

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

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB CULTIVOS DE
OUTONO-INVERNO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

RODRIGO CÉSAR SEREIA

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

BOTUCATU-SP
Fevereiro - 2014

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

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB CULTIVOS DE
OUTONO-INVERNO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

RODRIGO CÉSAR SEREIA

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Helena Moraes

Co-orientador: Dr. Gessi Ceccon

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

BOTUCATU-SP
Fevereiro - 2014

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

Sereia, Rodrigo César, 1986-
S483a Atributos físicos e químicos do solo sob cultivos de
outono-inverno em sistema de semeadura direta / Rodrigo
César Sereia. - Botucatu : [s.n.], 2014
xiii, 119 f., il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Maria Helena Moraes
Coorientador: Gessi Ceccon
Inclui bibliografia

1. Adsorção. 2. Soja - Cultivo. 3. Semeadura. 4. Con-
sócios. I. Moraes, Maria Helena. II. Ceccon, Gessi. III.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de
Botucatu. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNOMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB CULTIVOS DE
OUTONO-INVERNO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA"**

ALUNO: RODRIGO CÉSAR SEREIA

ORIENTADOR: PROF^a DR^a MARIA HELENA MORAES

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:

PROF^a DR^a MARIA HELENA MORAES

PROF. DR. JOSÉ EDUARDO CORÁ

PROF. DR. SÉRGIO LAZARO DE LIMA

Data da Realização: 27 de fevereiro de 2014.

A maior riqueza de qualquer ser humano é amar e ser amado na sua própria família, porque a verdadeira felicidade está no próprio lar, entre as alegrias e superações da sua família e onde todos os elementos que a constituem são amigos, cúmplices e confidentes.

Aos meus pais, João Batista e Maria Neide e a minha irmã Aline.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre guiar meus passos por aonde vou e me dar a força e o discernimento para atingir meus objetivos, profissionais e como ser humano.

À minha família por todo alicerce, para construção e realização desse sonho que se materializa nesse trabalho, e que terei todo amor e gratidão eterna por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus avós José (Zinho) e Luzia, por me dar todo apoio, aconchego e carinho sempre que possível.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, e ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia - Agricultura, pela oportunidade de realização deste curso e auxílios na execução desse trabalho.

Ao Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo e à Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP pela infraestrutura oferecida para o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamentos de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos que tornou possível a realização desse curso de mestrado.

À Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais - FEPAF pelos auxílios concedidos para o desenvolvimento deste trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA/Agropecuária Oeste de Dourados, MS, por fornecer a área experimental e dar todo suporte para a condução e realização desse trabalho.

À amiga e orientadora Prof^a Dr^a Maria Helena Moraes, pela orientação e pelo tempo que generosamente me dedicou transmitindo-me os melhores e mais úteis ensinamentos, sempre com paciência, serenidade e confiança.

Ao amigo, e co-orientador Dr. Gessi Ceccon, da EMBRAPA/Agropecuária Oeste, não só pela orientação durante esse trabalho, mas por toda contribuição em minha vida acadêmica e profissional, desde os estágios de graduação, momentos de conversas amigas, conselhos, churrascos e boas risadas. Afinal me lembro bem da frase que sempre me dizia... “Quem quer faz, quem não quer arranja uma desculpa e quem é visto é lembrado”.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Corá, pelas valiosas contribuições para melhor síntese desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Lazaro de Lima (in memoriam), pelas gratificantes conversas, contribuições e por ter me passado valiosos conhecimentos.

À amiga Prof^a Dr^a Paula Pinheiro Padovese Peixoto, da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, por ter sempre apoiado e orientado como minha tutora no Programa de Ensino Tutorial - PET, que me proporcionou valiosos ensinamentos e experiências profissionais.

Aos amigos de infância e sempre presentes Isaías, Elvis, Bruno, Rafael e Marcelo pelos bons momentos de distração e de apoio para enfrentar a vida da melhor forma possível.

Aos amigos de graduação e de estágio na EMBRAPA, Antonio, Juslei, Leonardo, Robson, Valdecir, Eduardo Zanon, Islaine, Amanda Moura, Marno, Derek, Igor, Adolpho, Neriane, Adriana e Priscila, por toda a parceria, amizade e contribuições com a realização desse trabalho.

À amiga Sônia, por toda contribuição nas análises laboratoriais, também pela enorme paciência e compreensão para solução dos obstáculos encontrados, que nunca hesitou em me dar a mão sempre que precisei.

À amiga Itaynara Batista pelas conversas, orientações e contribuições, através de conselhos para melhor síntese desse trabalho.

À amiga Adriana Ramos por sempre me dar bons conselhos, ajudar nas dificuldades encontradas durante o mestrado e pela boa companhia nos cafezinhos.

Aos amigos que sempre me receberam muito bem em Botucatu, pelos bons momentos de distração e apoio nas horas difíceis.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho.

Que Deus abençoe cada um de vocês e proporcione muitas felicidades e saúde!

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	7
4.2 RELAÇÃO SOLO E COBERTURA	7
4.3 SISTEMA DE PRODUÇÃO E CENÁRIO ECONÔMICO	10
4.4 SISTEMA DE PRODUÇÃO E INFLUÊNCIAS NO SOLO	12
5. MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	17
5.2 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS E CLIMÁTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL	18
5.3 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL	21
5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	23
5.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	23
5.6 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO	24
5.6.1 Coleta para análise física	25
5.6.2 Coleta para análise química	25
5.6.3 Coleta para análise de raiz	25
5.7 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA	26
5.8 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO	26
5.8.1 Argila dispersa em água	26
5.8.2 Densidade de partículas	26
5.8.3 Análise granulométrica	26
5.8.4 Curva de retenção de água no solo	26
5.8.5 Densidade do solo	27
5.8.6 Distribuição de agregados por tamanho, diâmetro médio ponderado e geométrico	27
5.8.7 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade	28
5.8.8 Resistência do solo à penetração	28
5.9 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	28
5.10 ANÁLISES DE RAÍZES DE SOJA	28
5.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30

6.1	FÍSICA DO SOLO.....	30
6.1.1	Valores p e coeficientes de variação das variáveis de física do solo e raízes de soja	30
6.1.2	Argila dispersa em água.....	31
6.1.3	Curva de retenção de água no solo	33
6.1.4	Densidade do solo.....	41
6.1.5	Distribuição de agregados por tamanho e diâmetro médio ponderado e geométrico	43
6.1.6	Distribuição de agregados por classe de tamanho	48
6.1.7	Porosidade total	55
6.1.8	Macroporosidade	56
6.1.9	Microporosidade.....	58
6.1.10	Resistência do solo à penetração	60
6.2	RAÍZES DE SOJA.....	63
6.2.1	Massa matéria seca, comprimento, área superficial e volume de raízes	63
6.2.2	Diâmetro médio de raízes	66
6.3	FERTILIDADE DO SOLO	68
6.3.1	Valores p e coeficientes de variação das variáveis de fertilidade do solo.....	68
6.3.2	Acidez do solo (pH CaCl ₂)	70
6.3.3	Hidrogênio + alumínio (H+Al).....	72
6.3.4	Capacidade de troca catiônica (CTC)	73
6.3.5	Soma de bases (SB)	74
6.3.6	Saturação por bases (V%).....	75
6.3.7	Matéria orgânica do solo (MOS)	76
6.3.8	Saturação por alumínio (m%).....	77
6.3.9	Alumínio (Al)	79
6.3.10	Cálcio (Ca).....	80
6.3.11	Magnésio (Mg)	82
6.3.12	Potássio (K)	83
6.3.13	Fósforo (P).....	84
6.3.14	Enxofre (S)	88
6.4	PRODUTIVIDADE DA SOJA.....	92
7.	CONCLUSÕES	96
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
9.	APÊNDICES	115

LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tabela 1. Caracterização granulométrica do solo da área experimental por camada.....	18
Tabela 2. Análise química do solo da área experimental realizada em 2003.....	22
Tabela 3. Análise química do solo da área experimental realizada em 2006.....	22
Tabela 4. Análise química do solo realizada em 2010 para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 m.....	22
Tabela 5. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis argila dispersa em água (AD), densidade do solo (DS), diâmetro médio ponderado via úmida (DMP-VU), diâmetro médio geométrico via úmida (DMG-VU), diâmetro médio ponderado via seca (DMP-VS) e diâmetro médio geométrico via seca (DMG-VS).....	30
Tabela 6. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis classes de tamanho de agregados obtidos pelo método de agitação via úmida (VU).....	30
Tabela 7. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis classes de tamanho de agregados obtidos pelo método de agitação via seca (VS).....	31
Tabela 8. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração e teor de água no solo (TAS) no momento da medição da resistência do solo a penetração.....	31
Tabela 9. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis massa de matéria seca (MMSR), comprimento (CR), área superficial (ASR), volume (VR) e diâmetro médio (DMR) de raízes de soja.....	31
Tabela 10. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis acidez do solo (pH CaCl ₂), hidrogênio + alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica no solo (MOS) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	69
Tabela 11. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis alumínio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo (Mehlich-1) e enxofre, nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	69
Tabela 12. Valores p e CV(%) do teste de F da variável de produtividade da soja.....	92

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1. Produção brasileira de grãos nas safras 2011/12. Fonte: CONAB (2013).....	10
Figura 2. Evolução do complexo soja na exportação brasileira. Fonte: MAPA (2013).	11
Figura 3. Participação dos diferentes produtos na exportação brasileira. Fonte: MAPA, (2013).....	11
Figura 4. Localização da cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul. Fonte: Culturamix.....	17
Figura 5. Valores médios mensais para precipitação, temperatura máxima e mínima, durante o cultivo de outono-inverno (2012) e da soja de verão (2012/13) em Dourados, MS. Dados registrados na estação meteorológica da Embrapa, a 300 m da área experimental. Total da precipitação no período experimental = 1443 mm. Fonte: Embrapa, (2013).....	19
Figura 6. Valores diários para precipitação, temperatura máxima e mínima, durante o cultivo de outono-inverno (2012) e da soja de verão (2012/13) em Dourados, MS. Dados registrados na estação meteorológica da Embrapa, a 300 m da área experimental. Total da precipitação no período experimental = 1443 mm. Fonte: Embrapa, (2013).....	20
Figura 7. Esquema do histórico da área experimental, instalação e condução do experimento.....	21
Figura 8. Valores médios de argila dispersa em água (AD) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	32
Figura 9. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 - 0,10 m.....	33
Figura 10. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,10 - 0,20 m.....	34
Figura 11. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,20 - 0,30 m.....	36

Figura 12.	Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,30 - 0,40 m.....	37
Figura 13	Curvas de retenção de água no solo do tratamento <i>B. ruziziensis</i> (B) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	38
Figura 14	Curvas de retenção de água no solo do tratamento milho (M) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	39
Figura 15	Curvas de retenção de água no solo do tratamento milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	40
Figura 16	Curvas de retenção de água no solo do tratamento feijão caupi (C) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	41
Figura 17	Valores médios de densidade do solo (DS) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	42
Figura 18	Valores médios de diâmetro médio ponderado pelo método de agitação via úmida (DMP-VU) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	44
Figura 19.	Valores médios de diâmetro médio geométrico pelo método de agitação via úmida (DMG-VU) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	46
Figura 20.	Valores médios de diâmetro médio ponderado pelo método de agitação via seca (DMP-VS) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B).....	47
Figura 17.	Valores médios de densidade do solo (DS) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	42
Figura 18.	Valores médios de diâmetro médio ponderado pelo método de agitação via úmida (DMP-VU) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	44
Figura 19.	Valores médios de diâmetro médio geométrico pelo método de agitação via úmida (DMG-VU) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	46

