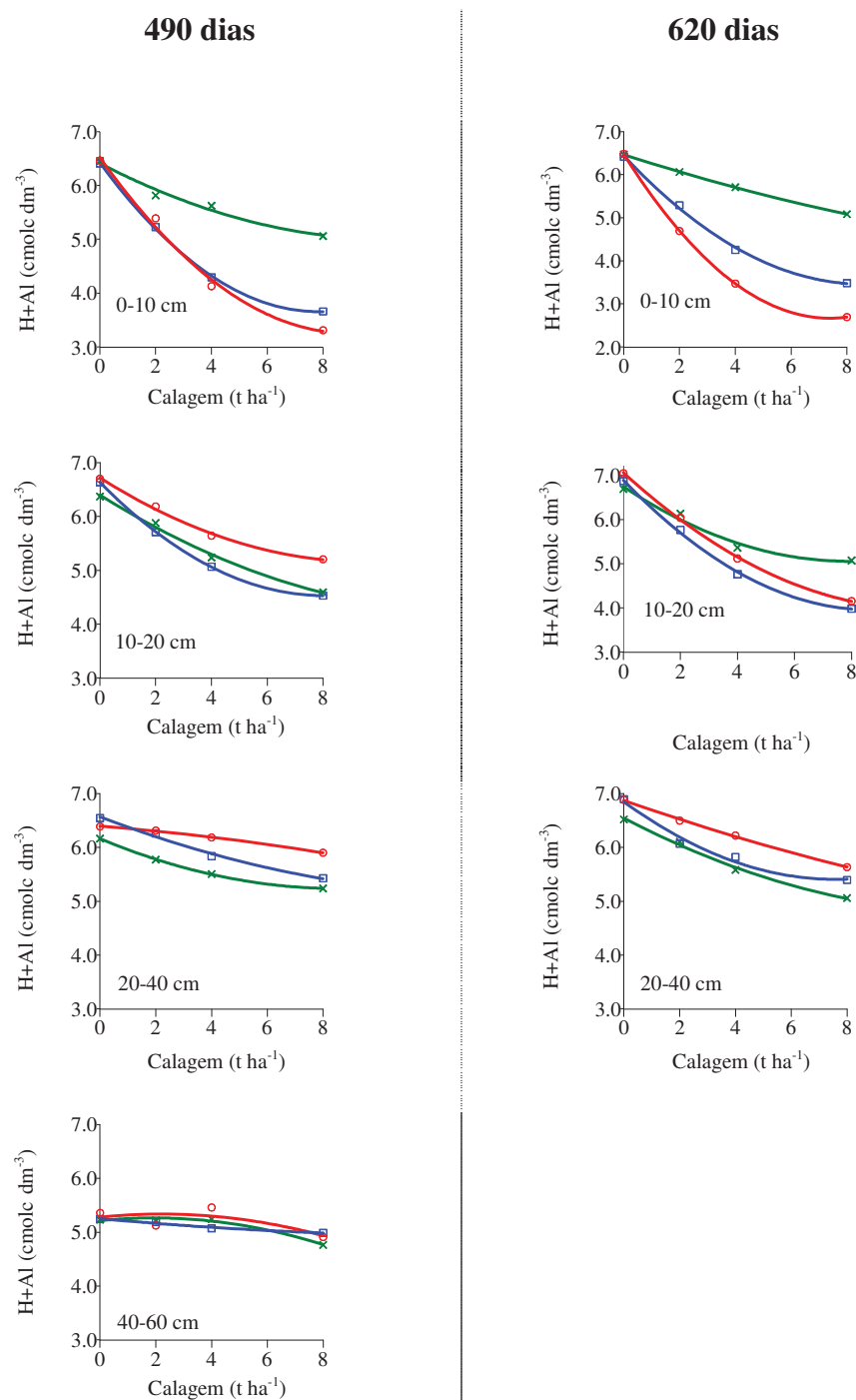


Figura 8. Curvas de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 14. Equações de regressão do H+Al do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$0,04x^2 - 0,73x + 6,52$	99,19% **	$0,07x^2 - 1,03x + 6,48$	99,99% **
20 cm	$0,04x^2 - 0,71x + 6,42$	99,95% **	$0,04x^2 - 0,69x + 6,44$	99,80% **
40 cm	$0,01x^2 - 0,27x + 6,41$	97,86% **	$0,00x^2 - 0,21x + 6,47$	99,99% **
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$0,02x^2 - 0,33x + 6,72$	99,61% **	$0,03x^2 - 0,59x + 7,06$	99,93% **
20 cm	$0,03x^2 - 0,52x + 6,63$	99,99% **	$0,04x^2 - 0,67x + 6,89$	99,84% **
40 cm	$0,01x^2 - 0,33x + 6,40$	99,38% **	$0,03x^2 - 0,43x + 6,74$	98,04% **
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,00x^2 - 0,04x + 6,39$	99,89% ns	$0,00x^2 - 0,18x + 6,87$	99,86% **
20 cm	$0,01x^2 - 0,20x + 6,57$	99,16% **	$0,02x^2 - 0,38x + 6,85$	97,80% **
40 cm	$0,01x^2 - 0,22x + 6,16$	99,98% **	$0,01x^2 - 0,27x + 6,54$	99,45% **
	40-60 cm			
0 cm	$-0,01x^2 + 0,05x + 5,28$	57,31% ns		
20 cm	$0,00x^2 - 0,05x + 5,25$	96,99% ns		
40 cm	$-0,01x^2 + 0,05x + 5,21$	97,79% ns		

** indica significativo a 1% e ns não significativo, pelo teste de F ($P < 0,05$).

6.2.4. Saturação por alumínio

A análise de variância da saturação de alumínio no solo, na safra 09/10 é apresentada na Tabela 15. Avaliando-se apenas o efeito do sistema de cultivo, não houve contribuição deste para a diminuição da saturação de Al em nenhuma das camadas amostradas, no entanto, algumas interações significativas com a dose e a profundidade de incorporação foram observadas até a profundidade de 40 cm.

Referente aos resultados médios da saturação de alumínio observa-se que, para o sistema de cultivo com braquiária não houve diferença da calagem superficial com a incorporação a 20 cm (Tabela 16). Desta forma, o sistema de cultivo com braquiária foi menos eficiente em reduzir a saturação de Al na camada de 0-10 cm que o sistema em pousio (Figura 9).

A profundidade de incorporação promoveu alterações significativas até 40 cm no perfil, esses resultados estão provavelmente relacionados com as alterações ocorridas no pH do solo em função do manejo de incorporação do calcário (Tabela 15).

Nas curvas de regressão da saturação de alumínio pode-se observar que, a dose de calcário reduziu a saturação de alumínio até a profundidade de 60 cm da menor até a maior dose aplicada (Figura 10).

Tabela 15. Análise de variância da saturação de alumínio (m%) do solo na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	0,70 ns	7,742 ns	0,39 ns	
SC	0,28 ns	1,55 ns	2,26 ns	2,72 ns
Coleta x SC	0,30 ns	0,29 ns	0,07 ns	
PI	89,38 **	11,39 **	27,25 **	0,15 ns
Coleta x PI	0,08 ns	1,70 ns	1,06 ns	
SC x PI	2,10 ns	2,87 *	1,76 ns	1,79 ns
Coleta x SC x PI	0,42 ns	0,34 ns	2,51 ns	
Dose	219,08 **	209,25 **	89,15 **	11,96 **
Coleta x Dose	0,13 ns	10,68 **	4,88 **	
SC x Dose	3,17 **	1,33 ns	2,40 *	1,27 ns
PI x Dose	7,63 **	2,26 *	0,41 ns	0,40 ns
Coleta x SC x Dose	0,85 ns	0,83 ns	0,66 ns	
Coleta x PI x Dose	0,33 ns	1,41 ns	0,54 ns	
SC x PI x Dose	1,20 ns	0,95 ns	1,50 ns	1,06 ns
Coleta x SC x PI x Dose	0,32 ns	0,18 ns	0,23 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,465	0,069	0,579	
SC	0,758	0,251	0,147	0,144
Coleta x SC	0,744	0,757	0,931	
PI	0,000	0,000	0,000	0,866
Coleta x PI	0,925	0,197	0,357	
SC x PI	0,101	0,037	0,158	0,174
Coleta x SC x PI	0,796	0,849	0,059	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,000
Coleta x Dose	0,945	0,000	0,003	
SC x Dose	0,006	0,249	0,030	0,281
PI x Dose	0,000	0,041	0,873	0,875
Coleta x SC x Dose	0,533	0,549	0,679	
Coleta x PI x Dose	0,922	0,213	0,777	
SC x PI x Dose	0,286	0,502	0,128	0,402
Coleta x SC x PI x Dose	0,986	0,999	0,997	
C.V.				
Coleta ²	63,6	59,9	45,87	
SC ³	60,3	71,9	82,9	58,8
PI ⁴	43,9	51,6	38,5	30,4
Dose ⁵	56,7	50,0	38,5	27,1

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

Tabela 16. Resultados médios da saturação de alumínio (m%) do solo, em experimento na safra 09/10.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)		
	10-20 cm		
Sistema de cultivo x PI	S/P/S	S/M/S	S/B/S
0	18,13 a	16,26 a	11,67 b
20	10,66 b	11,45 b	10,92 b
40	16,75 a	13,44 ab	15,38 a
20-40 cm			
PI			
0	0,57 a		
20	0,48 b		
40	0,40 c		

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja. Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

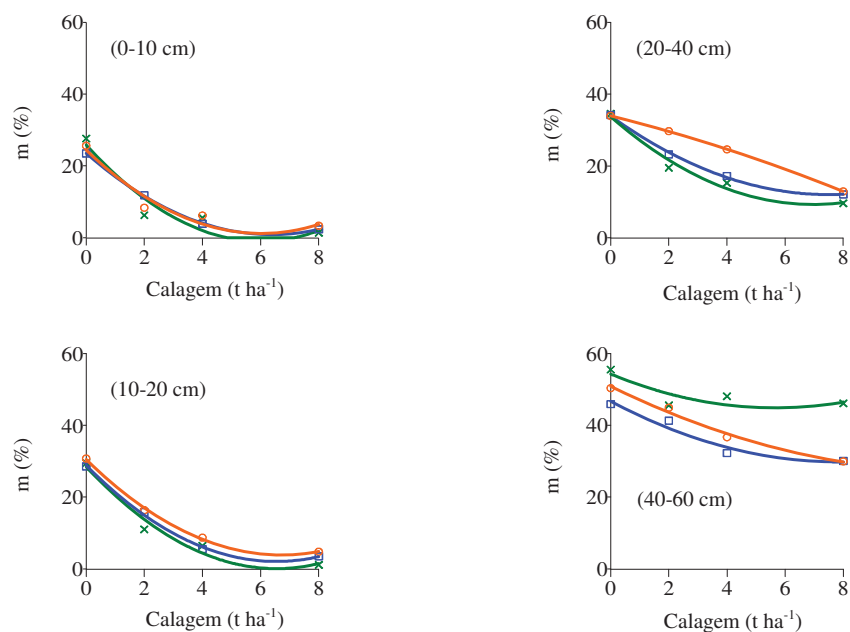


Figura 9. Curvas de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário ($t\ ha^{-1}$), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Tabela 17. Equações de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		20-40 cm	
S/P/S	$0,64x^2 - 7,72x + 24,43$	94,23% **	$-0,08x^2 - 2,01x + 33,96$	99,99% **
S/M/S	$0,55x^2 - 7,08x + 23,56$	99,97% **	$0,39x^2 - 5,84x + 33,94$	99,79% **
S/B/S	$0,74x^2 - 8,93x + 25,88$	90,92% **	$0,51x^2 - 7,03x + 33,70$	0,00% **
	10-20 cm		40-60 cm	
S/P/S	$0,59x^2 - 7,92x + 30,51$	99,82% **	$0,17x^2 - 3,95x + 50,84$	98,79% **
S/M/S	$0,63x^2 - 8,23x + 29,21$	99,69% **	$0,27x^2 - 4,31x + 46,69$	95,34% **
S/B/S	$0,67x^2 - 8,82x + 29,50$	96,67% **	$0,29x^2 - 3,33x + 54,28$	71,55% ns