Figura 20.	Valores médios de diâmetro médio ponderado pelo método de agitação via seca (DMP-VS) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B).....	47
Figura 21.	Valores médios de diâmetro médio geométrico pelo método de agitação via seca (DMG-VS) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	48
Figura 22.	Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 – 0,10 m.....	49
Figura 23.	Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,10 – 0,20 m.....	50
Figura 24.	Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,20 – 0,30 m.....	52
Figura 25.	Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,30 – 0,40 m.....	53
Figura 26.	Comparação entre as médias de distribuição de agregados, em diferentes classes de tamanho para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 – 0,40 m.....	54
Figura 27.	Comparação entre as médias de distribuição de agregados, em diferentes classes de tamanho para as camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	55
Figura 28.	Valores médios de porosidade total do solo (PT) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.....	56
Figura 29.	Valores médios macroporosidade do solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.....	57
Figura 30.	Valores médios de microporosidade do solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 - 0,40 m.....	59
Figura 31.	Valores médios de microporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	60
Figura 32.	Valores médios de resistência do solo a penetração nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	61

Figura 33.	Valores médios do teor de água do solo (TAS) no momento da medição de resistência do solo a penetração para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 - 0,40 m.....	62
Figura 34.	Valores médios de teor de água do solo no momento da medição de resistência do solo a penetração nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	62
Figura 35.	Valores médios de massa de matéria seca de raízes de soja (MMSR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.....	63
Figura 36.	Valores médios de comprimento de raízes de soja (CR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.....	64
Figura 37.	Valores médios de área superficial de raízes de soja (ASR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.....	64
Figura 38.	Valores médios de volume de raízes de soja (VR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.....	65
Figura 39.	Valores médios de diâmetro médio de raízes de soja (DMR) cultivada sobre os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.....	67
Figura 40.	Comparação entre as médias de acidez do solo (pH CaCl ₂) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	70
Figura 41.	Comparação entre as médias de hidrogênio + alumínio no solo (H+Al) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	73
Figura 42.	Comparação entre as médias de capacidade de troca catiônica (CTC) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	74
Figura 43.	Comparação entre as médias de soma de bases no solo (SB) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	75

Figura 44.	Comparação entre as médias de saturação por bases no solo (V%) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	76
Figura 45.	Comparação entre as médias de matéria orgânica no solo (MOS) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	77
Figura 46.	Comparação entre as médias de saturação por alumínio no solo (m%) para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	78
Figura 47.	Comparação entre as médias dos teores de alumínio (Al) no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	80
Figura 48.	Comparação entre as médias dos teores de cálcio (Ca) no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	81
Figura 49.	Comparação entre as médias dos teores de magnésio (Mg) no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	82
Figura 50.	Comparação entre as médias dos teores de potássio (K) no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	83
Figura 51.	Comparação entre as médias dos teores de fósforo (P) no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	85
Figura 52.	Comparação entre as médias dos teores de enxofre (S) no solo para os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.....	88
Figura 53.	Valores médios de produtividade de soja cultivada sobre os tratamentos <i>B. ruziziensis</i> (B), milho (M), milho + <i>B. ruziziensis</i> (M+B) e feijão caupi (C)..	93

1. RESUMO

Os atributos físicos e químicos do solo caminham lado a lado, e a ciência busca aprimorar o entendimento a respeito da interação dos mesmos, visando contemplar a sustentabilidade pela conservação do solo e de seus recursos naturais, utilizando o próprio sistema solo como uma ferramenta para redução das práticas antrópicas. O objetivo desse estudo foi avaliar os atributos físicos e químicos do solo submetido a diferentes cultivos de outono-inverno estabelecidos há cinco anos em sistema de semeadura direta e esclarecer qual a influência desses atributos na produtividade de grãos da soja. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa. Foram estabelecidos quatro tratamentos de outono-inverno, *Brachiaria ruziziensis* (B), milho (M), milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) e no verão foi cultivado soja. Foram realizadas coletas de solo, durante o período de florescimento da soja, para as análises física e química, foram retiradas também amostras de raízes da soja. Ao final do experimento foi realizada a colheita da soja para determinar a produtividade de grãos. Houve redução da macroporosidade e aumento da densidade do solo em B, comparado aos demais tratamentos, decorrente do pisoteio dos animais. O feijão caupi proporcionou maior retenção de água nas camadas abaixo de 0,10 m. Os maiores DMP e DMG foram encontrados em B, M, e M+B e os menores em C. O cultivo B apresentou maior porcentagem da massa do solo distribuída em agregados >2,0 mm, em todas as camadas, enquanto que em C houve a menor proporção dos agregados maiores que 2,0 mm nas camadas abaixo de 0,10 m. M e M+B tiveram estabilidade de agregados intermediária entre B e C. Não houve diferença na resistência a penetração (RP) entre os tratamentos estudados, esta apenas variou com a profundidade e foi maior na segunda e terceira camadas. Não houve influência dos tratamentos na produção de raízes de soja avaliada pelas variáveis massa de matéria seca de raiz (MMSR), comprimento de raiz (CR), área superficial de raiz (ASR) e volume de raiz (VR), variáveis que apresentaram redução em seus valores em camadas mais profundas. O cultivo de B proporcionou maiores DMR de soja na camada de 0,0 a 0,10 m, enquanto que nas camadas abaixo de 0,10 m o maior DMR ocorreu para os cultivos C e M+B. O feijão caupi proporcionou maior adsorção de P nas duas primeiras camadas do solo. O gesso que antecedeu a semeadura da soja promoveu maior teor de S no solo sob cultivo de feijão caupi, bem como as menores quantidades de argila dispersa em água. Os tratamentos C, M+B e M proporcionaram as maiores produtividades de soja. A menor

produtividade da soja observada no tratamento B foi atribuída ao pisoteio sistemático dos animais.

Palavras-chaves: Adsorção, agregação, soja, consórcio, raiz

PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL UNDER DIFFERENT CROPS OF AUTUMN-WINTER IN NO-TILLAGE SYSTEM. Botucatu, 2014. 119 f.

Dissertação (Mestrados em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RODRIGO CÉSAR SEREIA

Adviser: MARIA HELENA MORAES

Supervisor: GESSÍ CECCON

2. SUMMARY

The physical and chemical soil attributes go hand in hand, and science seeks to improve the understanding about the interaction of these, aiming to include sustainability through conservation of soil and its natural resources, using the own soil system as a tool to reduce anthropogenic practices. The aim of this study was to evaluate the physical and chemical soil properties under different crops in autumn-winter established five years ago in no-tillage system and clarify the influence of these attributes on the grain yield of soybean crop and its root growth. The experiment was conducted on an Oxisol clay texture. Four treatments autumn-winter, were established, *Brachiaria ruziziensis* (B), maize (M), maize intercropped with *B. ruziziensis* (M+B) and cowpea (C) and in summer was grown soybeans. Samplings were carried out during soybean flowering, for the analysis of physics and chemistry, were also taken samples of soybean roots. At the end of the experiment proceeded soybean harvest to determine grain yield. There was a decrease in the macroporosity and an increase in bulk density of the soil in the B treatment compared to the other treatments, due to the animal trampling. The cowpea provided greater water retention in the layers below 0,10 m, due to the smaller influence of roots of this crop and higher microporosity in the soil. The largest Mean Geometric Diameter (MGD) and Mean Weight Diameter (MWD) were observed in treatments B, M, and M+B and the lowest values in C. Treatment B had higher percentage of soil mass distributed in aggregates > 2,0 mm in all layers, while in treatment C there was the lowest aggregate stability (> 2,0 mm) in the layers below 0.10 m. M and M + B had intermediate stability of aggregates between treatments B and C. There was no difference in resistance to penetration (RP) between the treatments, this only varied with depth and was higher in the second and third layer. There was no influence of treatment on the production of soybean roots, assessed by dry weight, root length, root

surface area and root volume, the variables had a reduction in their values in deeper layers. Treatment B provided higher mean diameter (HMD) of soybean root in layer 0,0 to 0,10 m, while the layers below 0,10 m, the highest HMD occurred on crops C and M + B. The cowpea caused greater P adsorption in the first two soil layers. Gypsum applied before soybean sowing promoted higher S content in soil under cultivation of cowpea as well as smaller quantities of water dispersible clay. Treatments C, M and M + B, showed the highest yield of soybeans. The lowest soybean yield observed in treatment B was assigned to a systematic trampling of animals.

Keywords: Adsorption, aggregation, soybean, intercrop, root

3. INTRODUÇÃO

A agricultura e a pecuária são importantes setores que contribuem com o PIB brasileiro e, tendo em vista que o país conta com grande área para prática destas atividades, torna-se cada vez mais evidente a grande demanda por sistemas de produção que proporcionem maior retorno econômico, com sustentabilidade técnica, ambiental e socioeconômica.

Tornar um sistema de produção sustentável depende de boas práticas agronômicas, visando à conservação do solo com manejos que proporcionem maior aporte de matéria orgânica, através dos resíduos de cobertura e raízes, que devem ser produzidos em quantidade e qualidade suficientes para proteção e manutenção do solo nos períodos de safra e entressafra. Estes resíduos permitem recuperar os teores de matéria orgânica e são indispensáveis para proteção do solo das condições extremas do ambiente, que estão relacionados, principalmente, com a amplitude térmica, radiação solar incidente, conteúdo de água no solo e disponibilidade de nutrientes às plantas.

No Brasil, o sistema de semeadura direta é cada vez mais utilizado como alternativa para melhoria da produção e da qualidade do solo. Segundo a Febrapd (2013) a área cultivada com esse sistema na safra 1972/1973 era de 180 hectares, em 2000/2001 esse valor aumentou para 17,35 e mais tarde para 31,8 milhões de hectares na safra 2011/2012. Esses números ajudam a entender a evolução e importância desse sistema no cenário agrícola brasileiro, uma vez que proporcionou maior rentabilidade e sustentabilidade na produção agrícola.

O sistema de semeadura direta é indicado para promover aumento dos estoques de carbono orgânico no solo, principalmente nas camadas superficiais, comparado aos sistemas menos conservacionistas, como o plantio convencional, que promove o revolvimento do solo, contribuindo assim para a conscientização ambiental da comunidade agrícola, da necessidade da adoção de práticas agrícolas mais conservacionistas para o setor (LÓPEZ et al., 2012). Mesmo que o sistema de semeadura direta esteja consolidado, como alternativa para aumento do aporte de material orgânico no solo, observa-se que existem lacunas no conhecimento do real impacto dos diferentes cultivos empregados, os quais poderiam contribuir para aumentar a qualidade do sistema, sobre os aspectos produtivos das culturas e nas condições do solo.

O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade dos atributos físicos e químicos do solo submetido a diferentes cultivos de outono-inverno estabelecidos há cinco anos em sistema de semeadura direta e esclarecer qual a influência desses atributos na produtividade de grãos da soja.

Portanto, é esperada uma variação nas características do solo pelo uso de diferentes cultivos empregados em período de safrinha, com reflexos no desempenho produtivo da cultura em sucessão.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.2 Relação solo e cobertura

O solo fornece água, ar, nutrientes e o suporte mecânico para o crescimento das plantas. No entanto, além das qualidades intrínsecas do solo, o manejo do solo pode modificar as condições físicas, químicas e biológicas, necessárias para o crescimento e produtividade das culturas (TORMENA, 2009).

O conteúdo de matéria orgânica no horizonte superficial dos solos minerais varia de 0,5 a 5%. Apesar de compor menos de 5% da base seca da maioria dos solos, apresenta uma alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, as quais afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo agrícola; por este motivo deve ser levada em consideração na avaliação do potencial produtivo do solo e na escolha das práticas de manejo a serem empregadas (MEURER, 2006).

O teor de MOS em um determinado local, de acordo com Malavolta (2006), será resultante de um balanço entre taxas de adição e de perda. As adições de material orgânico correspondem, principalmente, à quantidade de resíduos de plantas e animais que retornam ao solo e suas perdas ocorrem, principalmente, pela oxidação do carbono (formação de CO₂), pela erosão ou por percolação.

Nos últimos anos, tem-se percebido que diante das condições climáticas extremas relacionadas às chuvas, temperatura e radiação solar, é necessário que

se adote medidas para melhorar os níveis de cobertura do solo, devido às altas taxas de decomposição do material orgânico deixados em superfície.

A contribuição da palha em cobertura no sistema de semeadura direta, para a proteção do solo, pode ser das mais diversas, tais como o bloqueio da radiação solar direta, perda excessiva de água na forma de evaporação e escoamento superficial, compactação superficial promovida pelo impacto das gotas da chuva, pisoteio de animais e pela ação de rodados de implementos (DAO, 1996; BRAIDA, 2004; LEAO et al., 2004; BRANDT, 2005; BRAIDA et al., 2006).

Ess et al. (1998) apontam que o efeito da compactação depende do total de resíduos de plantas que permanecem na superfície do solo e que pode afetar atributos como densidade e umidade do solo. Acharya; Sharma (1994) também observaram que a cobertura do solo proporciona diminuição do problema da compactação do solo.

Outro fator bastante relevante para perda em quantidade e qualidade de resíduos, são os manejos que promovem revolvimento intensivo do solo, por operações que aceleram o processo de decomposição do material orgânico que é importante condicionador de solo. O aumento da taxa de decomposição se dá, principalmente, pelo aumento da superfície de contato do material em cobertura e incorporação no solo, tornando assim mais eficiente à ação do clima, e biota do solo (CARVALHO et al., 2008).

Os estoques de carbono no solo podem ser mantidos e até recuperados em níveis consideráveis, pela adição de material orgânico em cobertura ao longo dos anos e pelo revolvimento mínimo do solo. Isso foi constatado por Costa Junior et al. (2013), ao avaliar as taxas de armazenamento de carbono do solo sob sistema de semeadura direta em Rio Verde, Goiás. Em seus resultados os estoques de carbono do sistema de semeadura direta aumentaram com o tempo de adoção desse sistema, chegando a valores próximos aos encontrados na vegetação nativa de cerrado. A adoção do sistema convencional, neste mesmo estudo, proporcionou os menores valores de estoque de carbono no solo.

Em um sistema de manejo em que se empregam operações com intenso revolvimento do solo, como o sistema convencional, a taxa de perda de carbono, normalmente, será maior que a taxa de adição, resultando no decréscimo dos teores de MOS originais, o que geralmente vem acompanhado da degradação do solo. Os compostos orgânicos que constituem a MOS participam das ligações entre as partículas individuais do solo, atuando como agentes cimentantes das unidades estruturais (agregados). A formação e

estabilização dos agregados afeta a aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água pelo solo. A presença de poros no solo oferece melhores condições à infiltração de água e melhor troca de gases entre o solo e a atmosfera (MEURER, 2006; UGALDE, 2009; AZIZ et al., 2013; KAHN et al., 2013; JEMAI et al., 2013).

Kahlon et al. (2013), avaliando os efeitos do manejo do solo e a adição de material de cobertura ao longo de vinte e dois anos no estado de Ohio, Estados Unidos, constataram que com o aumento do aporte de material orgânico e a redução dos processos de revolvimento do solo permitiram redução da densidade do solo, resistência do solo à penetração de raízes e aumento na velocidade de infiltração de água e condutividade hidráulica no solo, permitindo concluir que o sistema de semeadura direta, associado à adição de resíduos orgânicos, afetou significativamente as propriedades mecânicas e hidrológicas do solo.

A diminuição do espaço poroso leva à compactação do solo, aumento da densidade e, consequente, aumento da resistência do solo à penetração pelas raízes, devido a barreira que dificulta o crescimento das raízes no perfil do solo em profundidades (MARTÍNEZ et al., 2008). Entre os principais efeitos da perda da qualidade estrutural e física do solo destaca-se a redução do crescimento radicular, em volume e profundidade, que se reflete na absorção de água e nutrientes, com maior suscetibilidade aos veranicos ou reduzindo o aproveitamento da água armazenada no perfil do solo (TORMENA, 2009).

A estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas e, por consequência, a distribuição do diâmetro dos poros juntamente com o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica do solo, afeta em muito a disponibilidade de água às culturas (KLEIN, 2008). Solos que possuem uma boa cobertura podem ser mais eficientes no armazenamento de água e o efeito da cobertura pode refletir, positivamente, na produtividade de grãos das culturas. O aumento da produtividade do milho diante do acréscimo de cobertura pode ser observado por Mupangwa et al. (2012), estudando os efeitos da rotação de culturas, do manejo do solo e sua cobertura na região sul do Zimbábue, África do Sul. Os autores ainda constataram que este efeito foi observado, principalmente, em períodos escassos em chuva.

4.3 Sistema de produção e cenário econômico

O plantio direto, que preconiza o mínimo revolvimento do solo, tem melhorado a qualidade do solo, permitindo incremento na produtividade de muitas culturas. A qualidade do solo é um fator muito importante para a sustentabilidade da produção agrícola, pois está diretamente ligada à preservação dos recursos naturais do solo e do ambiente. Essa prática conservacionista tem contribuído para manter os níveis de cobertura no solo próximos do ideal. Atualmente, verifica-se que o sistema de plantio direto, realizado em muitas áreas do Brasil, nem sempre é de boa qualidade. Nos últimos anos a sucessão da soja [*Glycine max* (L.)] e milho [*Zea mays* (L.)] cultivado na safrinha (segunda safra) apresenta baixa capacidade para cobrir o solo, o que pode prejudicar a sustentabilidade da produção agrícola, tendo em vista a grande importância que estes dois produtos representam para a economia brasileira. O milho safrinha representou na safra 2011/12, 56,8% do total de milho produzido no Brasil, ou seja, mais da metade da produção foi obtida no período de inverno em que é frequente a ocorrência de geadas e falta de chuva, comportamento climático comum nas regiões centro-oeste e sul do país (Figura 1).

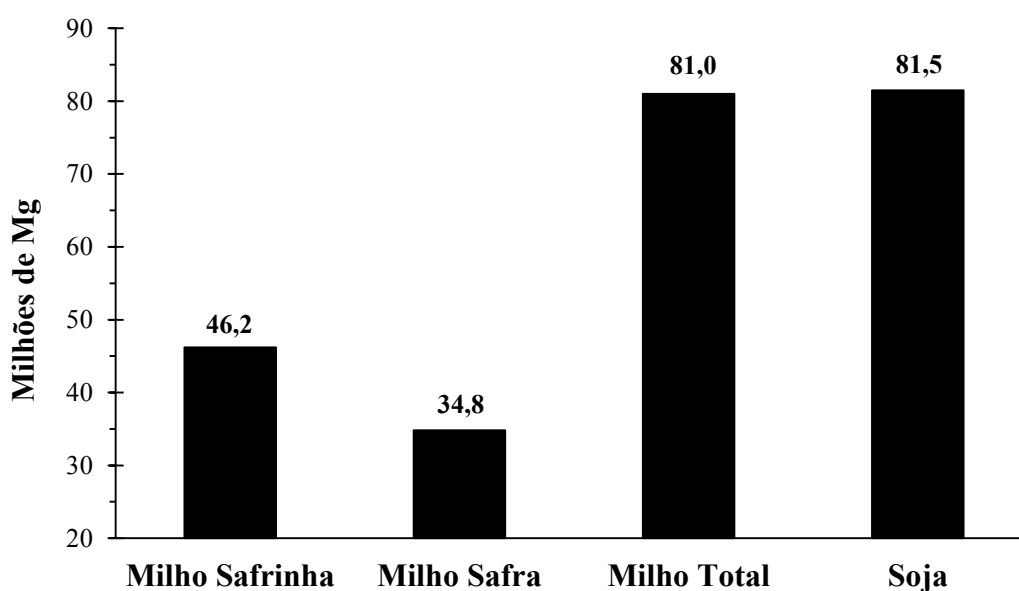


Figura 1. Produção brasileira de grãos nas safras 2011/12. Fonte: CONAB (2013).

A cada ano percebe-se a crescente representatividade do complexo soja no setor exportação brasileira. Em 2002 o Brasil exportava cerca de 30,4 milhões de toneladas, em 2012 passou a exportar 49 milhões de toneladas, ou seja, teve um crescimento

de 61% nas exportações desse produto, justificando assim a necessidade de se melhorar os índices de produtividade para suprir a demanda não só do comércio interno mas também do comércio exterior (Figura 2).

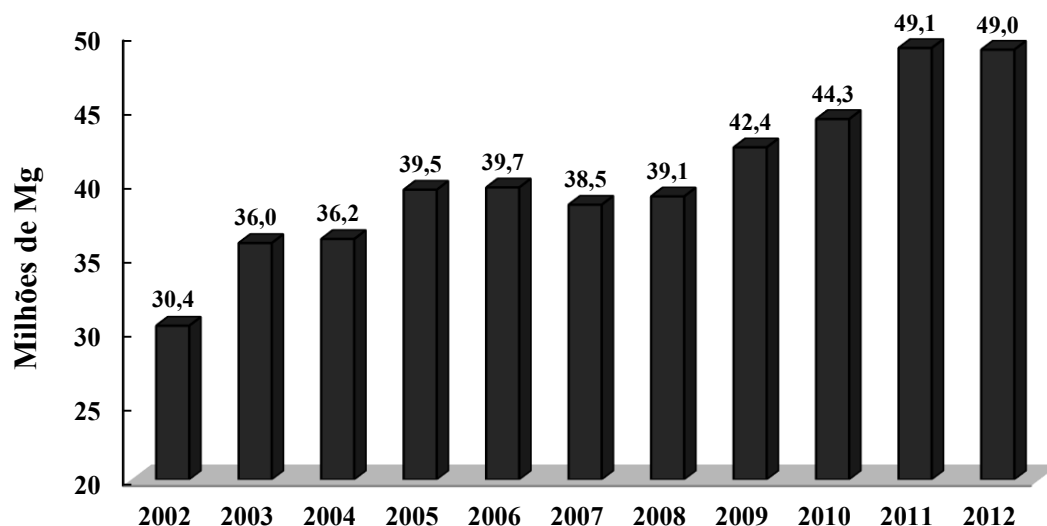


Figura 2. Evolução do complexo soja na exportação brasileira. Fonte: MAPA (2013).

Em 2013 a soja foi o produto que mais contribuiu nas exportações no setor agrícola, em 2012 perdeu apenas para o milho (13,8%). O milho também se mostra um importante produto de exportação, em 2012 contribuiu com 13,8% e em 2013 caiu para 10,8% das exportações, mesmo assim o milho representou 95,2% (2012) e 94% (2013) dos cereais exportados no Brasil (Figura 3).

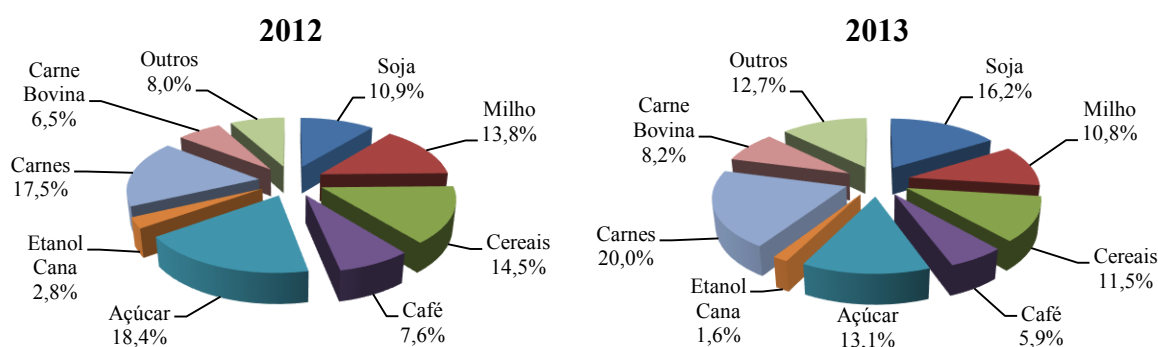


Figura 3. Participação dos diferentes produtos na exportação brasileira. Fonte: MAPA, (2013).