** indica significativo a 1% e ns não significativo, pelo teste de F ($P < 0,05$).

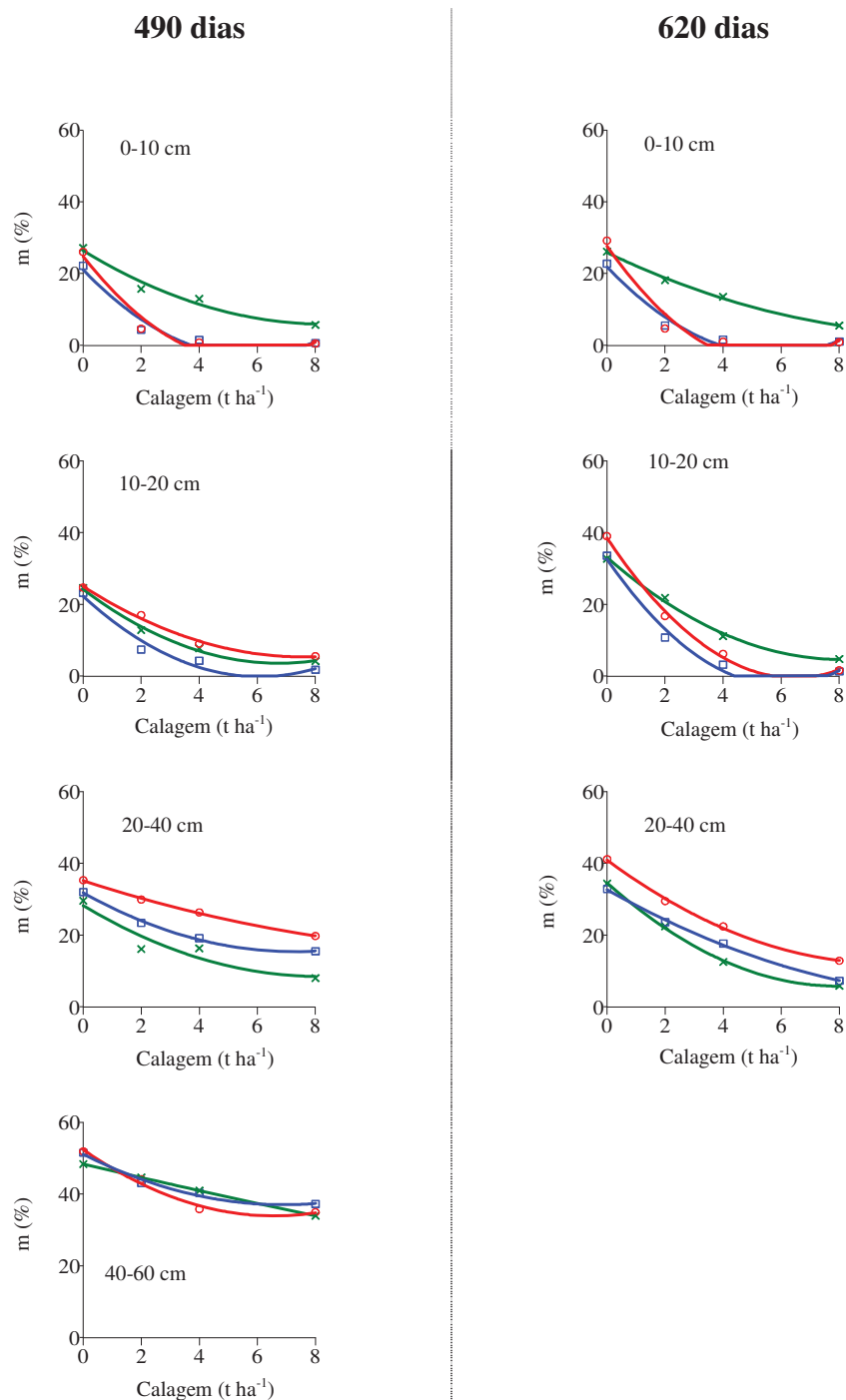


Figura 10. Curvas de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 18. Equações de regressão da saturação de alumínio (m%) do solo em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm,

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$0,91x^2 - 10,27x + 24,82$	95,78% **	$1,03x^2 - 11,55x + 27,68$	95,01% **
20 cm	$0,73x^2 - 8,39x + 21,07$	95,14% **	$0,74x^2 - 8,48x + 21,88$	96,89% **
40 cm	$0,30x^2 - 4,93x + 26,41$	97,04% **	$0,17x^2 - 3,86x + 25,87$	99,69% **
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$0,39x^2 - 5,61x + 26,28$	98,66% **	$0,93x^2 - 12,07x + 38,49$	99,62% **
20 cm	$0,65x^2 - 7,83x + 23,66$	95,43% **	$0,98x^2 - 11,73x + 32,64$	98,56% **
40 cm	$0,39x^2 - 5,65x + 24,29$	98,17% **	$0,44x^2 - 7,04x + 33,08$	99,56% **
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,09x^2 - 2,63x + 35,15$	99,82% **	$0,31x^2 - 5,99x + 40,88$	99,82% **
20 cm	$0,31x^2 - 4,51x + 31,77$	99,59% **	$0,17x^2 - 4,55x + 32,63$	99,83% **
40 cm	$0,30x^2 - 4,85x + 28,22$	90,59% **	$0,45x^2 - 7,24x + 34,55$	99,90% **
	40-60 cm			
0 cm	$0,43x^2 - 5,61x + 52,36$	98,56% **		
20 cm	$0,30x^2 - 4,08x + 51,09$	98,26% *		
40 cm	$0,01x^2 - 1,90x + 48,35$	99,99% *		

** e * indicam significativo a 1 e 5%, pelo teste de F ($P < 0,05$).

6.3. Avaliação das bases trocáveis do solo

6.3.1. Potássio trocável

Os resultados da análise de variância do potássio trocável do solo safra 09/10, são apresentados na Tabela 19.

O sistema de cultivo contribuiu para que ocorresse alteração nos teores de potássio no solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm no perfil. Na Figura 11 observa-se que o sistema de cultivo com milho foi o que apresentou a maior concentração de potássio no solo. Houve diferenças entre as coletas, e na segunda amostragem a braquiária igualou-se ao sistema de cultivo com milho, com maior teor de potássio trocável no solo.

Na avaliação dos tratamentos com dose, houve efeito no teor de potássio, apenas na camada de 10-20 cm no perfil. Com o aumento da dose de calcário é possível que a adição de bases trocáveis com cálcio e magnésio, tenha competido pelos sítios de troca nos colóides, deslocando potássio e diminuindo o teor nesta camada. No entanto não foi observado de K aumento na camada abaixo (Figura 11).

Resultados apresentados por Franchini et al. (2003) permitem constatar que, sob sistemas com alto aporte de resíduos orgânicos, os cátions polivalentes (Ca, Mg e Al) são preferencialmente lixiviados no perfil do solo, em relação aos monovalentes (K).

No entanto, é importante ressaltar que, em sistemas com baixo aporte de resíduos orgânicos, a preferência de lixiviação é para o K, em relação ao Ca e Mg, por ficar o K mais livre em solução pela menor força de adsorção nos sítios de troca do solo, consequência de sua menor valência e maior constante de associação com ânions inorgânicos (DUIKER; BEEGLE, 2006 e FRANCHINI et al., 2003).

Tabela 19. Análise de variância do K trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	87,34 **	52,805 **	65,72 **	
SC	3,95 *	7,71 **	1,72 ns	0,62 ns
Coleta x SC	0,61 ns	4,58 *	3,50 ns	
PI	0,10 ns	0,48 ns	2,97 ns	0,54 ns
Coleta x PI	0,44 ns	1,09 ns	2,97 ns	
SC x PI	0,57 ns	1,30 ns	0,65 ns	1,02 ns
Coleta x SC x PI	0,76 ns	1,15 ns	2,38 ns	
Dose	2,09 ns	4,08 **	2,13 ns	1,09 ns
Coleta x Dose	2,04 ns	0,39 ns	0,27 ns	
SC x Dose	0,97 ns	0,62 ns	0,48 ns	1,08 ns
PI x Dose	1,39 ns	1,94 ns	1,87 ns	1,20 ns
Coleta x SC x Dose	0,56 ns	0,41 ns	0,27 ns	
Coleta x PI x Dose	0,48 ns	1,00 ns	1,66 ns	
SC x PI x Dose	0,91 ns	1,07 ns	0,94 ns	0,84 ns
Coleta x SC x PI x Dose	1,24 ns	1,56 ns	1,56 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,003	0,005	0,004	
SC	0,048	0,007	0,221	0,568
Coleta x SC	0,562	0,033	0,063	
PI	0,903	0,625	0,064	0,594
Coleta x PI	0,648	0,346	0,064	
SC x PI	0,683	0,290	0,632	0,423
Coleta x SC x PI	0,558	0,348	0,070	
Dose	0,103	0,008	0,099	0,359
Coleta x Dose	0,110	0,761	0,850	
SC x Dose	0,450	0,717	0,820	0,381
PI x Dose	0,223	0,077	0,089	0,313
Coleta x SC x Dose	0,763	0,869	0,950	
Coleta x PI x Dose	0,825	0,425	0,135	
SC x PI x Dose	0,541	0,388	0,511	0,610
Coleta x SC x PI x Dose	0,260	0,107	0,109	
C.V.				
Coleta ²	27,1	28,3	24,87	
SC ³	26,1	21,0	31,2	60,7
PI ⁴	24,8	22,0	22,3	54,7
Dose ⁵	25,7	22,3	21,7	37,1

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

Tabela 20. Resultados médios de K trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em experimento na safra 09/10.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)	
	0-10 cm	
Coleta		
Coleta 1	0,18	b
Coleta 2	0,24	a
Sistema de cultivo		
S/P/S	0,20	b
S/M/S	0,22	a
S/B/S	0,21	ab
	10-20 cm	
Coleta x sistema de cultivo		
	Coleta 1	Coleta 2
S/P/S	0,11 ab	0,13 b
S/M/S	0,12 a	0,15 a
S/B/S	0,10 b	0,14 a
	20-40 cm	
Coleta		
Coleta 1	0,07	b
Coleta 2	0,09	a

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Coleta: (1) - 490 dias e (2) - 620 dias da aplicação do corretivo.