4.4 Sistema de produção e influências no solo

O sistema de semeadura direta é um forte aliado para aumentar os estoques de carbono orgânico do solo, tendo em vista que fornece, constantemente, material vegetal em superfície e em profundidade através de raízes e da biota do solo, as quais encontram condições mais favoráveis à sobrevivência e atividade sob esse sistema. O emprego de diferentes cultivos com diferentes potenciais de produção de cobertura e de raízes, também pode ser uma interessante alternativa para melhorar a oferta de biomassa vegetal para o sistema de semeadura direta.

O cultivo de milho safrinha consorciado com *Brachiaria ruziziensis* é uma alternativa para aumentar a produção de palha, tendo em vista que a braquiária produz massa durante e após a colheita do milho e, com isso, proporciona maior tempo de solo coberto (CECCON et al., 2011). Neste caso, a adição de matéria orgânica em profundidade é maior e mais intensa, pois a ação de dois sistemas radiculares na mesma área influencia o solo de diferentes formas e em diferentes profundidades.

A braquiária com seu sistema radicular agressivo pode chegar a grandes profundidades, contribuindo de forma significativa para a ciclagem de nutrientes que estão nesta faixa e que, geralmente, não são explorados pelas raízes do milho e da soja, podendo gerar maior retorno econômico na sucessão soja-milho safrinha (CECCON, 2007).

Em diversas áreas sob ecossistema cerrado nos estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, a soja tem apresentado maiores produções sobre palhada de plantas do gênero braquiária, principalmente em sucessão à *Brachiaria brizantha* (KLUTHCOUSKI; STONE, 2003).

Martínez et al. (2008), avaliando atributos físicos do solo e o comprimento de raízes de trigo na região central do Chile, observaram que no sistema de semeadura direta houve maior valor de comprimento de raiz, comparado ao sistema de plantio convencional, até 0,05 m de profundidade. Abaixo dessa profundidade não houve diferença significativa para comprimento das raízes entre os dois sistemas estudados, provavelmente, devido à compactação do solo encontrada nesta região do perfil. Porém, os autores constataram que a constante adição de resíduos vegetais em superfície, permitiu o aumento do carbono orgânico no solo, principalmente, nas camadas superficiais.

O crescimento de raízes pode variar com a profundidade do solo e suas condições estruturais, fatores como densidade, compactação, porosidade, conteúdo de água e fertilidade podem ser limitantes para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (TOLON-BECERRA, et al. 2011; CHEN; WEIL, 2011; KADŽIENĖ, et al. 2011).

O desenvolvimento radicular pode estar associado também ao manejo que é dado ao solo, o sistema de semeadura direta e a rotação de culturas podem favorecer o acúmulo de raízes em superfície, já processos de revolvimento como escarificação e gradagem, podem diminuir o crescimento de raízes laterais (CALONEGO; CRUSCIOL, 2010).

Outra alternativa para aumentar o aporte de material orgânico é a utilização do sistema integrado de lavoura com a pecuária, que trabalha com implantação de pastagens para a alimentação dos animais com posterior implantação de uma cultura.

Na pecuária, com predomínio do caráter extensivo, há obstáculos, para manter a qualidade de forragem para o rebanho bovino, devido à falta de investimentos, principalmente para recuperação do pasto. O uso de adubos para o fornecimento de nutrientes para a cultura produtora de grãos é importante para atingir boas produtividades, seu residual no solo pode contribuir também para manutenção do pasto que estará por vir, produzindo alimento de boa qualidade para os animais em períodos secos de outono e inverno.

Além disso, os sistemas integrados de lavoura com a pecuária têm como princípio básico, alimentar animais com o pasto, produzindo carne e fornecer resíduos orgânicos para a cultura sucessora a ser implantada. Após a pastagem, resta uma quantidade de matéria seca na superfície e de raízes (MACHADO et al., 2007), permitindo aumentar os teores de matéria orgânica do solo (FREITAS et al., 2000; JANTALIA et al., 2006). Esse incremento de MOS é uma ferramenta efetiva para modificação físico-química do sistema solo.

Spera et al. (2009), avaliando os atributos físicos do solo após dez anos do estabelecimento de integração de lavoura com pastagens de inverno e forrageiras perenes em Latossolo Vermelho distrófico, observaram que houve efeito do pastejo sobre os atributos físicos do solo, ao elevar a densidade e a microporosidade do solo e diminuir a macroporosidade e porosidade total, porém sem atingir níveis capazes de causar degradação do solo. Já Lanzasova et al. (2007), constataram em seu trabalho, que a microporosidade do solo não foi alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de

solo estudadas. Os autores enfatizam que a macroporosidade e a porosidade total foram influenciadas pelo pisoteio bovino.

Não só influências sobre as características estruturais do solo devem ser levados em consideração, mas também, aquelas ligadas a fertilidade do solo. Muitos nutrientes estão localizados em grandes profundidades, portanto, as raízes são ferramentas fundamentais para a ciclagem de nutrientes, contribuindo para o aumento da fertilidade química e física do solo (MALAVOLTA, 2006).

Salton (2005), avaliando a matéria orgânica do solo, com rotação lavoura-pastagem em Latossolo Vermelho distroférrico, em experimento com duração de dez anos, associou o maior estoque de carbono total ao maior aporte de material orgânico ao solo, conferido pelos cultivos com pastagem permanente (*B. ruziziensis*) e integrado com a soja (2 anos soja/2 anos braquiária), enquanto que os cultivos apenas com lavoura sob sistema de semeadura direta e plantio convencional, proporcionaram o menores valores de estoque de carbono orgânico.

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], uma das alternativas de renda e alimento para a população de baixa renda da região Norte e Nordeste do Brasil, é muito utilizado na composição de merendas escolares, farinhas e produtos pré-cozidos e congelados. Essa espécie tem sido difundida nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil por se adaptar bem às condições climáticas de outono-inverno, uma vez que se caracteriza como rústica, de ciclo curto e pouco exigente em água (FREIRE FILHO et al., 2005).

Nestas regiões o feijão caupi tem sido uma alternativa viável, pois permite a produção de grãos no início da safrinha e proporciona uma cobertura de acelerada decomposição, comportando-se como “adubo verde”. Além disso, com o atraso da colheita da soja, a safrinha de feijão-caupi torna-se um cultivo interessante e mais seguro, pois mesmo que semeado tardiamente ainda terá boas condições para o seu desenvolvimento, considerando-se que possui ciclo curto e tolerância aos períodos secos, mostrando-se um excelente cultivo de outono-inverno.

Importantes melhorias como aumento da capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, podem ser alcançadas pelo manejo estrutural do solo, promovendo adequação da porosidade, preservação da integridade de bioporos e proporcionando maior agregação do solo. O aumento da infiltração de água no solo pelos espaços porosos é de suma importância para o sistema por promover diminuição do escoamento superficial da água em superfície (JEMAI et al., 2013). A água permite

melhorar o desenvolvimento das culturas, pois é veículo de nutrientes necessários para manutenção dos diferentes níveis tróficos do sistema de produção.

Zhang et al. (2012), estudando a dinâmica da comunidade microbiológica na cultura do milho no nordeste da China, em sistema de semeadura direta e convencional, observaram que a presença da cobertura e o não revolvimento do solo permitiu aumento significativo do conteúdo de água no solo, bem como ligeira redução da temperatura do solo, resultado que reforça a importância da cobertura para manutenção das condições favoráveis as plantas e a biota do solo. Os autores concluem, ainda, que a adoção desse sistema é uma prática que pode ser utilizada como parte de uma estratégia global para melhorar a qualidade do solo no ecossistema agrícola no nordeste da China.

Tormena et al. (1998), avaliando o intervalo hídrico ótimo (IHO) de um Latossolo Roxo sob plantio direto, concluem que a resistência à penetração e a porosidade de aeração foram fortemente influenciadas pela densidade do solo e que o IHO foi reduzido com o aumento da densidade do solo. Estes resultados demonstram o efeito das alterações das características físicas e estruturais do solo, sobre a capacidade de armazenamento de água.

Como nos períodos de safrinha, que são geralmente escassos em chuva, no outono, que sucede o verão e antecede o inverno, pode-se ainda encontrar condições favoráveis para implantação das culturas, esse intervalo de tempo deve ser, preciosamente, aproveitado para a semeadura, pois a umidade adequada do solo é um dos fatores que mais determina a qualidade do estande, aproveitando-se ao máximo o potencial genético das sementes, evitando-se perdas na produção, que podem ser provocadas por alto percentual de falha na lavoura. Esta estratégia é interessante, pois em períodos que há restrições à disponibilidade hídrica, a semente inicia a germinação e, não havendo água suficiente para a sua continuidade, pode ocorrer a morte do embrião (HOBBS; OBENDORF, 1972).

A escolha do cultivo a ser implantado na safrinha deve ser feita baseando-se no final do ciclo da soja, ou seja, se a colheita for tardia, a escolha deve ser baseada em cultivos ou materiais genéticos de ciclo curto e pouco exigentes em água. Por outro lado, quando se tratar de produção de material de cobertura, para proteção do solo em período de safrinha, a escolha depende de espécies de plantas ou materiais genéticos tolerantes à geada, seca, quantidade de fitomassa, persistência de palhada (relação C:N), e que, preferencialmente, possam promover o enriquecimento da fertilidade do solo pela

ciclagem e disponibilização de nutrientes como o fósforo, fixação biológica de nitrogênio atmosférico e a capacidade de gerar matéria orgânica e sistema radicular volumoso.

Em diferentes regiões do mundo, existe um consenso de que períodos de utilização com pastagens perenes, gramíneas e ou leguminosas, condicionam melhorias na qualidade do solo e na produtividade de lavouras subsequentes (GARCÍA-PRÉCHAC et al., 2004). A estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica podem aumentar rapidamente com a inclusão de pastagens na rotação com culturas devido à combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante, e maior atividade da macrofauna do solo em pastagens (MARCHÃO, 2007). Este processo é rapidamente revertido quando o solo volta a ser preparado.

A introdução de cultivos que proporcionam materiais de baixa relação C:N como as leguminosas, que oferecem baixa resistência à decomposição do material vegetal também pode ser uma interessante ferramenta para o aumento da produtividade de culturas sucessoras, já que estes resíduos podem disponibilizar nutrientes como o nitrogênio em curtos espaços de tempo. A disponibilidade de N pode ocorrer em diferentes formas dependendo das espécies de plantas cultivadas (RODRIGUES et al., 2013). O N na forma oxidada (NO_3) ou reduzida (NH_4^+), importante às plantas, pode ser absorvido a partir do solo ou obtido a partir do N_2 atmosférico, pela fixação biológica de nitrogênio. Este processo pode ser afetado por fatores físicos, químicos e biológicos, e é mais frequente quando se utiliza espécies leguminosas que estão em simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (BERNARD; HABASH, 2009; RODRIGUES et al., 2013).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados estado de Mato Grosso do Sul, nas coordenadas 22°16'S e 54°49'W, a 408m de altitude (Figura 4).



Figura 4. Localização da cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul. Fonte: Culturamix.

5.2 Características edáficas e climáticas da área experimental

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa. Na Tabela 1 encontra-se a caracterização granulométrica do solo da área experimental.

Tabela 1. Caracterização granulométrica do solo da área experimental por camada.

Camada (m)	Frações Granulométricas			Textura
	Areia	Silte	Argila	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0,0 - 0,10	140	364	496	Argilosa
0,10 - 0,20	114	222	663	Muito Argilosa
0,20 - 0,30	113	234	652	Muito Argilosa
0,30 - 0,40	105	244	651	Muito Argilosa

O clima da região sul de Mato Grosso do Sul, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com verões quentes e invernos secos, temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro e janeiro e temperaturas mínimas entre maio e agosto, coincidindo com chuva excedente na primavera-verão e déficit hídrico no outono-inverno (Figura 5), com precipitação média anual é de 1.469 mm (FIETZ; FISCH, 2008).

Os registros de precipitação, temperaturas máxima e mínima estão apresentados na Figura 5 (mensal) e Figura 6 (diários), obtidos durante a condução do experimento. Houve registros de geada leve no dia 25 de junho.

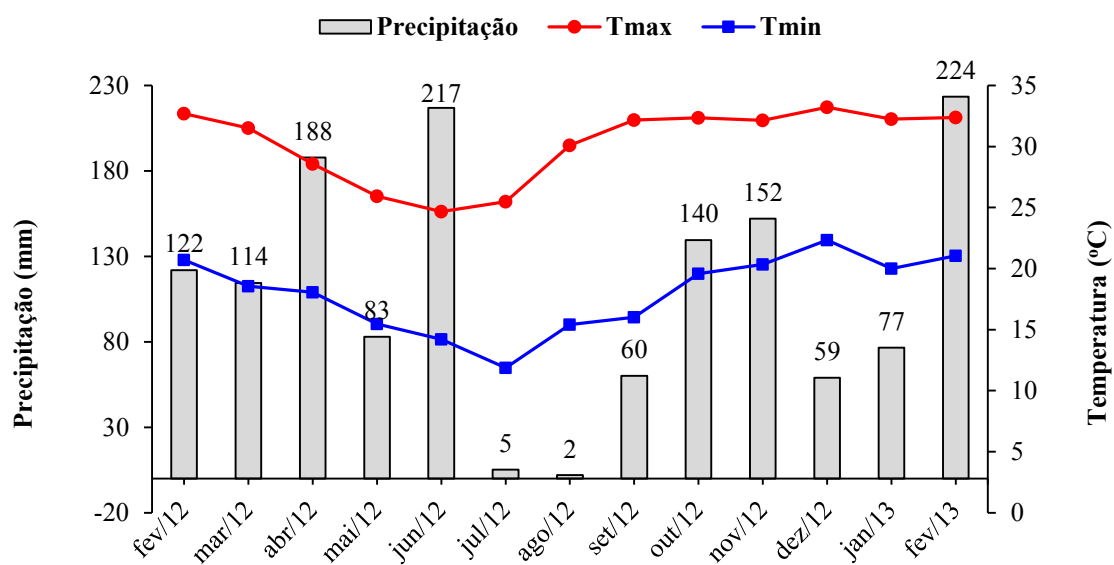


Figura 5. Valores médios mensais para precipitação, temperatura máxima e mínima, durante o cultivo de outono-inverno (2012) e da soja de verão (2012/13) em Dourados, MS. Dados registrados na estação meteorológica da Embrapa, a 300 m da área experimental. Total da precipitação no período experimental = 1443 mm. Fonte: Embrapa, (2013).

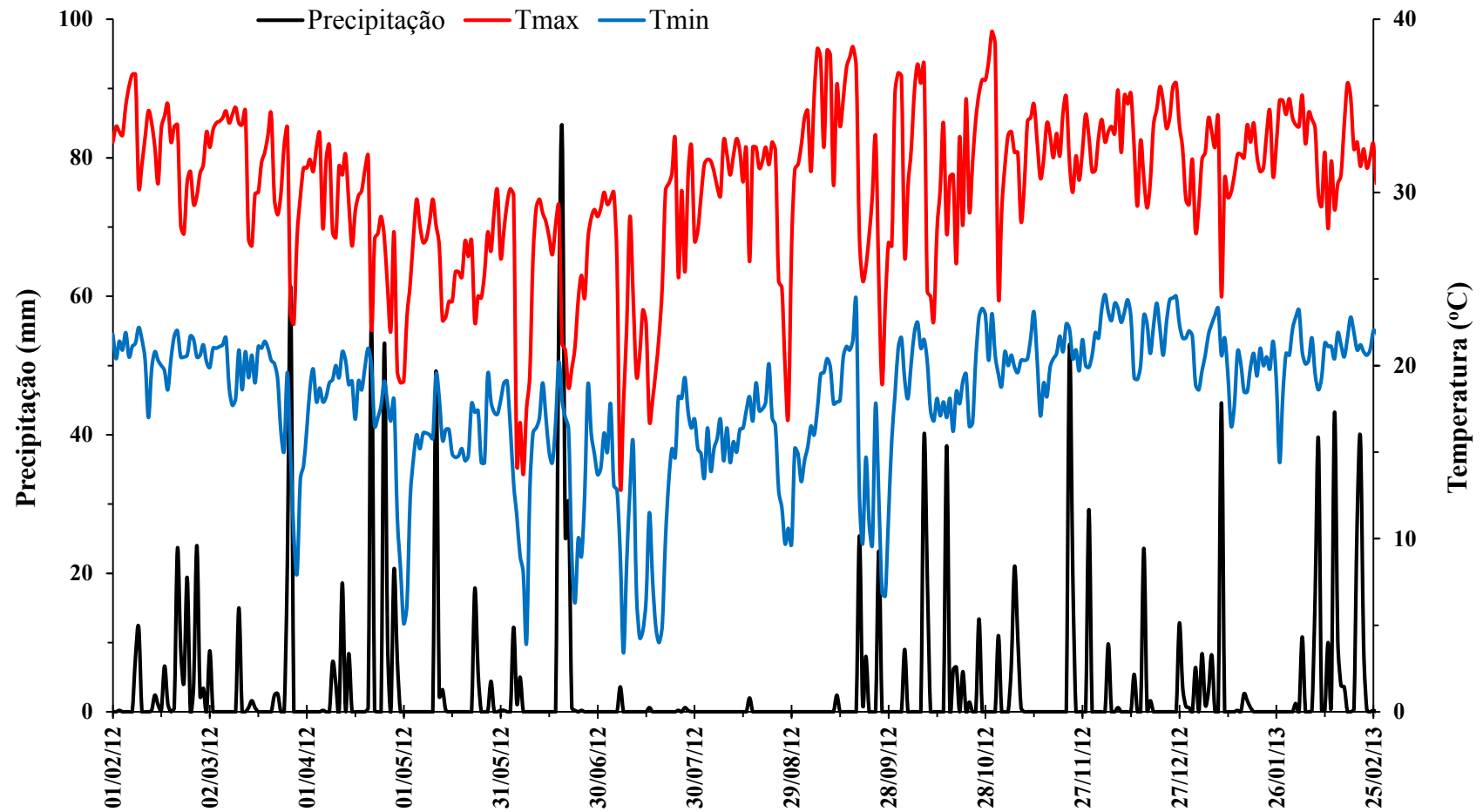


Figura 6. Valores diários para precipitação, temperatura máxima e mínima, durante o cultivo de outono-inverno (2012) e da soja de verão (2012/13) em Dourados, MS. Dados registrados na estação meteorológica da Embrapa, a 300 m da área experimental. Total da precipitação no período experimental = 1443 mm Fonte: Embrapa, (2013).

5.3 Histórico da área experimental

A área é cultivada em sistema de semeadura direta desde 2001, com a sucessão soja milho safrinha como está esquematizado na Figura 7.

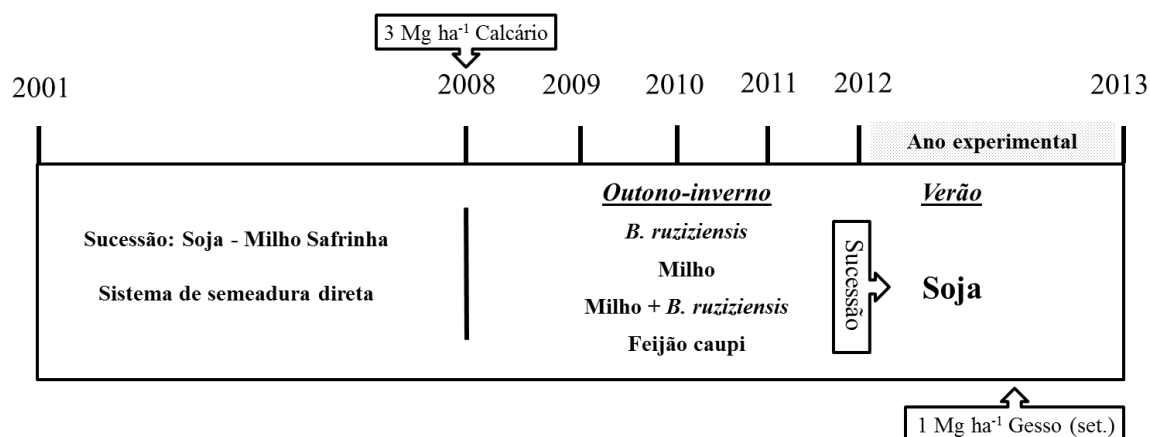


Figura 7. Esquema do histórico da área experimental, instalação e condução do experimento.

Em 2008 após a colheita da soja a área recebeu 3 Mg ha⁻¹ de calcário em superfície sem incorporação visando elevar a saturação por bases a 60%. No dia 06 de março de 2008 foram estabelecidos os cultivos de outono-inverno, milho, *Brachiaria ruziziensis*, milho consorciado com *B. ruziziensis* e feijão-caupi, permanecendo o cultivo de soja na safra de verão. Nos anos seguintes os cultivos de outono-inverno foram semeados sempre no mês de março de cada ano, nos dias 10/03/2009, 11/03/2010, 09/03/2011 e 01/03/2012.

No ano de 2003 e 2006 foram realizadas análises químicas do solo, em área total do experimento. Foram avaliadas as camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30 m, para os dois anos, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental realizada em 2003.

Camada (m)	pH	V%	CTC	Al	Ca	Mg	K	P*
----- Cmol _c dm ⁻³ -----								
					-			mg dm ⁻³
0,0 - 0,10	4,5	34,0	12,90	0,50	2,70	1,10	0,58	32,60
0,10 - 0,20	4,5	31,0	12,90	0,60	3,20	1,00	0,40	15,80
0,20 - 0,30	4,7	40,0	10,90	0,20	2,90	0,90	0,25	8,10

* Mehlich-1

Tabela 3. Análise química do solo da área experimental realizada em 2006.

Camada (m)	pH	V%	CTC	SB	Al	Ca	Mg	K	P*	MOS
----- Cmol _c dm ⁻³ -----										
									mg dm ⁻³	g dm ⁻³
0,0 - 0,10	4,8	47,6	12,40	5,94	0,28	3,44	1,94	0,56	26,22	32,67
0,10 - 0,20	4,5	36,0	11,04	3,85	0,68	2,56	1,00	0,29	9,28	25,38
0,20 - 0,30	4,8	46,2	9,10	4,24	0,24	3,20	0,88	0,16	3,62	22,70

* Mehlich-1

Em 2010, dois anos após a implantação dos tratamentos, foram realizadas novamente análises químicas do solo. As amostragens foram realizadas em cada tratamento e nas camadas de 0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m, os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise química do solo realizada em 2010 para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 m.