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

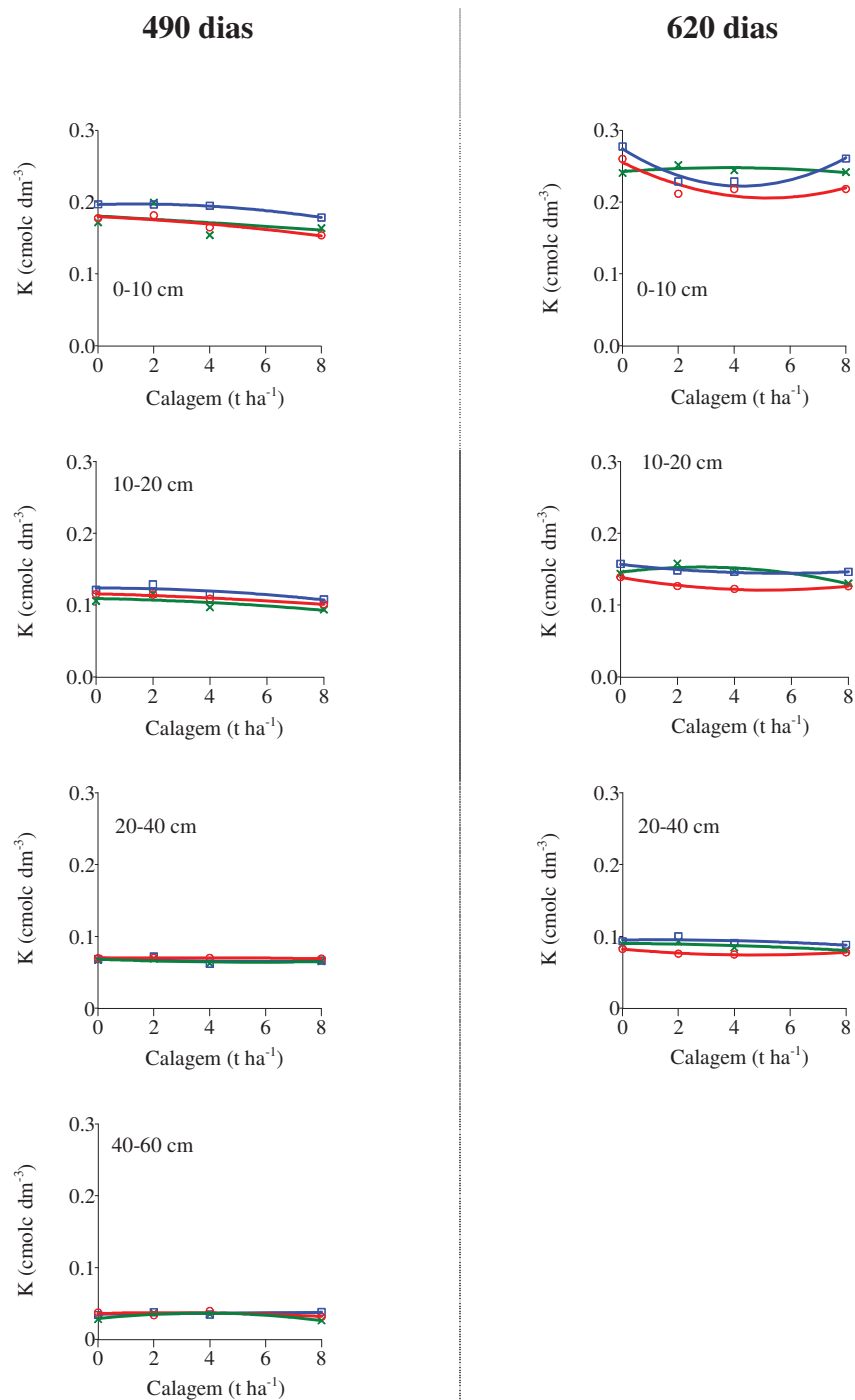


Figura 11. Curvas de regressão do K trocável do solo (cmol_c dm⁻³) em função da dose de calcário (t ha⁻¹), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 21. Equações de regressão do K trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: soja/pousio/soja (S/P/S), soja/milheto/soja (S/M/S) e soja/braquiária/soja (S/B/S), e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm,

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
S/P/S	$0,00x20,00x+0,18$	86,38% ns	$0,00x2-0,02x+0,26$	80,70% ns
S/M/S	$0,00x2+0,00x+0,20$	99,76% ns	$0,00x2-0,02x+0,27$	92,86% ns
S/B/S	$0,00x20,00x+0,18$	19,37% ns	$0,00x2+0,00x+0,24$	44,05% ns
	10-20 cm		10-20 cm	
S/P/S	$0,00x20,00x+0,12$	97,41% ns	$0,00x2-0,01x+0,14$	98,88% ns
S/M/S	$0,00x2+0,00x+0,12$	72,59% ns	$0,00x20,00x+0,16$	95,33% ns
S/B/S	$0,00x20,00x+0,11$	54,44% ns	$0,00x2+0,01x+0,15$	86,99% ns
	20-40 cm		20-40 cm	
S/P/S	$0,00x2+0,00x+0,07$	98,36% ns	$0,00x20,00x+0,08$	96,07% ns
S/M/S	$0,00x20,00x+0,07$	26,20% ns	$0,00x2+0,00x+0,09$	50,61% ns
S/B/S	$0,00x20,00x+0,07$	33,13% ns	$0,00x20,00x+0,09$	71,30% ns
	40-60 cm			
S/P/S	$0,00x2+0,00x+0,04$	45,82% ns		
S/M/S	$0,00x2+0,00x+0,03$	33,92% ns		
S/B/S	$0,00x2+0,00x+0,03$	94,23% ns		

ns indica não significativo pelo teste de F ($P<0,05$).

6.3.2. Cálcio trocável

Na análise de variância do cálcio trocável do solo na safra 09/10, (Tabela 22) houve influência da profundidade de incorporação do calcário até a camada de 40 cm.

Na Figura 12, constata-se que o teor de cálcio nas camadas é diretamente relacionado com o manejo da profundidade de incorporação e não houve movimentação para as camadas inferiores.

Nos resultados médios de Ca trocável do solo Tabela 23, encontram-se os efeitos da interação do sistema de cultivo com a profundidade de incorporação. Para o sistema de cultivo em pousio o manejo superficial apresenta menor concentração que a incorporação a 20 cm. Sendo que, para o sistema com braquiária não há diferença no manejo de incorporação do calcário a 0 ou 20 cm.

Tabela 22. Análise de variância do Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	1,10 ns	1,656 ns	0,02 ns	
SC	0,35 ns	0,75 ns	0,04 ns	1,64 ns
Coleta x SC	2,16 ns	0,73 ns	0,20 ns	
PI	23,46 **	6,26 **	7,49 **	1,77 ns
Coleta x PI	0,92 ns	1,62 ns	0,49 ns	
SC x PI	1,25 ns	2,90 *	1,32 ns	1,81 ns
Coleta x SC x PI	0,23 ns	0,94 ns	1,08 ns	
Dose	81,90 **	61,75 **	16,67 **	1,50 ns
Coleta x Dose	8,46 **	0,12 ns	0,93 ns	
SC x Dose	1,46 ns	2,36 *	1,91 ns	0,87 ns
PI x Dose	4,91 **	1,10 ns	2,66 *	0,17 ns
Coleta x SC x Dose	0,37 ns	0,40 ns	0,86 ns	
Coleta x PI x Dose	0,76 ns	0,98 ns	0,46 ns	
SC x PI x Dose	0,99 ns	0,80 ns	1,93 *	1,72 ns
Coleta x SC x PI x Dose	0,31 ns	0,59 ns	0,36 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,371	0,289	0,901	
SC	0,712	0,493	0,966	0,271
Coleta x SC	0,158	0,503	0,820	
PI	0,000	0,005	0,002	0,199
Coleta x PI	0,409	0,212	0,614	
SC x PI	0,307	0,035	0,283	0,171
Coleta x SC x PI	0,920	0,452	0,383	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,222
Coleta x Dose	0,000	0,946	0,427	
SC x Dose	0,195	0,033	0,082	0,521
PI x Dose	0,000	0,366	0,017	0,984
Coleta x SC x Dose	0,895	0,881	0,527	
Coleta x PI x Dose	0,600	0,438	0,836	
SC x PI x Dose	0,461	0,651	0,034	0,077
Coleta x SC x PI x Dose	0,988	0,845	0,975	
C.V.				
Coleta ²	160,8	133,6	127,1	
SC ³	57,4	64,3	69,0	99,0
PI ⁴	45,9	37,2	40,4	57,5
Dose ⁵	26,7	30,8	34,6	50,2

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

Tabela 23. Resultados médios de Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em experimento na safra 09/10.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)		
	10-20 cm		
Sistema de cultivo X PI	S/P/S	S/M/S	S/B/S
0	1,33 b	1,72	1,86 a
20	1,90 a	2,00	1,81 a
40	1,64 ab	1,73	1,46 b

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

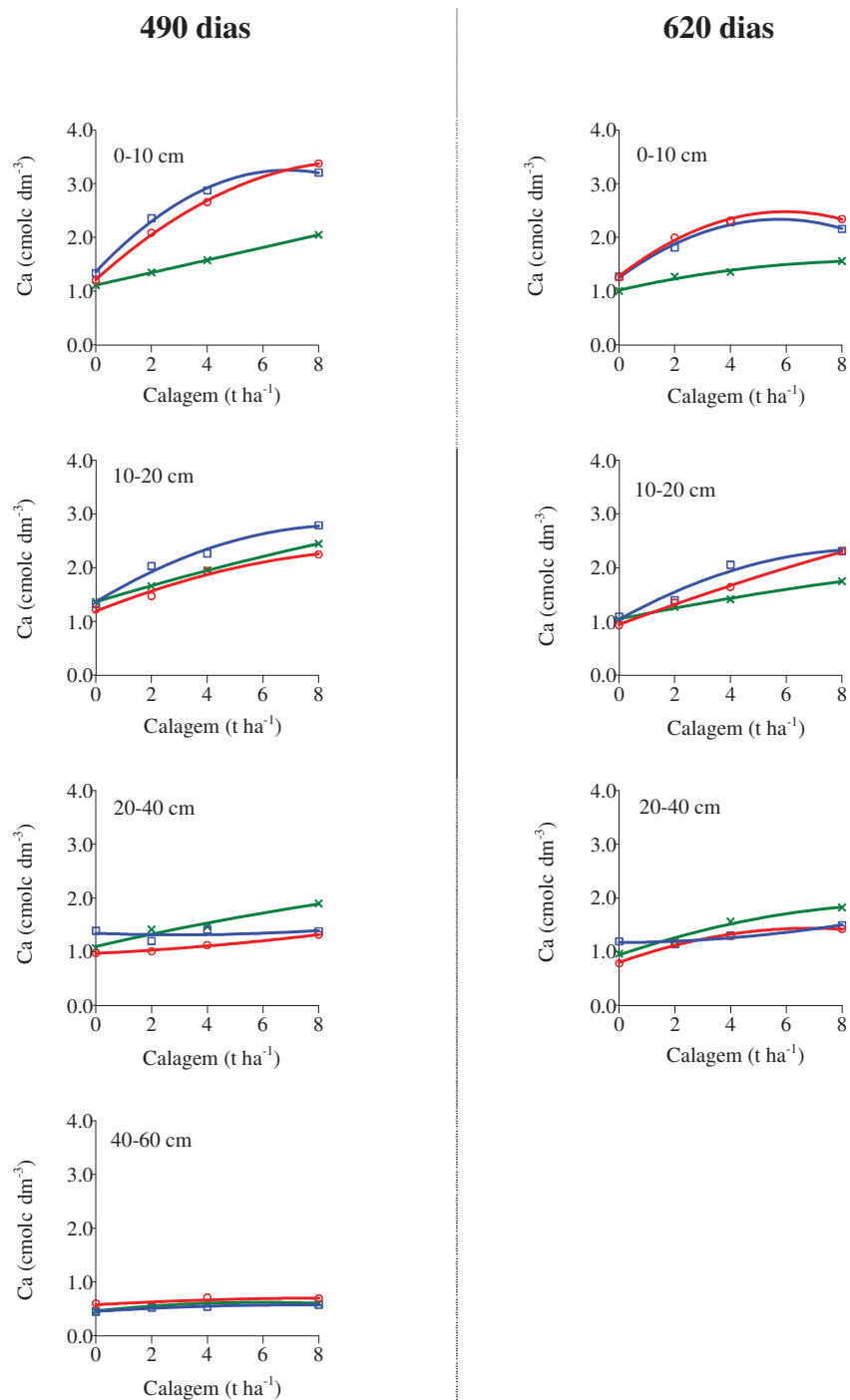


Figura 12. Curvas de regressão do Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (x) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 24. Equações de regressão do Ca trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$-0,02x^2+0,47x+1,21$	99,89% **	$-0,03x^2+0,40x+1,27$	99,46% **
20 cm	$-0,04x^2+0,55x+1,36$	99,73% **	$-0,03x^2+0,38x+1,25$	98,79% **
40 cm	$0,00x^2+0,12x+1,11$	99,99% **	$-0,01x^2+0,12x+1,02$	98,17% ns
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$-0,01x^2+0,21x+1,19$	97,63% **	$0,00x^2+0,19x+0,94$	99,81% **
20 cm	$-0,02x^2+0,32x+1,36$	98,21% **	$-0,02x^2+0,29x+1,03$	95,72% **
40 cm	$0,00x^2+0,16x+1,36$	99,97% **	$0,00x^2+0,11x+1,04$	99,61% *
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,00x^2+0,03x+0,97$	98,91% ns	$-0,01x^2+0,19x+0,80$	98,57% **
20 cm	$0,00x^2-0,02x+1,34$	13,29% ns	$0,00x^2+0,00x+1,17$	92,41% ns
40 cm	$0,00x^2+0,12x+1,10$	96,33% **	$-0,01x^2+0,18x+0,94$	98,62% **
	40-60 cm			
0 cm	$0,00x^2+0,03x+0,57$	57,21% ns		
20 cm	$0,00x^2+0,03x+0,45$	97,09% ns		
40 cm	$0,00x^2+0,05x+0,46$	99,18% ns		

** e * indicam significativo a 1 e 5% e ns não significativo pelo teste de F ($P < 0,05$).

6.3.3. Magnésio trocável

Na Tabela 25 é apresentada a análise de variância do Magnésio trocável do solo, na safra 09/10. Houve influência da profundidade de incorporação do calcário até a camada de 40 cm.