Trat.	pH	V%	m%	H+Al	CTC	SB	Al	Ca	Mg	K	P*	MOS
----- Cmol _c dm ⁻³ -----												
mg dm ⁻³ g dm ⁻³												
<i>Camada 0,0 - 0,10 m</i>												
B	5,7	69,3	0,00	4,15	13,55	9,40	0,00	6,10	2,55	0,75	44,85	39,16
M	5,8	72,4	0,00	3,85	13,96	10,11	0,00	6,53	2,67	0,91	41,53	39,46
M+B	5,8	72,3	0,00	3,94	14,19	10,25	0,00	6,55	2,65	1,05	63,20	38,64
C	5,9	73,2	0,00	3,73	13,91	10,17	0,00	6,50	2,65	1,02	45,70	40,53
<i>Camada 0,10 - 0,20 m</i>												
B	4,6	35,0	8,95	7,63	11,74	4,11	0,40	2,90	1,00	0,21	8,95	28,91
M	4,7	37,2	7,88	7,38	11,73	4,35	0,37	2,93	1,10	0,32	9,33	28,41
M+B	4,7	37,8	6,37	7,24	11,63	4,39	0,30	3,00	1,10	0,29	10,10	28,88
C	4,8	40,1	6,96	7,04	11,76	4,72	0,35	3,15	1,20	0,37	13,25	29,97

* Mehlich-1

5.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro tratamentos e seis repetições, totalizando 24 parcelas de 150 m² cada (10m x 15m). Os tratamentos foram constituídos pelo cultivo de milho (M), milho consorciado com *B. ruziziensis* (M+B), *B. ruziziensis* (B) e feijão-caupi (C) no período de outono-inverno e da soja no verão.

5.5 Instalação e condução do experimento

Os cultivos de outono-inverno foram implantados mecanicamente, no dia 1 de março de 2012, com semeadora pneumática, marca Semeato, modelo PAR 2800 (Semeato, 2013). O híbrido de milho utilizado foi o híbrido BRS 1010. Este foi semeado em espaçamento de 0,9 m, com população média de 49 mil plantas por hectare, tanto no tratamento solteiro quanto no consorciado com a braquiária. As sementes de milho foram tratadas com inseticida thiodicarbe, na dose de 20 mL kg⁻¹ de semente do produto comercial. Para o controle de plantas daninhas foi realizada aplicação de herbicida a base de atrazina na dose de 1,5 L ha⁻¹ do produto comercial. Para o controle de lagarta foi utilizado inseticida a base de metomil na dose de 0,6 L ha⁻¹ de produto comercial. A adubação foi realizada com base na análise química do solo, utilizando-se 200 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK com a fórmula 8-20-20 visando atingir níveis ótimos de produtividade da cultura (COELHO et al. 2012).

A *B. ruziziensis* consorciada com o milho safrinha foi semeada em linhas intercaladas às linhas do milho, ou seja, com espaçamento de 0,9 m e população de 20 plantas m² em sulco de semeadura em uma só operação, utilizando-se aproximadamente 3 kg ha⁻¹ de sementes de braquiária.

A *B. ruziziensis* no tratamento solteiro, também foi semeada em sulco de semeadura, só que em espaçamento de 0,45 m e uma população de 40 plantas m². Tanto para o consórcio quanto para a *B. ruziziensis* em cultivo solteiro as sementes de braquiária foram depositadas de 0,04 a 0,06 m de profundidade. O valor cultural da semente de braquiária (VC%) utilizada em todo experimento foi de 75 %.

Para o tratamento feijão-caupi foi utilizado o cultivar BRS Guariba, em espaçamento de 0,45 m, com população de 220 mil plantas por hectare. Foi realizado tratamento das sementes, com 250 g por 50 kg de sementes, do inoculante contendo bactérias

do gênero *Bradyrhizobium* sp. estirpe SEMIA 6462 (=BR 3267). O controle de pragas foi realizado utilizando-se inseticida a base de metomil na dose 0,6 L ha⁻¹ do produto comercial. A adubação foi realizada com base na análise química do solo, utilizando-se 200 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK com a fórmula 8-20-20 (ARAÚJO et al. 1984).

Quando as plantas de *B. ruzizensis* em cultivo solteiro atingiram 50 cm de altura foram introduzidos dois animais de aproximadamente 130 kg e mantidos por um período de 5 a 7 dias de pastejo, de acordo com a capacidade de suporte da pastagem. A carga animal correspondeu a uma lotação de 8 e 10 UA ha⁻¹.

No mês de setembro de 2012 foi realizada aplicação de 1 Mg ha⁻¹ de gesso em cobertura em toda área e sem incorporação seguindo critério para recomendação baseado no teor de argila do solo, em que solos argilosos necessitam de 0,8 a 1,2 Mg ha⁻¹ de gesso (PITTA et al., 2006). Dez dias antes da semeadura da soja foi realizada a dessecação das plantas remanescentes de braquiária, utilizando-se herbicida glyphosate na dose de 1,08 kg ha⁻¹ de equivalente ácido.

No dia 21 de outubro foi realizada a semeadura da soja utilizando-se a cultivar BRS 284, em espaçamento de 0,45 m com população de 300 mil plantas por hectare. As sementes foram tratadas com 200 ml por 50 kg de semente do inoculante líquido contendo $1,5 \times 10^{10}$ células ml⁻¹ de bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. A adubação foi realizada com base na análise química do solo, utilizando-se 200 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK com a fórmula 0-20-20 (TECNOLOGIAS, 2011).

O controle de lagartas foi realizado com aplicação de inseticida a base de diflubenzurom na dose de 45 g ha⁻¹ do produto comercial. Para o controle de percevejos foi utilizado inseticida a base de lambda-cialotrina + tiametoxam na dose de 150 ml ha⁻¹ do produto comercial. A colheita foi realizada em 15 de fevereiro de 2013.

5.6 Coleta das amostras de solo

As coletas foram realizadas após cinco anos de condução dos tratamentos de outono-inverno sucedidos da soja no verão. Todas as amostras foram coletadas entre os meses de dezembro de 2012 e janeiro de 2013, durante o período de floração da soja, nas camadas de 0,0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m, 0,20 - 0,30 m e 0,30 - 0,40 m. Foi aberta uma trincheira de 1,0 m x 1,0 m em cada parcela utilizando-se enxada e pá reta, tendo as amostras de solo sido retiradas com auxílio de espátula, faca e marreta. Todo

material coletado foi devidamente acondicionado em sacos plásticos, identificados e armazenados em câmara fria a 10° C.

5.6.1 Coleta para análise física

Nas paredes de cada trincheira e nas camadas de 0,0 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; 0,20 - 0,30 m e 0,30 - 0,40 m, foram retirados cuidadosamente blocos de solo indeformados nas dimensões de 0,10 m x 0,10 m x 0,10 m (LxPxA), totalizando 96 amostras.

Foram coletadas duas amostras indeformadas, em cada trincheira nas camadas de 0,0 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; 0,20 - 0,30 m e 0,30 - 0,40 m, com auxílio de cilindros de inox, com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. No total de 192 amostras, uma porção de 96 amostras foram destinadas à determinação da curva de retenção de água, e a outra porção, à determinação da porosidade do solo e resistência do solo à penetração. Os anéis foram envoltos por papel alumínio, plástico filme e acondicionados em caixas térmicas, objetivando-se preservar ao máximo a estrutura e umidade do solo.

5.6.2 Coleta para análise química

Retirou-se uma porção de aproximadamente 0,3 kg de solo em cada camada nas paredes da trincheira. As amostras foram encaminhadas para o laboratório de solos, tecidos vegetais e corretivos, da Embrapa Agropecuária Oeste, onde foram analisadas.

5.6.3 Coleta para análise de raiz

Foram retiradas uma amostra por trincheira nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. Para a coleta de raiz foi utilizado um anel de aço de 0,1 m de altura e 0,1 m de diâmetro. O anel foi introduzido no solo com auxílio de marreta, no sentido vertical e entre as plantas de soja, ou seja, ao longo da linha de semeadura da soja visando obter uma amostra representativa do sistema radicular das plantas.

A porção de solo com as raízes foi lavada em água corrente e as raízes obtidas, armazenadas em potes plásticos, com solução de álcool a 50 %, acondicionados em geladeira a 5° C até o momento da análise.

As amostras para análises físicas e de raízes da soja foram transportadas para o departamento de Recursos Naturais Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp campus de Botucatu, São Paulo, onde foram analisadas.

5.7 Avaliação da produtividade da soja

A determinação da produtividade de grãos de soja foi realizada no dia 18 de fevereiro de 2013 na Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. As plantas contidas em duas linhas de cinco metros dentro de cada parcela foram colhidas manualmente e depois submetidas à debulha manual. Após a debulha os grãos foram pesados, transformando-se a massa de grãos para kg ha^{-1} a 13% de umidade (base úmida).

5.8 Análises físicas do solo

5.8.1 Argila dispersa em água

A argila dispersa em água foi determinada pelo método da pipeta descrito por Gee; Bauder (1986).

5.8.2 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, segundo Embrapa (1997).

5.8.3 Análise granulométrica

Para a determinação da granulometria do solo utilizou-se o método da pipeta, segundo Embrapa (1997).

5.8.4 Curva de retenção de água no solo

Para a determinação da curva de retenção de água no solo foram utilizadas câmaras de pressão de Richards com placa porosa, para as tensões maiores

(-10, -30, -100; -500 e -1500 kPa) e a mesa de tensão para as menores tensões (-3,0 e -6,0 kPa), segundo Embrapa (1997). Os dados do conteúdo de água retido em cada tensão foram ajustados ao modelo de van Genuchten (1980). O software utilizado no ajuste do modelo de van Genuchten foi o SWRC 3.0 beta (Soil Water Retention Curve).

5.8.5 Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo (D_s) utilizou-se o método do anel volumétrico, segundo Embrapa (1997).

5.8.6 Distribuição de agregados por tamanho, diâmetro médio ponderado e geométrico

A distribuição dos agregados por tamanho foi obtida pelo método por via seca e úmida (EMBRAPA, 1997). O diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados retidos nas peneiras de 4,0 - 2,0 mm; 2,0 - 1,0 mm; 1,0 - 0,5 mm; 0,5 - 0,25 mm; 0,25 - 0,105 mm; 0,10 - 0,05 mm e < 0,05 mm (via seca) e de 4,0 - 2,0 mm; 2,0 - 1,0 mm; 1,0 - 0,5 mm; 0,5 - 0,25 mm; 0,25 - 0,105 mm; e < 0,105 mm (via úmida) foram calculados utilizando a expressão:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (m_i/m) D_i \quad \quad \quad DMG = \exp \left[\sum_{i=1}^n (m \times \ln D_i)/m \right]$$

em que:

n é o número de classes de agregados;

m_i é a massa da classe i ;

m é a massa total;

D_i é a média aritmética dos limites inferior e superior da classe.

5.8.7 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

A porosidade total, macro e microporosidade foram determinadas utilizando o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997).

5.8.8 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo a penetração foi obtida das amostras indeformadas coletadas com anel de aço inox de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Estas amostras foram as mesmas utilizadas para determinação da macroporosidade, ou seja, após serem submetidas a 6,0 kPa na mesa de tensão, descrito por Embrapa (1997).

A determinação foi realizada por meio do implemento Texture Analyzer da marca Brookfield em modo remoto, e os dados foram descarregados em tempo real através do software TexturePro CT V1.4.

A velocidade utilizada no teste foi de $0,20 \text{ mm s}^{-1}$, utilizando-se uma haste provida de uma ponta cônica de $0,0934 \text{ cm}^2$, a taxa de amostragem foi de 10 pontos s^{-1} . Após o teste foram utilizadas apenas as leituras obtidas entre 0,01 e 0,04 m da altura do anel de aço inox, ou seja, foram desconsiderados 0,01 m do extremo superior e 0,01 m do extremo inferior da porção de solo contida no anel de aço inox.

5.9 Análises químicas do solo

As análises químicas foram realizadas na Embrapa Agropecuária Oeste em Dourados, MS, segundo a metodologia descrita por Silva (1999). Foram determinados: acidez do solo (pH CaCl_2), hidrogênio + alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), matéria orgânica do solo (MOS), saturação por alumínio (m%), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P) e enxofre (S).

5.10 Análises de raízes de soja

As raízes foram analisadas obtendo-se imagem digitalizada por meio de scanner Epson Perfection V700 Photo Scanner de alta resolução (6400 x 9600 dpi) com

Dual Lens System. As imagens foram automaticamente processadas pelo software WinRhizo. Foram obtidos comprimento de raízes (CR), área superficial de raízes (ASR), volume de raízes (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR). Por último as raízes foram secas em estufa de circulação forçada a 70° C até atingir peso constante, após este período procedeu-se a pesagem para obtenção da massa de matéria seca de raízes (MMSR).

5.11 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Física do solo

6.1.1 Valores p e coeficientes de variação das variáveis de física do solo e raízes de soja

Tabela 5. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis argila dispersa em água (AD), densidade do solo (DS), diâmetro médio ponderado via úmida (DMP-VU), diâmetro médio geométrico via úmida (DMG-VU), diâmetro médio ponderado via seca (DMP-VS) e diâmetro médio geométrico via seca (DMG-VS).

F.V.	Variáveis					
	AD	DS	DMP-VU	DMG-VU	DMP-VS	DMG-VS
Trat. (A)	<0,001	0,0328	<0,001	<0,001	0,116	0,0669
Prof. (B)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A x B	0,0011	0,0011	<0,001	<0,001	0,5912	0,5315
CV(%)	22,66	5,86	14,15	20,87	7,14	12,57

Tabela 6. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis classes de tamanho de agregados obtidos pelo método de agitação via úmida (VU).

F.V.	Variáveis classes de tamanho de agregados (mm)					
	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	< 0,105
Trat. (A)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0222
Prof. (B)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0749
A x B	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0676
CV(%)	19,45	22,2	24,21	27,54	25,99	28,79

Tabela 7. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis classes de tamanho de agregados obtidos pelo método de agitação via seca (VS).

F.V.	Variáveis classes de tamanho de agregados (mm)						
	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	0,105-0,05	< 0,05
Trat. (A)	0,1413	0,233	0,093	0,0422	0,0162	0,0179	<0,001
Prof. (B)	0,002	0,0163	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A x B	0,6112	0,694	0,2192	0,666	0,8499	0,8553	0,5964
CV(%)	10,32	37,36	39,09	34,47	38,01	34,4	35,72

Tabela 8. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração e teor de água no solo (TAS) no momento da medição da resistência do solo a penetração.

F.V.	Variáveis				
	PT	Macroporosidade	Microporosidade	RP	TAS
Trat. (A)	0,3626	0,1425	0,0046	0,0686	<0,001
Prof. (B)	0,006	0,0143	<0,001	0,0029	<0,001
A x B	0,0037	0,0216	0,2263	0,2276	0,0982
CV(%)	5,11	24,91	5,77	39,36	10,56

Tabela 9. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis massa de matéria seca (MMSR), comprimento (CR), área superficial (ASR), volume (VR) e diâmetro médio (DMR) de raízes de soja.

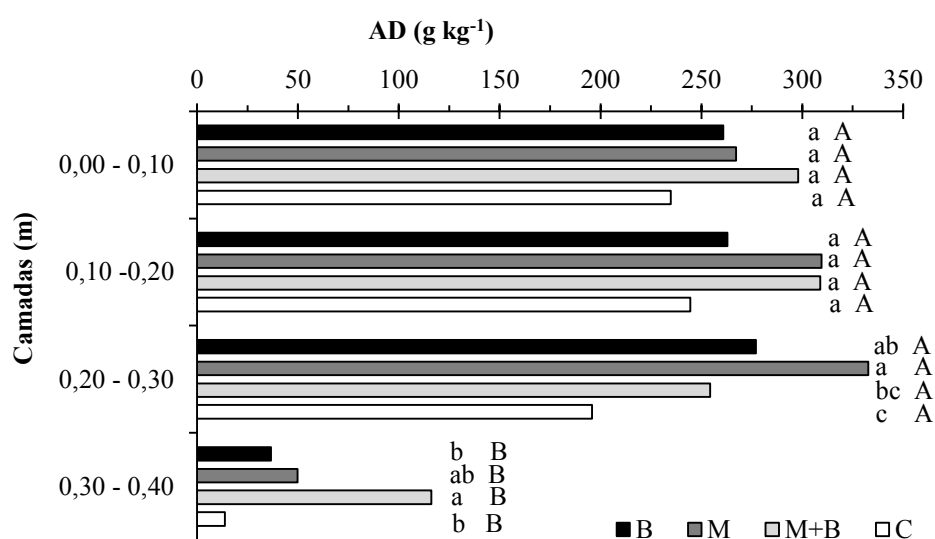
F.V.	Variáveis				
	MMSR	CR	ASR	VR	DMR
Trat. (A)	0,5858	0,2271	0,1754	0,1548	<0,001
Prof. (B)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1479
A x B	0,6892	0,3273	0,8616	0,9122	0,0011
CV(%)	111,99	68,41	73,67	82,97	21,87

6.1.2 Argila dispersa em água

Para argila dispersa em água houve significância da interação dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 5).

As maiores quantidades de argila dispersa em água foram encontradas nas três primeiras camadas com redução significativa na camada de 0,30 - 0,40 m para todos os cultivos estudados (Figura 8). Isso pode estar associado ao fato de o solo apresentar altos teores de alumínio nessa camada (Figura 47). Segundo Freitas (2011) a dispersibilidade dos solos está intimamente relacionada aos cátions presentes, o complexo de troca catiônica dos solos de regiões de clima tropical, úmida e subúmida, é geralmente

dominado por alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+), sendo esses íons favorecedores do fenômeno de floculação das partículas. Efeitos da matéria orgânica do solo na floculação da argila também devem ser levados em consideração (KRETZSCHMAR et al., 1993). Houve diminuição no teor de matéria orgânica com a maior profundidade do solo (Figura 45), provavelmente deixando de favorecer a união das partículas do solo pelas cargas liberadas durante o processo de mineralização.



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 8. Valores médios de argila dispersa em água (AD) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Pode-se observar que para valores de AD somente houve diferenças entre os cultivos, nas camadas abaixo de 0,20 m de profundidade (Figura 8). Na camada de 0,20 a 0,30 m as maiores quantidades de AD ocorreram sob o cultivo de M, seguido de B, M+B e C. Já para as camadas de 0,30 a 0,40 m a maior quantidade de AD foi observada em M+B, seguido de M, B e C, esses três últimos não diferiram entre si. Provavelmente, houve influencia do gesso na floculação das partículas de AD, pode-se observar que onde ocorrem os maiores teores de S sob o cultivo C (Figura 52), ocorrem também os menores valores de AD. É provável que o gesso tenha reduzido a dispersão das partículas de argila sob os cultivos que também apresentaram altos teores de enxofre, isso deve estar associado ao fato de Latossolos apresentarem grandes quantidades de óxidos de ferro e alumínio, e com

predomínio de carga variável, dependente de pH. As quantidades de enxofre podem ter influenciado o balanço de cargas no solo, promovendo distanciamento ou aproximação do PCZ do solo, influenciando, assim, na dispersão da argila. A diminuição nas quantidades de AD com a aplicação de gesso no solo também foi observada por Rosa Júnior et al. (2006) e Ruiz et al. (2006), porém os autores não abordaram as possíveis reações químicas que promovem este efeito.

6.1.3 Curva de retenção de água no solo

O cultivo de milho proporcionou os menores valores de conteúdo de água no solo na camada de 0,0 a 0,10 m nas tensões acima de -10 kPa (Figura 9), que pode ser resultado da maior quantidade de macroporos nessa camada para esse tratamento (Figura 29).

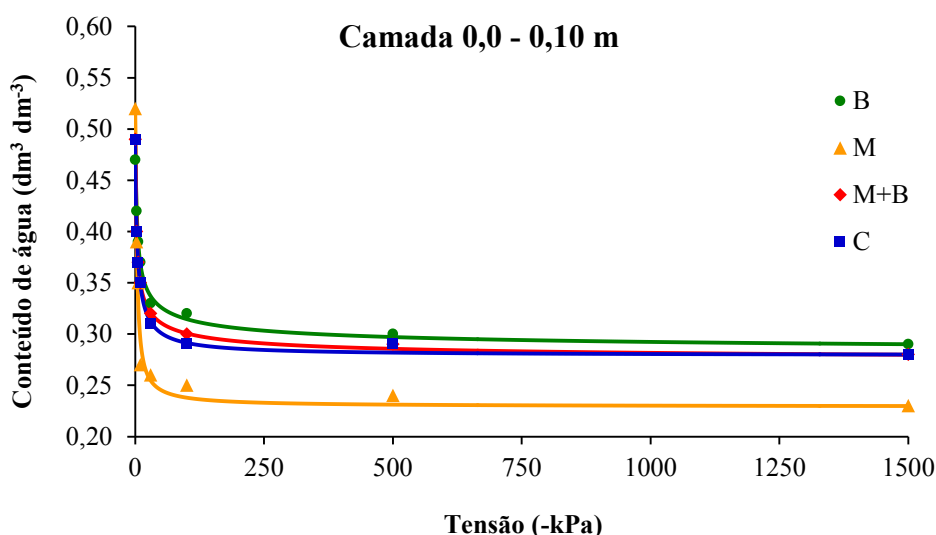


Figura 9. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 - 0,10 m.

A quantidade de água sob condição de solo saturado (0,0 kPa) em M foi a maior comparada à dos demais tratamentos, reforçando a hipótese de correlação direta do conteúdo de água no solo com a macroporosidade. A fração aquosa no solo está retida por forças matriciais (capilares e de adsorção), podendo então, com base nesse critério, ser separada em água gravitacional, livre, contida na macroporosidade do solo e água capilar, retida por força capilar, contida nos microporos (GLOAGUEN et al., 2009). A água contida nos macroporos é facilmente extraída pelas raízes, porém mais suscetível aos processos

físicos de evaporação, portanto, o aumento na retenção de água pelo solo não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de água às plantas (TOLLNER et al., 1984).

O tratamento braquiária foi o que apresentou o menor valor de conteúdo de água na tensão 0,0 kPa (saturado), para a camada de 0,0 a 0,10 m (Figura 9), provavelmente devido à diminuição de poros de retenção, efeito causado pelo pisoteio de animais nesta área, efeito que pode ser confirmado observando-se a Figura 13 onde se verifica que a maior capacidade de retenção de água ocorreu na primeira camada para as tensões acima de -6 kPa. Segundo Tormena et al. (1998) o conteúdo de água retido entre os potenciais de -6 e -500 kPa está mais relacionado com as alterações na estrutura do solo, decorrentes da ação antrópica, as quais interferem de imediato na fração dos poros de maior diâmetro. Em solos compactados é comum um grande volume de poros com diâmetros bastante reduzidos, que retêm a água com energia muito elevada, por isso menos disponível as plantas (KLEIN, 2008).

Na camada de 0,10 a 0,20 m os maiores valores de conteúdo de água sob todas as tensões foram encontrados sob o feijão caupi (Figura 10), provavelmente, devido à baixa concentração de macroporos nesta camada também (Figura 29), predominando poros de menor diâmetro garantindo assim maior retenção de água.