Nos Resultados médios de Mg trocável do solo na Tabela 26 é possível observar que, a coleta interferiu na disponibilidade de Mg na camada de 0-10 cm, ocorrendo diminuição do teor de Mg para os manejos de incorporação a 0 e 20 cm, sendo que estes se igualaram ao manejo de incorporação a 40 cm.

Na Figura 13 observa-se que a dose de calcário aumentou a saturação de alumínio até a profundidade de 60 cm, da menor até a maior dose aplicada. Os efeitos verificados no presente estudo não ocorreram com a mesma magnitude dos observados por Miyazawa et al. (1993); Franchini et al. (1999a,b); Ziglio et al. (1999) e Franchini et al. (2001), em que a aplicação de resíduos vegetais determinou o transporte de magnésio até 25 cm de profundidade. A provável diferença entre os trabalhos decorre do fato de que esses autores utilizaram amostras de solos com estrutura deformada (secos e moídos), doses de resíduos elevadas (até 80 t ha⁻¹) e incorporadas ao solo, ou, ainda, a utilização direta de extratos vegetais em solos com teor de matéria orgânica muito baixo (7,1 g Kg⁻¹) e teor de argila baixo (210 g Kg⁻¹) e, em alguns casos, foram utilizadas amostras do horizonte B.

Grande parte dos ácidos orgânicos tem caráter aniônico, pois os grupos funcionais do material orgânico são dependentes de pH, e em pH superior a 3,5 (valor de PCZ) predominam cargas negativas nesses grupos, graças à dissociação do H⁺ e formação de água. Com isso, pode ocorrer competição entre esses ácidos orgânicos e os nutrientes aniônicos pelos sítios de adsorção, mantendo os nutrientes em formas mais disponíveis em solução. Os ácidos orgânicos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al, numa larga amplitude de pH do solo (pH 4,0–7,0) (SPOSITO, 1989). A eficiência dos ácidos orgânicos em aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo depende do pH, do tipo de ânion orgânico e da sua persistência no solo, pois muitos desses ácidos são degradados em poucos dias após a liberação dos resíduos vegetais (JONES, 1998 e KIRK et al., 2000). Como comentado, a ação desses compostos orgânicos parece ser tanto de competição pelos sítios de troca como de complexação de outros íons indesejáveis.

Tabela 25. Análise de variância do Mg trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	2,28 ns	2,02 ns	0,90 ns	
SC	1,73 ns	1,58 ns	1,22 ns	0,83 ns
Coleta x SC	0,80 ns	1,26 ns	0,29 ns	
PI	12,11 **	4,76 *	4,38 *	1,40 ns
Coleta x PI	4,57 *	0,84 ns	0,82 ns	
SC x PI	0,20 ns	0,42 ns	0,22 ns	1,07 ns
Coleta x SC x PI	0,65 ns	1,59 ns	0,83 ns	
Dose	38,48 **	40,65 **	21,62 **	3,51 *
Coleta x Dose	8,60 **	2,84 *	1,21 ns	
SC x Dose	1,90 ns	1,36 ns	1,18 ns	1,21 ns
PI x Dose	3,33 **	0,68 ns	0,93 ns	0,26 ns
Coleta x SC x Dose	1,27 ns	1,94 ns	0,99 ns	
Coleta x PI x Dose	1,33 ns	0,10 ns	1,01 ns	
SC x PI x Dose	0,93 ns	1,42 ns	1,43 ns	2,17 *
Coleta x SC x PI x Dose	0,60 ns	1,05 ns	0,79 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,228	0,250	0,414	
SC	0,219	0,246	0,329	0,480
Coleta x SC	0,471	0,318	0,755	
PI	0,000	0,015	0,020	0,272
Coleta x PI	0,017	0,440	0,447	
SC x PI	0,935	0,790	0,926	0,398
Coleta x SC x PI	0,628	0,198	0,513	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,019
Coleta x Dose	0,000	0,040	0,310	
SC x Dose	0,084	0,236	0,320	0,312
PI x Dose	0,004	0,663	0,476	0,952
Coleta x SC x Dose	0,272	0,077	0,435	
Coleta x PI x Dose	0,247	0,997	0,423	
SC x PI x Dose	0,519	0,161	0,159	0,021
Coleta x SC x PI x Dose	0,843	0,407	0,660	
C.V.				
Coleta ²	399,1	393,2	348,22	
SC ³	79,1	78,6	72,7	58,9
PI ⁴	64,0	44,7	57,8	39,2
Dose ⁵	46,1	41,3	41,7	35,9

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

Tabela 26. Resultados médios de Mg trocável ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do solo, em experimento na safra 09/10.

Causa de variação		Profundidade de amostragem (cm)	
0-10 cm			
Coleta x PI		Coleta 1	Coleta 2
	0	1,48 a	0,66 a
	20	1,46 a	0,65 a
	40	0,87 b	0,51 a
10-20 cm			
PI			
	0	0,79 b	
	20	0,93 a	
	40	0,78 b	
20-40 cm			
PI			
	0	0,52 b	
	20	0,61 ab	
	40	0,66 a	

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Coleta: (1) - 490 dias e (2) - 620 dias da aplicação do corretivo.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

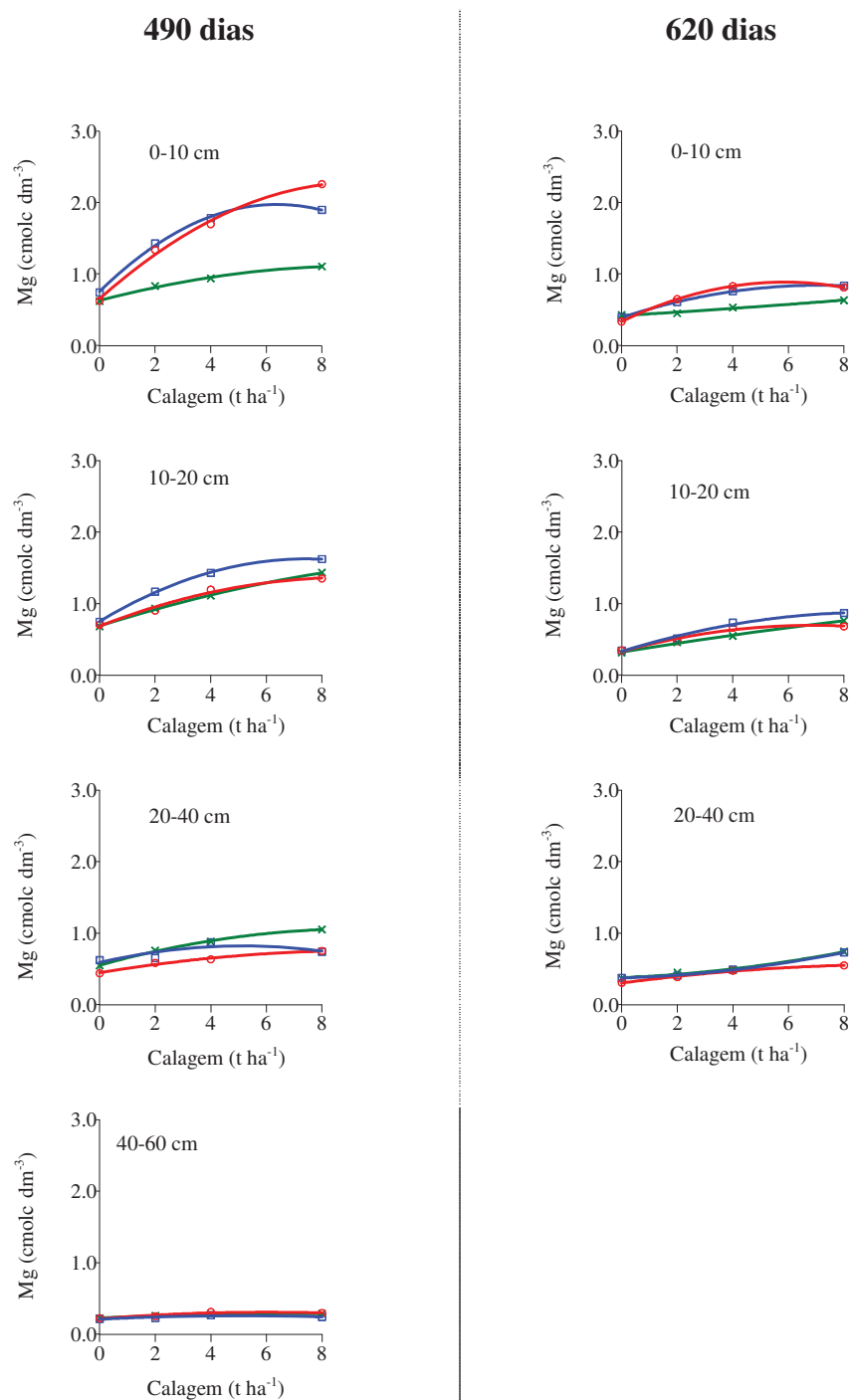


Figura 13. Curvas de regressão do Mg trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 27. Equações de regressão do Mg trocável do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$-0,02x^2+0,35x+0,65$	99,48% **	$-0,02x^2+0,19x+0,33$	99,99% *
20 cm	$-0,03x^2+0,38x+0,75$	99,81% **	$-0,01x^2+0,13x+0,39$	99,99% ns
40 cm	$-0,01x^2+0,10x+0,63$	99,54% *	$0,00x^2+0,02x+0,42$	98,18% ns
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$-0,01x^2+0,15x+0,68$	98,14% **	$-0,01x^2+0,11x+0,33$	96,77% ns
20 cm	$-0,02x^2+0,24x+0,75$	99,94% **	$-0,01x^2+0,12x+0,33$	98,76% **
40 cm	$0,00x^2+0,12x+0,69$	99,92% **	$0,00x^2+0,06x+0,32$	99,61% *
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,00x^2+0,06x+0,45$	98,30% *	$0,00x^2+0,05x+0,30$	99,45% ns
20 cm	$-0,01x^2+0,09x+0,59$	69,01% ns	$0,00x^2+0,01x+0,37$	99,92% **
40 cm	$-0,01x^2+0,11x+0,55$	99,78% **	$0,00x^2+0,02x+0,38$	98,84% **
	40-60 cm			
0 cm	$0,00x^2+0,03x+0,22$	90,25% ns		
20 cm	$0,00x^2+0,02x+0,21$	79,72% ns		
40 cm	$0,00x^2+0,02x+0,23$	99,54% ns		

** e * indicam significativo a 1 e 5% e ns não significativo, pelo teste de F ($P<0,05$).

6.3.4. Saturação de bases

A análise de variância de saturação de bases do solo na safra 09/10, é apresentada na Tabela 28. A profundidade de incorporação do calcário influenciou o valor de V% até a camada de 40 cm, enquanto que a Dose foi capaz de alterar os valores até a profundidade de 60 cm (Tabela 28).

Avaliando apenas o efeito do sistema de cultivo, não foi possível observar contribuição da cobertura do solo nos valores de V%, no entanto é possível constatar que à medida que se aumentada a dose de corretivo, maiores são os valores de V% na presença de uma espécie de cobertura do solo, como pode ser observado na Figura 14. Mas este efeito se restringe até a camada de 20 cm no perfil.

Quanto à profundidade de incorporação do calcário, os efeitos do manejo são observados até a camada de 20-40 cm no perfil (Figura 15). O valor de V% é maior na camada de 0-10 cm e menor na camada de 20-40 cm quando a calagem é superficial. Já o inverso pode ser observado no manejo de PI de 40 cm onde a processo de revolvimento do solo, aumenta o valor de V% de 20-40 cm, em função do revolvimento do solo e reduz o efeito nas camadas mais superficiais, em função da diluição da dose no perfil. O manejo de PI a 40 cm mesmo na maior dose aplicada não consegue atingir a saturação de bases desejada de 50 % em nenhuma das camadas amostradas.

Avaliando o efeito da dose de calcário (Figura 15), constata-se que houve alterações dos valores de V% até a profundidade de 60 cm. Apesar de ocorrerem algumas interações da Dose com o SC e Dose com PI, à medida que se aumenta a dose de calcário aplicada maiores são os valores de V% em profundidade.

Tabela 28. Análise de variância da saturação de bases do solo (V%) na safra 09/10, para a época de coleta (Coleta), sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60 ⁶
Valor de F¹				
Coleta	11,74 *	46,734 **	6,67 ns	
SC	2,04 ns	1,84 ns	0,68 ns	1,49 ns
Coleta x SC	0,24 ns	0,08 ns	0,03 ns	
PI	111,24 **	12,66 **	16,00 **	1,16 ns
Coleta x PI	2,31 ns	3,93 *	0,80 ns	
SC x PI	1,24 ns	2,04 ns	0,59 ns	1,71 ns
Coleta x SC x PI	0,59 ns	1,33 ns	1,83 ns	
Dose	232,46 **	136,74 **	44,25 **	3,49 *
Coleta x Dose	3,36 *	0,39 ns	0,87 ns	
SC x Dose	3,66 **	3,16 **	2,07 ns	0,84 ns
PI x Dose	16,26 **	1,59 ns	1,76 ns	0,10 ns
Coleta x SC x Dose	0,41 ns	1,44 ns	0,84 ns	
Coleta x PI x Dose	0,25 ns	1,30 ns	0,50 ns	
SC x PI x Dose	1,50 ns	1,45 ns	2,00 *	1,27 ns
Coleta x SC x PI x Dose	0,45 ns	0,61 ns	0,43 ns	
N.M.S.				
Coleta	0,042	0,006	0,082	
SC	0,173	0,200	0,524	0,298
Coleta x SC	0,789	0,926	0,973	
PI	0,000	0,000	0,000	0,337
Coleta x PI	0,114	0,029	0,459	
SC x PI	0,311	0,109	0,673	0,191
Coleta x SC x PI	0,672	0,277	0,144	
Dose	0,000	0,000	0,000	0,020
Coleta x Dose	0,020	0,761	0,459	
SC x Dose	0,002	0,006	0,060	0,542
PI x Dose	0,000	0,153	0,110	0,996
Coleta x SC x Dose	0,871	0,203	0,542	
Coleta x PI x Dose	0,961	0,259	0,810	
SC x PI x Dose	0,130	0,148	0,027	0,254
Coleta x SC x PI x Dose	0,941	0,832	0,952	
C.V.				
Coleta ²	39,0	24,6	29,68	
SC ³	25,9	34,5	51,2	79,5
PI ⁴	19,2	22,6	28,0	38,4
Dose ⁵	17,1	21,5	25,2	38,3

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV Coleta, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV SC, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV PI, refere-se às sub subparcelas.

⁵ O valor de CV Dose, refere-se às sub sub subparcelas.

⁶ A profundidade de amostragem 40-60 cm foi coletado apenas na primeira época.

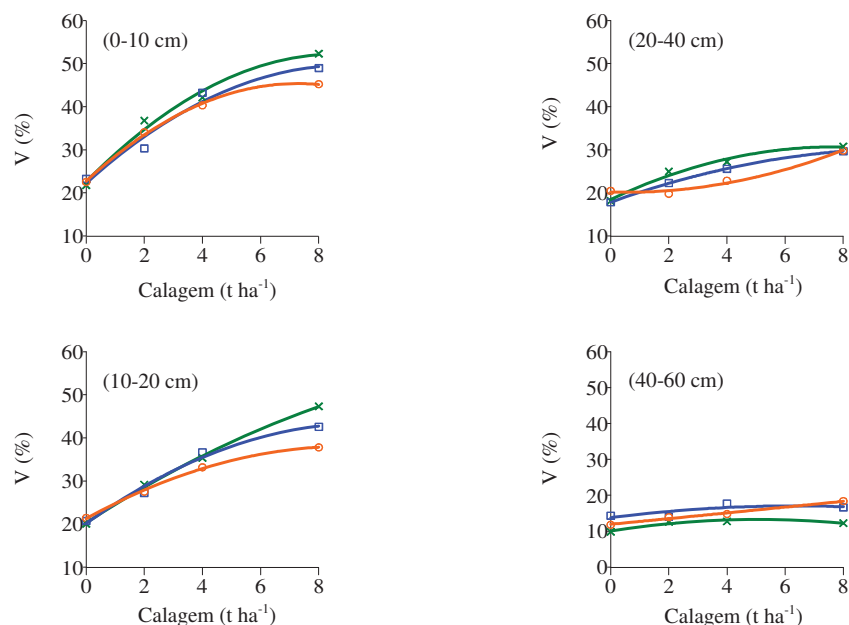


Figura 14. Curvas de regressão da saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (○) soja/pousio/soja, (□) soja/milheto/soja e (×) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Tabela 29. Equações de regressão para saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três sistemas de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		20-40 cm	
S/P/S	$-0,43x^2+6,20x+22,76$	99,79% **	$0,17x^2-0,17x+20,20$	98,51% **
S/M/S	$-0,34x^2+6,07x+22,25$	96,88% **	$-0,12x^2+2,41x+17,86$	99,98% **
S/B/S	$-0,40x^2+6,86x+22,58$	98,49% **	$-0,21x^2+3,18x+18,50$	98,30% **
	10-20 cm		40-60 cm	
S/P/S	$-0,21x^2+3,74x+21,28$	99,84% **	$0,00x^2+0,77x+11,97$	98,83% *
S/M/S	$-0,25x^2+4,83x+20,15$	98,43% **	$-0,08x^2+1,03x+13,79$	61,35% ns
S/B/S	$-0,13x^2+4,39x+20,30$	99,84% **	$-0,13x^2+1,27x+10,08$	90,46% ns

** e * indicam significativo a 1 e 5% e ns não significativo, pelo teste de F ($P<0,05$).

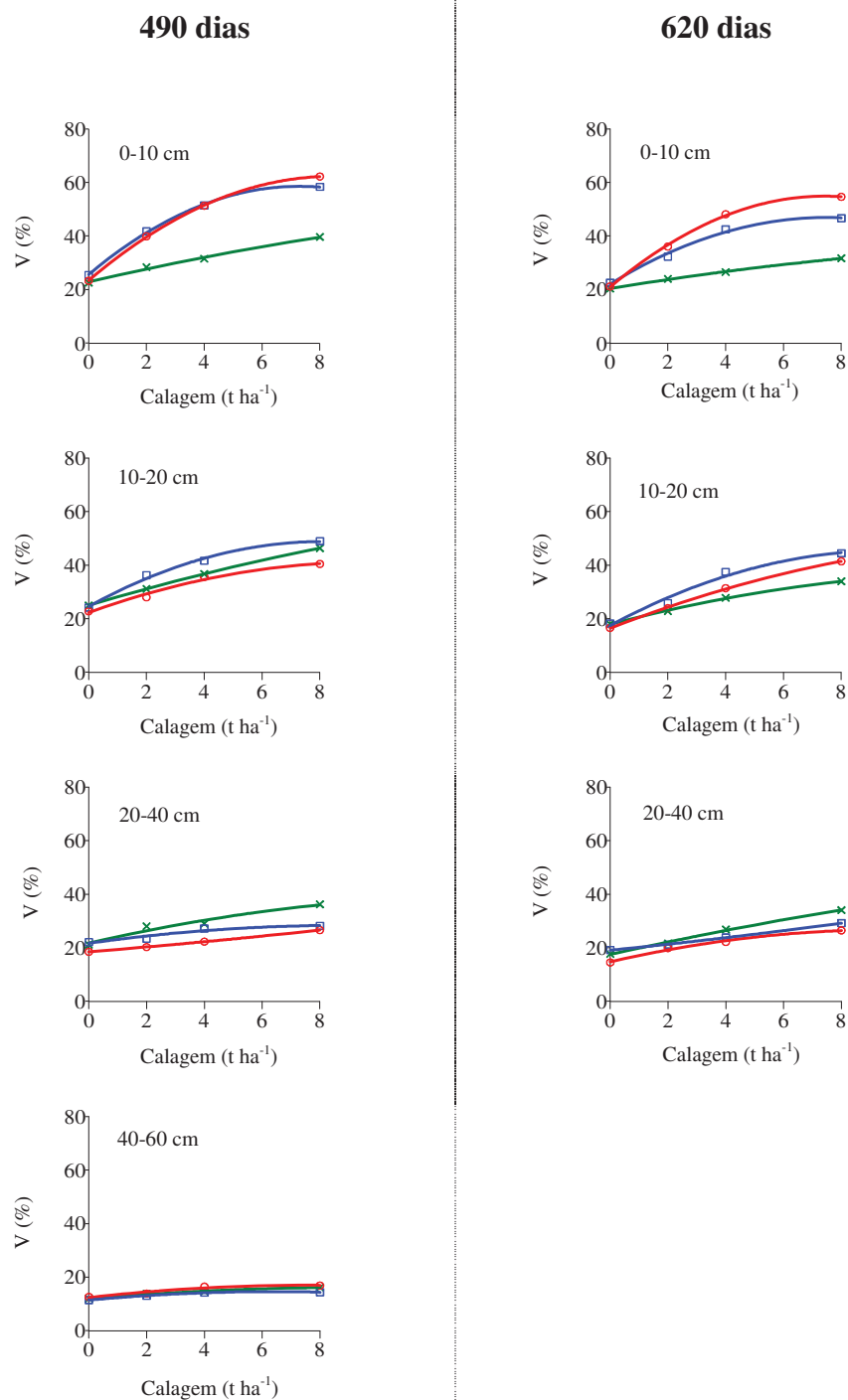


Figura 15. Curvas de regressão da saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário ($t\ ha^{-1}$), em duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, e três profundidades de incorporação: (○) 0 cm, (□) 20 cm, e (×) 40 cm, amostrado até 60 cm de profundidade.

Tabela 30. Equações de regressão para a saturação de bases do solo (V%) em função da dose de calcário (t ha^{-1}), em três profundidades de incorporação: 0 cm, 20 cm, e 40 cm, e duas épocas de avaliação: 490 e 620 dias da aplicação do corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Fator de variação	Coleta 490 dias		Coleta 690 dias	
	Equação	r^2	Equação	r^2
	0-10 cm		0-10 cm	
0 cm	$-0,54x^2+9,20x+23,39$	99,98% **	$-0,61x^2+9,14x+20,89$	99,89% **
20 cm	$-0,62x^2+9,04x+25,61$	99,91% **	$-0,44x^2+6,65x+22,02$	99,20% **
40 cm	$-0,05x^2+2,51x+22,84$	99,41% **	$-0,04x^2+1,75x+20,41$	99,86% **
	10-20 cm		10-20 cm	
0 cm	$-0,20x^2+3,87x+22,27$	98,53% **	$-0,14x^2+4,21x+16,40$	99,93% **
20 cm	$-0,37x^2+5,96x+24,54$	99,22% **	$-0,30x^2+5,81x+17,42$	98,21% **
40 cm	$-0,07x^2+3,22x+24,95$	99,99% **	$-0,10x^2+2,83x+17,88$	99,85% **
	20-40 cm		20-40 cm	
0 cm	$0,02x^2+0,87x+18,46$	99,99% **	$-0,13x^2+2,49x+14,73$	99,02% **
20 cm	$-0,09x^2+1,52x+21,66$	92,45% *	$0,02x^2+1,08x+19,06$	99,96% **
40 cm	$-0,09x^2+2,48x+21,72$	95,86% **	$-0,04x^2+2,40x+17,49$	99,65% **
	40-60 cm			
0 cm	$-0,08x^2+1,23x+12,36$	94,65% ns		
20 cm	$-0,08x^2+1,00x+11,41$	99,94% ns		
40 cm	$-0,04x^2+0,86x+12,08$	99,53% ns		

** e * indicam significativo a 1 e 5% e ns não significativo, pelo teste de F ($P<0,05$).

6.4. Concentração de nutrientes de folhas de soja.

Os resultados da análise de variância da concentração de macro nutrientes em folhas de soja, safra 09/10, são apresentados na Tabela 31.

Avaliando-se a concentração de nitrogênio em folhas de soja, observa-se que houve interação entre o sistema de cultivo e a profundidade de incorporação do calcário (Tabela 32). No sistema cultivado com milheto a menor concentração de N foi observada no manejo de incorporação a 40, enquanto que para o sistema com braquiária a menor concentração foi observada na calagem superficial. Apesar de ocorrer diferenças significativas a faixa de valores apresentada nesta Tabela é considerada suficiente de acordo com a Tabela de concentração de nutrientes usada para interpretação de resultados das análises de folha de soja (EMBRAPA 1985).

Para o fósforo, houve diferença significativa no sistema de cultivo com braquiária e milheto em relação no sistema com pousio. No manejo de profundidade de incorporação do calcário, a profundidade 20 cm apresentou maior concentração de fósforo, que a calagem superficial. Na interação dos dois fatores no sistema de cultivo com braquiária, as maiores concentrações foram observadas para incorporação de 20 e 40 cm (Tabela 32). No entanto apesar de ocorrer diferença significativa a faixa de valores apresentados nesta Tabela é considerado suficiente ou médio, de acordo com a Tabela de concentração de nutrientes usada para interpretação de resultados das análises de folha de soja (EMBRAPA 1985).

Para o potássio, cálcio, magnésio e enxofre (Tabela 31) não foram observados diferenças estatísticas, para o sistema de cultivo, profundidade de incorporação, dose ou interação destes fatores.

Na avaliação geral, pode-se dizer que os tratamentos empregados neste sistema não interferiram na faixa de concentração de macro nutrientes em folhas de soja, de acordo com a Tabela de recomendação da EMBRAPA (1985).

Tabela 31. Análise de variância da concentração de macro nutrientes em folhas de soja na safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).

Causas de variação	N		P		K (g Kg ⁻¹)		Ca		Mg		S	
Valor de F¹												
SC	0,23	ns	19,74	**	3,23	ns	0,35	ns	0,69	ns	0,93	ns
PI	1,66	ns	4,37	*	1,50	ns	0,29	ns	2,09	ns	2,80	ns
SC x PI	3,61	*	2,61	ns	0,57	ns	0,77	ns	0,64	ns	0,64	ns
Dose	0,40	ns	7,14	**	0,75	ns	3,83	*	1,43	ns	0,27	ns
SC x Dose	1,49	ns	1,80	ns	0,88	ns	1,03	ns	1,37	ns	1,92	ns
PI x Dose	0,13	ns	0,57	ns	0,99	ns	0,12	ns	1,86	ns	1,29	ns
SC x PI x Dose	0,99	ns	1,15	ns	1,65	ns	1,07	ns	0,98	ns	0,84	ns
N.M.S.												
SC	0,804		0,002		0,112		0,718		0,537		0,444	
PI	0,219		0,028		0,250		0,751		0,152		0,087	
SC x PI	0,025		0,070		0,689		0,557		0,640		0,643	
Dose	0,752		0,000		0,524		0,013		0,241		0,850	
SC x Dose	0,191		0,109		0,512		0,410		0,236		0,087	
PI x Dose	0,993		0,753		0,439		0,994		0,098		0,270	
SC x PI x Dose	0,462		0,336		0,093		0,397		0,474		0,608	
C.V.												
SC ²	9,8		13,0		15,6		27,1		45,6		28,8	
PI ³	8,1		9,5		10,7		12,6		16,5		16,7	
Dose ⁴	6,7		8,5		7,9		7,3		9,0		8,9	

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV SC, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV PI, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV Dose, refere-se às sub subparcelas.

Tabela 32. Resultados médios de macro nutrientes em folhas de soja, em experimento na safra 09/10.

Causa de variação		Macro nutriente					
		Nitrogênio (g Kg ⁻¹)					
Sistema de cultivo x PI							
		S/P/S		S/M/S		S/B/S	
0		49,88	a	49,70	a	46,55	b
20		48,30	a	48,21	ab	49,79	a
40		47,14	a	45,94	b	49,35	ab
		Fósforo (g Kg ⁻¹)					
Sistema de cultivo							
	S/P/S	2,76	b				
	S/M/S	3,07	a				
	S/B/S	3,26	a				
PI							
	0	2,95	b				
	20	3,12	a				
	40	3,01	ab				
Dose							
	0	2,89	c				
	2	3,02	b				
	4	3,04	b				
	8	3,17	a				

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. (P<0,05).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

Dose de calcário (Dose): 0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹.

Na tabela 33 são apresentados os resultados de análises de variância da concentração de micro nutrientes em folhas de soja na safra 09/10. Observa-se que, na avaliação da concentração foliar de Zinco (Tabela 33), constata-se que a profundidade de incorporação do calcário influenciou no sistema de cultivo empregado. Sendo que o sistema com braquiária a calagem superficial reduziu o teor foliar de zinco. Contudo, na comparação da variação das doses de calcário (Tabela 33), observa-se que a dose mais elevada, de 8 t ha⁻¹, reduziu a concentração de zinco nas folhas.

Quanto ao cobre (Tabela 33), efeitos semelhantes ao Zinco são observados, porém na comparação das doses de calcário aplicadas, observa-se que a partir da segunda tonelada de calcário, já houve menor disponibilidade deste nutriente.

Para o manganês apenas a dose de calcário influenciou na sua concentração foliar, como pode ser observado na Tabela 33. Na comparação das doses de calcário aplicadas, observa-se que a partir da segunda tonelada de calcário, já houve menor disponibilidade deste nutriente.

Os menores valores de micronutrientes observados em função destes fatores provavelmente está relacionado com o pH mais elevado do solo, uma vez que, com o aumento, há menor disponibilidade deste elemento no solo.

No entanto apesar de ocorrerem diferenças significativas para a concentração foliar de zinco, cobre e manganês, a faixa de valores apresentados é considerada suficiente ou média de acordo com a Tabela de concentração de nutrientes usada para interpretação de resultados das análises de folha de soja (EMBRAPA, 1985).

Tabela 33. Análise de variância da concentração de micro nutrientes em folhas de soja na safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).

Causas de variação	Zn	Cu	Fe (mg Kg ⁻¹)	Mn	B
					
Valor de F¹					
SC	1,92 _{ns}	3,79 _{ns}	0,77 _{ns}	1,76 _{ns}	0,63 _{ns}
PI	21,88**	10,24**	0,25 _{ns}	1,40 _{ns}	1,69 _{ns}
SC x PI	17,57**	1,86 _{ns}	1,35 _{ns}	1,63 _{ns}	0,83 _{ns}
Dose	6,20**	4,20**	1,90 _{ns}	9,74**	0,33 _{ns}
SC x Dose	1,86 _{ns}	1,78 _{ns}	0,68 _{ns}	0,66 _{ns}	1,05 _{ns}
PI x Dose	2,28*	0,71 _{ns}	1,26 _{ns}	0,81 _{ns}	0,71 _{ns}
SC x PI x Dose	1,01 _{ns}	0,50 _{ns}	1,33 _{ns}	0,74 _{ns}	0,73 _{ns}
N.M.S.					
SC	0,227	0,086	0,506	0,251	0,564
PI	0,000	0,001	0,782	0,271	0,212
SC x PI	0,000	0,162	0,290	0,211	0,521
Dose	0,001	0,008	0,136	0,000	0,803
SC x Dose	0,097	0,113	0,669	0,682	0,403
PI x Dose	0,044	0,640	0,285	0,569	0,642
SC x PI x Dose	0,451	0,908	0,218	0,704	0,715
C.V.					
SC ²	17,9	31,6	34,1	13,8	30,7
PI ³	5,2	14,0	25,7	12,6	24,8
Dose ⁴	7,1	14,7	19,5	12,6	14,5

¹ **, * e ns, - significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV SC, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV PI, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV Dose, refere-se às sub subparcelas.

Tabela 34. Resultados médios de micro nutrientes em folhas de soja, em experimento na safra 09/10.

Causa de variação		Micro nutriente			
		Zinco (mg Kg ⁻¹)			
Sistema de cultivo x PI					
		S/P/S		S/M/S	S/B/S
	0	23,28	ab	24,01	a
	20	22,86	b	24,63	a
	40	23,79	a	24,01	a
Dose					
	0	24,84	a		
	2	24,49	a		
	4	24,24	a		
	8	23,18	b		
Cobre (mg Kg ⁻¹)					
PI					
	0	7,35	c		
	20	7,82	b		
	40	8,36	a		
Dose					
	0	8,42	a		
	2	7,74	b		
	4	7,64	b		
	8	7,55	b		
Manganês (mg Kg ⁻¹)					
Dose					
	0	54,64	a		
	2	49,16	b		
	4	48,30	b		
	8	47,33	b		

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste LSD. (P<0,05).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

Dose de calcário (Dose): 0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹.

6.5. Desenvolvimento do sistema radicular

A coleta do sistema radicular da soja foi feita em estágio R2 de desenvolvimento da cultura. Na avaliação dos parâmetros de massa de matéria seca de raízes, comprimento do sistema radicular e diâmetro médio, não foi possível separar as raízes de soja das raízes das culturas de cobertura, que ainda estavam presentes no solo. Desta forma os resultados apresentados, são influenciados pela presença de raízes das culturas de inverno.

Os valores de massa de matéria seca de raízes, de acordo com o sistema de cultivo, manejo de incorporação do calcário e dose aplicada, são apresentados na Tabela 35.

Na avaliação da massa de matéria seca das raízes na Tabela 36, o sistema de cultivo com braquiária se destacou em relação ao milheto e pousio até a profundidade de 60 cm. Só houve efeito da profundidade de incorporação do calcário no perfil na profundidade de 20-40 cm, onde o manejo com calagem superficial apresentou a maior massa de matéria seca (Tabela 36).

Houve interação da dose com o sistema de cultivo apenas na camada de 0-10 cm. Na Tabela 36 é possível observar que apenas o sistema com braquiária foi influenciado, apresentando maior massa de matéria seca, onde não houve incorporação do calcário.

Tabela 35. Análise de variância da massa de matéria seca de raízes (g dm^{-3}), na cultura da soja, safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60
Valor de F¹				
SC	47,73 **	15,94 **	6,58 *	9,79 *
PI	0,12 ns	0,61 ns	4,46 *	0,38 ns
SC x PI	0,33 ns	0,42 ns	0,14 ns	0,46 ns
Dose	10,11 **	2,76 ns	2,49 ns	0,58 ns
SC x Dose	5,16 *	1,49 ns	0,61 ns	0,14 ns
PI x Dose	1,76 ns	0,19 ns	0,87 ns	0,13 ns
SC x PI x Dose	0,56 ns	0,28 ns	0,83 ns	0,81 ns
N.M.S.				
SC	0,000	0,004	0,031	0,013
PI	0,891	0,554	0,027	0,693
SC x PI	0,852	0,794	0,966	0,767
Dose	0,004	0,108	0,126	0,454
SC x Dose	0,013	0,244	0,550	0,870
PI x Dose	0,191	0,831	0,430	0,881
SC x PI x Dose	0,695	0,888	0,520	0,531
C.V.				
SC ²	42,0	52,8	64,2	70,2
PI ³	39,5	42,8	39,7	85,1
Dose ⁴	27,4	47,6	48,1	89,3

¹ **, * e ns, significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV SC, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV PI, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV Dose, refere-se às sub subparcelas.

Tabela 36. Resultados médios da massa de matéria seca de raízes (g dm^{-3}), na cultura da soja, em experimento na safra 09/10.

Causa de variação		Profundidade de amostragem (cm)			
		0-10 cm			
Sistema de cultivo x Dose		S/P/S	S/M/S	S/B/S	média
0		0,97 a	0,91 a	2,62 a	1,50 a
4		0,77 a	0,94 a	1,97 b	1,22 b
média		0,87 B	0,92 B	2,29 A	
		10-20 cm			
Sistema de cultivo					
S/P/S		0,55 b			
S/M/S		0,46 b			
S/B/S		1,00 a			
		20-40 cm			
Sistema de cultivo					
S/P/S		0,17 b			
S/M/S		0,16 b			
S/B/S		0,28 a			
PI					
0		0,25 a			
20		0,19 b			
40		0,18 b			
		40-60 cm			
Sistema de cultivo					
S/P/S		0,18 b			
S/M/S		0,12 b			
S/B/S		0,30 a			

Médias com mesma letra (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha), não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

Dose de calcário (Dose): 0 e 4 t ha^{-1} .

Os valores de diâmetro médio de raízes, de acordo com o sistema de cultivo, manejo de incorporação do calcário e dose aplicada, são apresentados na Tabela 37.

Para o diâmetro médio das raízes, não houve interação significativa para o sistema de cultivo, manejo da profundidade de incorporação do calcário na profundidade de 0-10 cm no perfil do solo. De 40-60 cm de profundidade apenas o sistema de cultivo influenciou no diâmetro médio de raízes.

Observando a tabela 38 na profundidade de 0-10 cm observa-se que houve alteração no diâmetro apenas para o sistema de cultivo em pousio, onde a profundidade de incorporação do calcário apresentou valores mais elevados. Para a profundidade de 40-60 cm, o sistema com braquiária apresenta raízes mais finas que os demais sistemas, mas não difere do sistema cultivado com milho. Provavelmente estes resultados estejam sendo afetados pelas características das raízes das plantas de cobertura.

Tabela 37. Análise de variância do diâmetro médio de raízes ($\text{mm } 10^{-4}$) na cultura da soja, safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60
Valor de F¹				
SC	12,85 **	0,74 ns	1,44 ns	6,60 *
PI	4,27 *	0,93 ns	0,16 ns	0,03 ns
SC x PI	3,17 *	0,22 ns	0,06 ns	0,78 ns
Dose	0,15 ns	0,09 ns	0,98 ns	0,11 ns
SC x Dose	0,34 ns	1,06 ns	0,66 ns	0,19 ns
PI x Dose	0,34 ns	0,48 ns	0,49 ns	0,11 ns
SC x PI x Dose	1,82 ns	0,12 ns	0,21 ns	0,46 ns
N.M.S.				
SC	0,007	0,515	0,308	0,031
PI	0,030	0,413	0,855	0,969
SC x PI	0,039	0,922	0,994	0,553
Dose	0,701	0,771	0,331	0,740
SC x Dose	0,716	0,360	0,524	0,825
PI x Dose	0,716	0,623	0,618	0,897
SC x PI x Dose	0,153	0,973	0,931	0,762
C.V.				
SC ²	8,0	8,0	11,1	16,2
PI ³	4,7	4,9	12,2	11,6
Dose ⁴	5,0	6,3	10,6	17,1

¹ **, * e ns, significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV SC, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV PI, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV Dose, refere-se às sub subparcelas.

Tabela 38. Resultados médios do diâmetro médio de raízes ($\text{mm } 10^{-4}$), na cultura da soja, safra 09/10, em experimento na região Centro-Oeste do Brasil.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
0-10 cm				
Sistema de cultivo x PI				
	S/P/S	S/M/S	S/B/S	média
0	0,35 b	0,35 a	0,39 a	0,37 ab
20	0,34 b	0,35 a	0,39 a	0,36 b
40	0,38 a	0,35 a	0,39 a	0,37 a
média	0,36 B	0,35 B	0,39 A	
40-60 cm				
Sistema de cultivo				
S/P/S	0,49 a			
S/M/S	0,45 ab			
S/B/S	0,41 b			

Médias com mesma letra (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha), não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.
Profundidade de incorporação do calcário (PI): 0, 20 e 40 cm.

Os valores de comprimento de raízes, de acordo com o sistema de cultivo, manejo de incorporação do calcário e dose aplicada, são apresentados na Tabela 39.

O comprimento do sistema radicular (Tabela 40), na camada de 0-10 cm do perfil do solo, apresenta-se de forma semelhante ao peso de massa de matéria seca de raízes. É bem provável que a produção de massa de matéria seca, esteja diretamente relacionada com o comprimento do sistema radicular. A dose influenciou o comprimento apenas para o sistema cultivado com braquiária.

Na profundidade de 10-20 cm o comprimento de raízes foi influenciado pelo sistema de cultivo. O sistema com braquiária foi o que apresentou maior valor de comprimento (Tabela 40). Resultados semelhantes também são observados na camada de 40-60 cm.

Tabela 39. Análise de variância do comprimento de raízes (cm cm^{-3}), na cultura da soja, safra 09/10, para o sistema de cultivo (SC), profundidade de incorporação do calcário (PI) e dose de calcário (Dose).

Causas de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60
Valor de F¹				
SC	13,62 **	6,00 *	2,65 ns	11,88 **
PI	0,05 ns	1,23 ns	2,14 ns	0,51 ns
SC x PI	0,53 ns	1,36 ns	0,07 ns	0,72 ns
Dose	7,18 *	2,67 ns	0,02 ns	0,90 ns
SC x Dose	4,60 *	0,20 ns	0,03 ns	0,22 ns
PI x Dose	0,11 ns	0,67 ns	1,01 ns	0,18 ns
SC x PI x Dose	0,68 ns	0,25 ns	0,52 ns	0,91 ns
N.M.S.				
SC	0,006	0,037	0,150	0,008
PI	0,954	0,317	0,147	0,609
SC x PI	0,713	0,287	0,990	0,589
Dose	0,012	0,114	0,900	0,351
SC x Dose	0,019	0,819	0,972	0,807
PI x Dose	0,896	0,523	0,377	0,839
SC x PI x Dose	0,614	0,908	0,719	0,472
C.V.	45,4	56,58	67,5	56,84
SC ²	34,5	31,4	51,1	68,6
PI ³	26,1	33,9	40,2	79,1
Dose ⁴				

¹ **, * e ns, significativo ao nível de 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

² O valor de CV SC, refere-se às parcelas.

³ O valor de CV PI, refere-se às subparcelas.

⁴ O valor de CV Dose, refere-se às sub subparcelas.

Tabela 40. Resultados médios do comprimento de raízes (cm cm^{-3}), na cultura da soja, safra 09/10, em experimento na região Centro-Oeste do Brasil.

Causa de variação	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-10 cm			
Sistema de cultivo x Dose	S/P/S	S/M/S	S/B/S	média
0	8,88 a	9,34 a	17,61 a	11,94 a
4	7,63 a	9,71 a	13,04 b	10,13 b
média	8,26 B	9,52 B	15,33 A	
	10-20 cm			
Sistema de cultivo	S/P/S	S/M/S	S/B/S	
	5,02 b			
	4,44 b			
	7,45 a			
	40-60 cm			
Sistema de cultivo	S/P/S	S/M/S	S/B/S	
	1,50 b			
	1,10 b			
	2,40 a			

Médias com mesma letra (minúsculas na coluna e maiúsculas na linha), não diferem estatisticamente pelo teste LSD. ($P < 0,05$).

Sistema de cultivo: (S/P/S) soja/pousio/soja, (S/M/S) soja/milheto/soja e (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Dose de calcário (Dose): 0 e 4 t ha^{-1} .

7. CONCLUSÕES

1. A introdução de braquiária ou milheto no sistema de produção levou a maior produtividade de soja, independente da calagem.

2. Houve movimentação da frente alcalina no solo em função da calagem, de modo que é possível se realizar a calagem em superfície, sem prejuízo na produtividade de soja e na correção do perfil do solo até 20 cm.

3. Logo após a dessecação das plantas de cobertura aumenta o potássio disponível na camada mais superficial do solo, em função da lavagem do nutriente dos restos culturais.

4. Na implantação do sistema de semeadura direta, as espécies de cobertura apesar de promoverem melhorias discretas nos parâmetros de acidez do solo, não resultam em necessidade de modificação na recomendação de calagem.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 601-612, 2003.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 157-165, 2001.
- ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; DE PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 35, p. 277-288, 2000.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26p.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 675-702, 2001.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 115-123, 2004.
- AMARAL, A. S.; SPADER, V.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Resíduos vegetais na superfície do solo afetam a acidez do solo e a eficiência do herbicida flumetsulam. **Ciência. Rural**, Santa Maria, v. 30 p. 789-794, 2000.
- ARAÚJO, A. R. **Calagem e extrato vegetais hidrossolúveis na movimentação de íons em solo**. 2003. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A. S. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 705-712, 1998.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1269-1276, 2007.

CAÍRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 2, p. 213-220, 2000.

CAÍRES, E. F.; BANZATO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 161-169, 2000.

CAÍRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAÍRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAÍRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAMBRI, M. A. **Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto**. 2004. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 53-60, set/out. 2001.

COSTA, A. **Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja trigo em sistema plantio direto**. 2000. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, p. 207-217, 2007.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 139-147, 2003.

DUIKER, S. W.; BEEGLE, D. B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 30-41, 2006.

EIRA, A. F. Solubilização microbiana de fosfatos. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 243-255.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 321-328, 2006.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução do plantio direto no Brasil. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 16 mar. 2009.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development description form soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 929-931, 1971.

FERREIRA, D. F. **SISVAR 5.0 sistema de análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003.

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

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 533-542, 1999a.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 2267-2276, 1999b.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MYIAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização de calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.357-360, 2001.

FUNDAÇÃO MT. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. **Manejo do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. In: Boletim de Pesquisa de Soja. Rondonópolis: Fundação MT, p 183-199, 2007.

FUNDAÇÃO MT. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. **Boletim de Pesquisa de Soja**, Rondonópolis-MT, 2008, 254p.

FUNDAÇÃO MT. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. **Boletim de Pesquisa de Soja**, Rondonópolis-MT, 2009, 261p.

GOMES, F. P. **Estatística Experimental**. Piracicaba: ESALQ, 1973. 430 p.

HOYT, P. B.; TURNER, R. C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH₄, and crop yields. **Soil Science**, Philadelphia, v. 119, p. 227-237, 1975.

HUE, N. V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1499-1511, 1989.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. **Plant Soil**, The Hague, v. 205, p. 25-44, 1998.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

KIRK, G. J. D.; SANTOS, E. E.; SANTOS, M. B. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil: Rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. **New Phytologist**, Cambridge, v. 142, p. 185-200, 2000.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo e sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. **Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1991. p. 43-52.

LIMA, E. do V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e a calagem superficial na implantação do sistema de semeadura direta**. 2001. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

LITTLE, T. H.; HILLS, F. J. **Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura**. México: Editorial Trillas, 1976. 270 p.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade pra a produção agropecuária**. 2. ed. São Paulo. ANDA, 1994. 62 p. (Boletim Técnico 5).

MISCHAN, M. H.; PINHO, S. Z. **Experimentação agrônômica:** dados não balanceados. Botucatu: FUNDIBIO, 1996. 456 p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 17, p. 411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Resíduos vegetais: Influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 2000, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 82-94.

MORAES, M. F. **Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário e material vegetal em superfície.** 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)-Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2005.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of acidity in no tillage system soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002a. v. 2. p. 393-486.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 1079-1087, 2002b.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 2359-2362, 1999.

PAULETTI, M. W. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. 1999. Cruz Alta. **Palestras...** Passo Fundo: Aldeia Norte. 1999. p. 56-66.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science**, Philadelphia, v. 48 p. 33-38, 1984.

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

PEARSON, R. W.; ABRUNA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. **Soil Science**, Philadelphia, v. 93, p. 77-82, 1962.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, p. 89-102, 2002.

RÉGENT INSTRUMENTS. WIN/MAC RHIZO. V 3.8. **Introduction manual**. Régent Instruments. Québec. 36 p. 1997a.

RÉGENT INSTRUMENTS. WIN/MAC RHIZO. V 3.8. **Reference**. Régent Instruments. Québec. 50 p. 1997b.

RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

ROSOLEM, C. A.; CAÍRES, E. F. Calagem em genótipos de amendoim: correção do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 1991, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: SBCS, 1991. v. 1. p. 230-230.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 27, p. 355-362, 2003.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v. 1, n. 1 p. 9-13, 1999.

SANTOS, F. C.; COSTA, R. V.; FERREIRA, G. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; BREDAS, C. E.; MERLIN, A.; SILVA FILHO, J. L.; PEDROSA, M. B.; SANTOS, J. B. Efeito do gesso na produtividade do algodoeiro e na dinâmica de macronutrientes em solo de textura média do Cerrado do Oeste Baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. p. 1-6.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p. 449-454, 1995.

SHEAR, G. M.; MOSCHLER, W. W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, n. 1, p. 147-148, 1969.

SOUZA, D. M. G. Correção do solo e adubação sob sistema plantio direto no cerrado. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7., 2003, Sorriso. **Anais...** Cuiabá: EdUFMT. p. 147-154, 2003.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1985, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1986. p. 119-144.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 304 p.

TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975.

TORRES, J. L. R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 609-618, 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 5-12, 2008.

VEDOATO, R. A. Princípios básicos de plantio direto. In: FANCELLI, P. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 147-158.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, p. 257-262, 1999.

9. APÊNDICE

Tabela 41. Concentração de macro e micro nutrientes em fitomassa seca remanescente aos 30 dias após manejo de acordo com: sistema de cultivo (SC); profundidade de incorporação do calcário (PI); quantidade de corretivo aplicado (DOSE).

Calcário (F1), quantidade de corretivo aplicada (DCE):												
PI	Dose t/ha	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
		 g/kg						 mg/kg				
S/P/S												
0 cm	0	11,8	0,4	6,5	5,7	2,4	0,7	15,3	2,8	6975,0	101,3	2,2
	2	13,2	0,4	7,4	7,4	3,5	0,7	13,4	3,6	7151,2	82,7	2,3
	4	12,5	0,4	7,0	7,1	3,6	0,8	13,4	3,6	7961,4	76,7	2,2
	8	12,0	0,4	6,0	8,4	4,2	0,9	11,7	2,8	6751,9	88,0	2,3
20 cm	0	11,2	0,4	7,2	7,2	3,2	0,6	14,7	2,8	6329,2	99,9	2,3
	2	11,9	0,4	7,3	7,4	3,0	0,7	13,3	2,8	7632,6	93,9	2,4
	4	12,6	0,4	7,0	7,5	4,0	0,7	11,7	2,8	5119,7	69,1	2,6
	8	11,4	0,3	5,9	7,4	4,1	0,8	10,4	3,6	7867,5	65,2	2,3
40 cm	0	10,3	0,3	6,6	6,2	2,4	0,8	15,0	3,6	7268,6	127,2	2,5
	2	12,6	0,3	7,1	6,8	3,1	0,9	16,3	3,6	5894,7	88,7	2,4
	4	11,7	0,4	6,6	7,1	3,3	0,8	14,0	4,3	7033,8	87,9	2,3
	8	18,7	0,3	6,3	7,0	3,3	1,0	13,0	3,6	7573,9	83,8	2,3
S/M/S												
0 cm	0	15,2	0,3	6,2	6,6	2,9	0,9	29,4	2,8	7550,4	138,4	2,4
	2	12,2	0,2	6,8	7,2	3,6	0,8	15,0	2,8	5436,8	89,2	2,3
	4	13,1	0,3	5,8	7,0	3,7	0,9	14,7	3,6	9194,4	96,2	2,2
	8	12,3	0,4	6,0	9,0	4,7	0,9	13,7	4,3	8419,4	103,9	2,3
20 cm	0	13,3	0,4	6,4	6,1	3,2	0,9	17,9	4,3	6317,5	110,6	2,3
	2	12,7	0,3	6,3	6,6	3,1	1,0	16,3	2,8	7256,9	84,5	2,2
	4	13,7	0,4	6,7	6,9	2,5	1,0	14,7	2,8	8094,4	96,9	2,5
	8	12,1	0,5	6,3	6,8	3,4	1,1	15,7	3,6	14067,5	98,7	2,3
40 cm	0	13,5	0,5	7,2	6,1	2,9	1,3	17,9	2,8	6646,3	123,7	2,4
	2	13,9	0,6	7,2	7,1	3,4	1,2	17,9	2,8	7597,4	110,1	2,3
	4	14,5	0,6	6,8	6,8	3,1	0,9	14,7	4,3	6575,8	89,8	2,5
	8	13,5	0,6	7,3	7,5	4,1	1,1	15,0	2,8	7303,8	87,3	2,4
S/B/S												
0 cm	0	13,6	0,7	7,3	5,2	2,4	1,1	17,4	4,3	7209,9	132,8	2,2
	2	11,7	0,5	6,0	5,8	2,9	1,2	15,4	2,8	9194,4	137,9	2,2
	4	13,9	0,6	6,3	5,6	2,9	0,9	13,9	3,6	7620,9	126,0	2,2
	8	16,2	0,5	5,3	5,8	2,7	2,0	13,5	3,6	9640,6	121,8	2,2
20 cm	0	17,1	0,5	6,3	4,9	2,3	1,1	19,2	2,8	9288,3	169,6	2,3
	2	15,4	0,5	5,7	4,5	2,2	1,1	17,6	3,6	11683,8	106,6	2,2
	4	13,7	0,5	7,3	7,0	3,4	1,0	16,3	2,8	8031,9	111,6	2,3
	8	16,0	0,5	6,7	6,7	3,5	1,0	12,7	2,8	7480,0	93,9	2,3
40 cm	0	16,2	0,5	8,1	6,2	2,5	1,5	18,9	2,8	6763,7	158,0	2,2
	2	13,3	0,4	7,1	6,1	2,8	1,1	18,3	2,8	7691,3	115,3	2,2
	4	14,6	0,4	6,4	5,7	2,7	1,4	17,3	3,6	7691,3	115,0	2,4
	8	14,9	0,4	4,8	4,9	2,6	1,2	17,0	4,3	10039,8	119,2	2,0

(S/P/S) - soja/pousio/soja; (S/M/S) - soja/milheto/soja; (S/B/S) soja/braquiária/soja.

Tabela 42. Concentração de macro e micro nutrientes em fitomassa seca remanescente aos 60 dias após manejo de acordo com: sistema de cultivo (SC); profundidade de incorporação do calcário (PI); quantidade de corretivo aplicado (Dose).

PI	Dose t/ha	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
..... g/kg mg/kg											
S/P/S											
0 cm	0	0,5	3,0	0,7	0,7	0,8	8,7	3,4	8818,6	57,0	1,7
	2	0,5	3,0	0,8	1,0	0,9	7,0	4,3	8466,3	44,0	1,8
	4	0,5	3,1	1,4	1,0	0,9	7,9	2,4	7397,8	34,6	1,8
	8	0,6	3,1	1,1	1,0	1,5	8,7	2,9	9992,9	46,5	1,7
20 cm	0	0,5	3,0	0,9	0,8	0,9	8,4	4,1	7092,5	48,4	1,8
	2	0,6	3,0	1,5	0,8	0,8	9,0	2,6	9476,2	47,9	1,8
	4	0,6	2,9	0,5	0,8	0,8	7,6	3,3	7620,9	37,3	1,7
	8	0,6	3,1	1,3	0,9	0,9	7,9	5,5	8395,9	40,7	1,8
40 cm	0	0,6	3,2	1,1	0,7	0,9	6,7	3,6	8149,3	50,5	1,7
	2	0,6	3,3	1,2	0,7	1,1	7,6	3,4	8548,5	47,2	1,7
	4	0,6	3,4	0,5	0,8	0,9	8,7	5,9	8572,0	45,2	1,8
	8	0,6	3,3	1,3	1,0	0,9	9,8	5,5	10826,6	43,9	1,7
S/M/S											
0 cm	0	0,6	3,2	1,2	1,2	0,9	18,8	5,5	9581,9	72,2	1,8
	2	0,6	3,0	1,2	1,0	0,9	17,7	6,2	9417,5	62,3	1,8
	4	0,5	3,3	1,3	1,4	1,1	13,2	4,8	9100,4	54,5	1,8
	8	0,6	2,8	1,1	1,2	1,2	14,6	4,6	12306,1	62,9	1,8
20 cm	0	0,6	3,0	1,4	0,9	0,8	15,5	6,9	10251,2	39,2	1,6
	2	0,6	3,1	1,5	1,0	0,9	16,3	6,0	12588,0	70,8	1,8
	4	0,6	3,0	1,3	1,1	0,9	19,7	7,2	12200,5	77,9	1,7
	8	0,6	3,4	1,4	1,3	1,0	19,1	7,4	10486,1	66,9	1,7
40 cm	0	0,6	3,4	1,5	1,1	1,0	17,7	6,0	10615,2	98,9	1,8
	2	0,6	3,0	1,3	1,0	1,0	20,0	7,9	12717,1	76,6	1,7
	4	0,6	3,2	1,5	1,2	0,9	17,7	7,5	8736,4	65,4	1,8
	8	0,6	3,3	1,6	1,2	1,0	19,7	6,2	12270,9	69,5	1,8
S/B/S											
0 cm	0	0,6	3,8	1,8	1,2	0,8	14,9	4,8	12588,0	155,6	1,8
	2	0,6	3,7	2,5	1,4	1,0	18,8	5,8	13914,9	161,1	1,8
	4	0,6	3,5	3,5	1,4	0,9	12,7	6,1	12047,8	119,2	1,8
	8	0,6	3,7	2,8	1,2	0,9	14,9	8,0	14384,6	127,8	1,7
20 cm	0	0,6	3,6	1,8	1,2	1,0	18,3	4,6	13785,7	190,0	1,7
	2	0,6	3,7	2,0	1,3	1,1	16,0	6,0	13633,0	133,5	1,7
	4	0,6	3,7	1,9	1,4	1,0	16,9	6,5	13480,4	128,0	1,8
	8	0,6	3,6	1,8	1,3	0,9	12,9	3,4	11272,8	104,7	1,7
40 cm	0	0,7	3,9	1,4	0,9	1,5	13,8	4,3	12435,3	121,2	1,8
	2	0,6	4,1	1,7	1,2	1,0	16,3	5,1	11108,4	144,0	1,8
	4	0,6	3,5	1,8	1,1	1,0	14,6	4,8	11836,4	114,1	1,8
	8	0,6	3,6	1,7	1,2	1,3	16,0	5,6	11448,9	119,6	1,7

(S/P/S) - soja/pousio/soja; (S/M/S) - soja/milheto/soja; (S/B/S) soja/braquiária/soja.

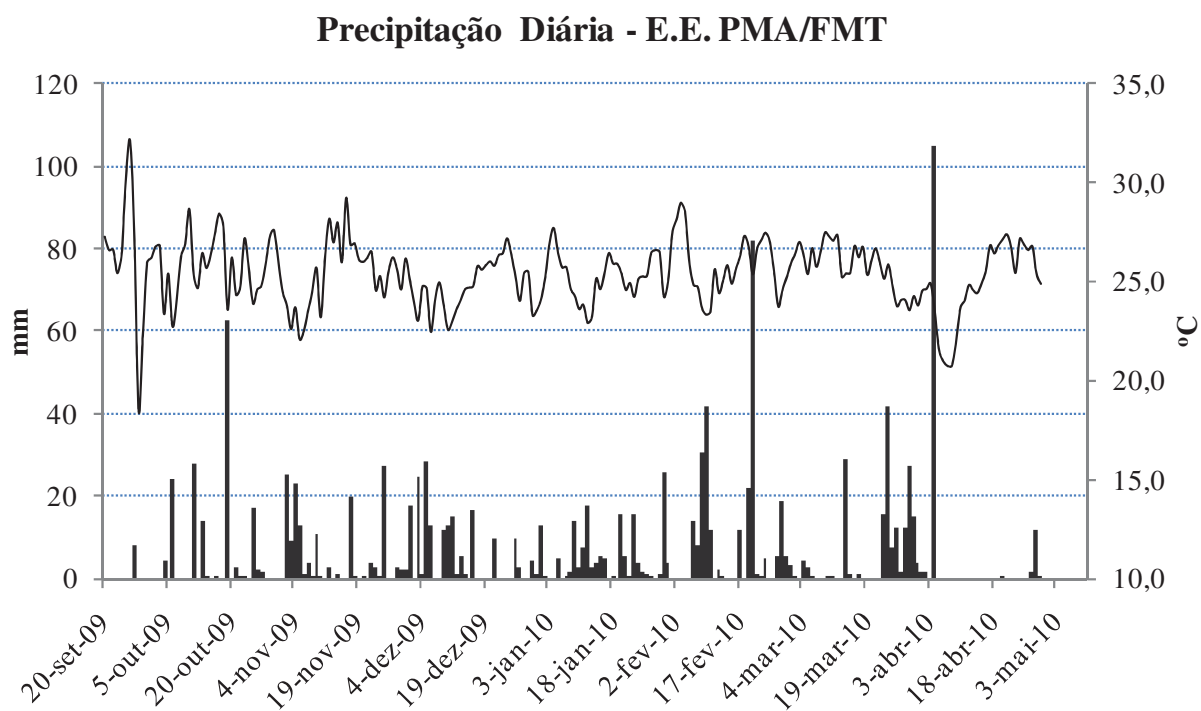


Figura 16. Temperatura e precipitação média diária obtidas na Estação Meteorológica da PMA/FMT, nos anos agrícolas de 2009 e 2010, em Itiquira-MT.