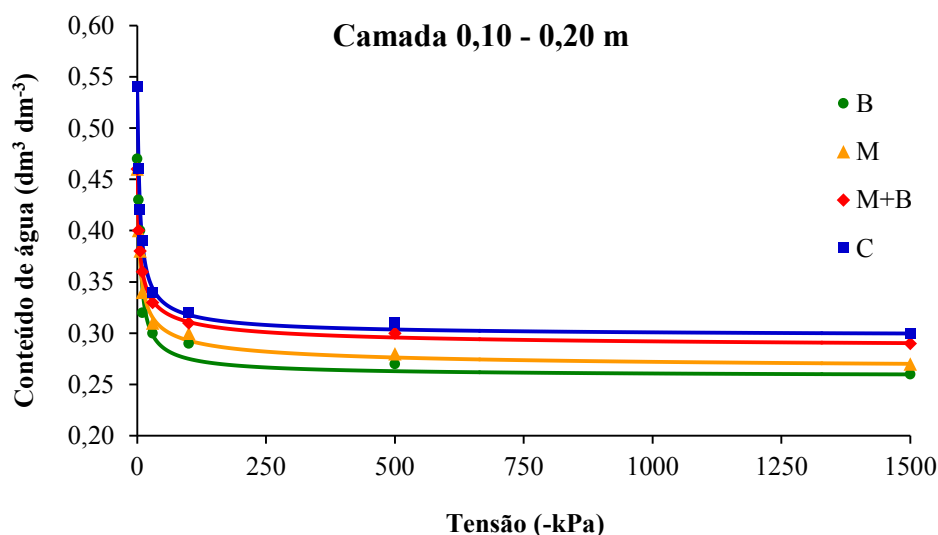


Figura 10. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,10 - 0,20 m.

A microporosidade está relacionada com o armazenamento de água no solo, influenciando o desenvolvimento das plantas, especialmente, nas épocas críticas de suprimento hídrico (VEIGA, 2005). Dalmago et al. (2009), estudando a retenção e disponibilidade de água as plantas, em solo sob sistema de semeadura direta e preparo convencional, observaram aumento da retenção de água no solo com a redução do diâmetro dos poros e ainda relatam que poros de maior tamanho têm menor força de atração deixando a água mais livre.

Outro ponto importante a se considerar é a baixa relação C:N do material vegetal da parte aérea e das raízes do feijão caupi (leguminosa), que comparado ao das gramíneas, passa por rápida decomposição, permanecendo menor tempo no solo, possivelmente, desfavorecendo as mudanças estruturais conferidas pelos benefícios diretos e indiretos da cobertura e das raízes, que vão desde a melhoria estrutural até influência sobre a fauna, que é decompositora e veículo de material vegetal em profundidade. De acordo com Silva et al. (1997), as leguminosas têm sua taxa de decomposição alterada pelas condições ambientais e, em geral, se decompõem mais rápido que as gramíneas. Já as gramíneas apresentam grande potencial de fornecimento de carbono ao solo, por apresentarem sistema radicular extenso, que é constantemente renovado (ROSSI et al., 2012).

Houve menor volume de raízes produzidas pelo feijão caupi comparado aos demais cultivos. O sistema radicular das plantas de feijão caupi ficou restrito a primeira camada do solo (0,0 a 0,10 m), esta informação que é uma constatação meramente visual no ato da coleta de solo, pode dar a ideia de que abaixo da camada de 0,10 m o solo pode estar sendo pouco modificado pela ação de raízes do feijão caupi, fazendo com que o solo expresse de forma mais efetiva suas características pedogenéticas. As raízes possuem a habilidade de unir, enredar estruturas e realinhar partículas do solo, promovendo mudanças, principalmente, no arranjo e rearranjo das estruturas do solo, aumentando a possibilidade de formação não só de estruturas maiores, mas também de bioporos no solo. De acordo com Othmer et al. (1991) os poros intra-agregados correspondem aos microporos, caracterizam-se por se esvaziarem mais lentamente, proporcionando uma condução de água pelo solo por maior tempo. Nos poros intra-agregados, existe uma faixa de diâmetro de poros (0,05 mm a 0,0002 mm) que é a responsável pela retenção e disponibilização de água para as plantas. Os poros de maior tamanho como os macroporos e mesoporos apresentam, como função básica, a aeração das raízes das plantas e a condução da água de drenagem do solo.

Nas tensões acima de -10 kPa, na camada de 0,10 a 0,20 m (Figura 10), observa-se que entre os tratamentos B, M e M+B este último apresentou em geral os maiores valores de conteúdo de água no solo. Entre estes três tratamentos a consorciação de milho com a braquiária (M+B) permite maior adição de material vegetal e, consequentemente, MOS através de raízes e em cobertura, uma vez que se trata de duas plantas instaladas na mesma área atuando no solo de diferentes formas e em diferentes profundidades. A matéria orgânica do solo relaciona-se, diretamente, com sua capacidade de retenção de água (MICHELON, 2010). O principal atributo físico do solo afetado pela matéria orgânica é a agregação das partículas, pelo fato de atuar como agente cimentante formando agregados bastante estáveis no solo (COSTA et al., 2006). Esta característica reflete, indiretamente, na densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água no solo (BAYER et al., 2008).

Na camada de 0,20 a 0,30 m (Figura 11) entre a condição de solo saturado (0,0 kPa) até a tensão de -6 kPa o maior conteúdo de água foi observado sob o cultivo C. Em tensões maiores que -6 kPa não houve grandes diferenças entre os tratamentos no conteúdo de água no solo.

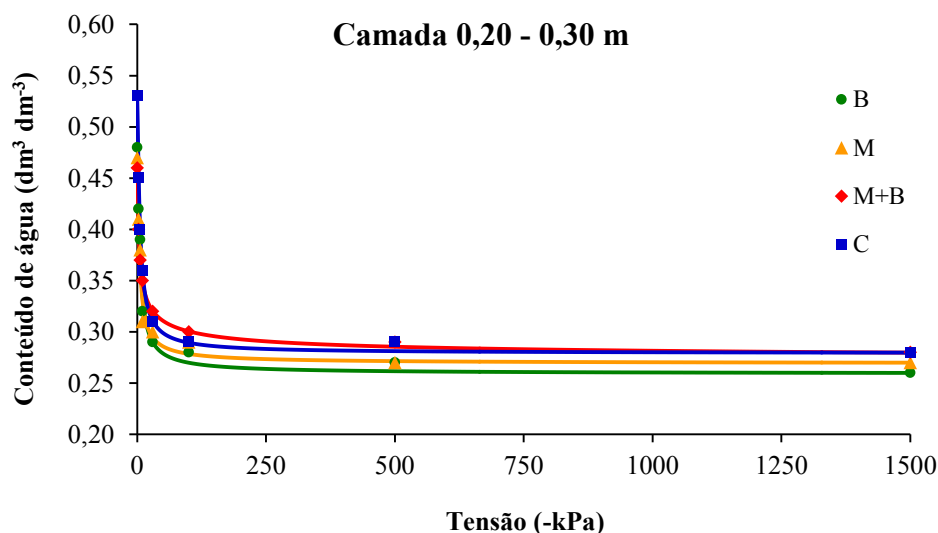


Figura 11. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,20 - 0,30 m.

Na camada 0,30 a 0,40 m (Figura 12) em tensões maiores que -30 kPa o maior conteúdo de água foi observado sob o cultivo M seguido dos demais cultivos que não mostraram grandes diferenças entre si.

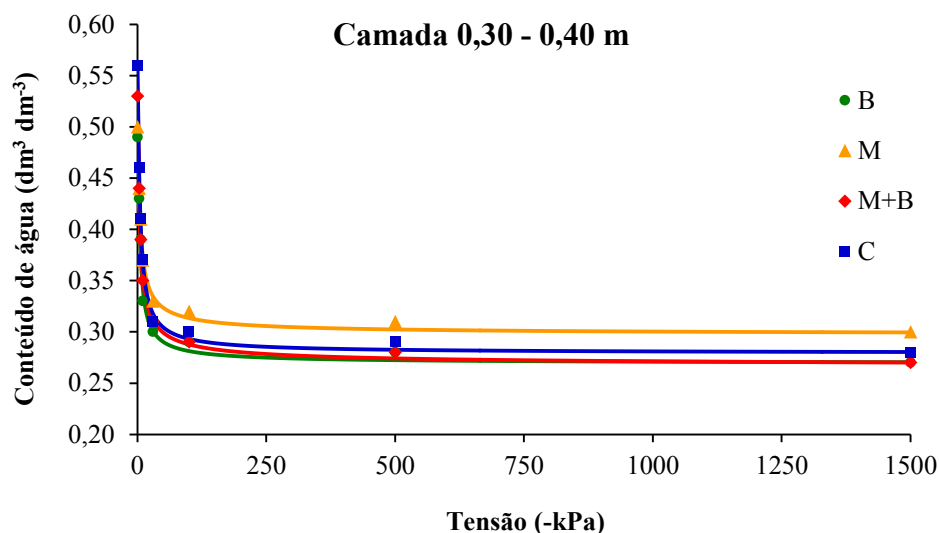


Figura 12. Curvas de retenção de água no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,30 - 0,40 m.

Observando-se as quatro camadas avaliadas (Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12), o tratamento B apresentou menor conteúdo de água, em relação aos demais tratamentos, retido sob tensões maiores que -100 kPa nas camadas abaixo de 0,10 m. Este resultado evidencia o potencial que os animais possuem em alterar a porosidade de retenção de água principalmente em camadas superficiais através da ação do pisoteio.

Na Figura 13 estão apresentados os valores de conteúdo de água no solo para o tratamento B nas quatro camadas avaliadas.

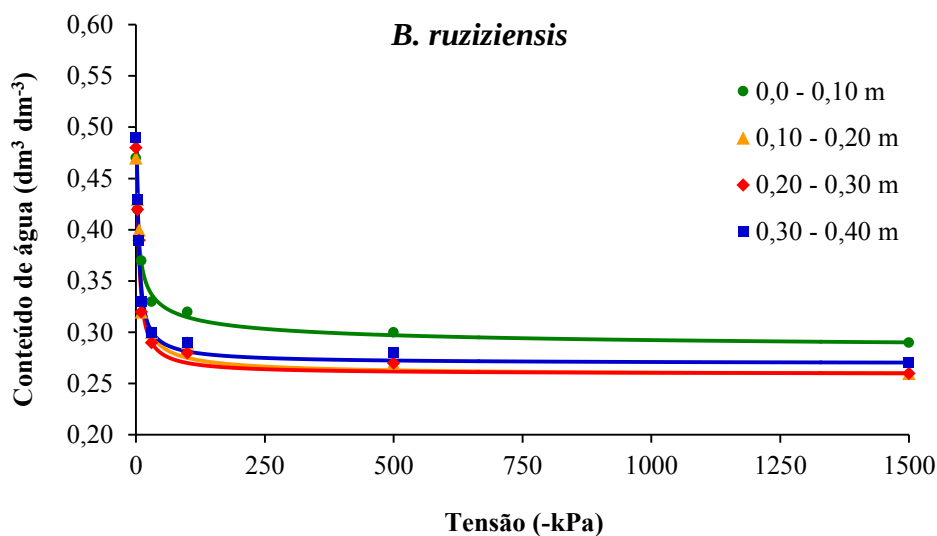


Figura 13. Curvas de retenção de água no solo do tratamento *B. ruzizensis* (B) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Em tensões acima de -100 kPa, os maiores conteúdos de água foram encontrados na camada de 0,0 a 0,10 m onde, também, foram observadas a maior densidade (Figura 17) e menor macroporosidade (Figura 29) do solo, permitindo reforçar a hipótese de que pode estar havendo alteração no arranjo estrutural do solo, refletindo em redução no tamanho dos poros nessa camada, contribuindo para maior retenção água. Lanzasova et al. (2007), avaliando atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, constataram que a compactação do solo avaliada pela densidade, concentrou-se na camada de 0,0 - 0,05 m, porém houve redução de sua macroporosidade até a camada de 0,10 - 0,15 m, no sistema com maior frequência de pastejo. Comportamento semelhante foi observado por Carneiro et al. (2009) com reduções de macroporosidade e aumento da densidade do solo sob o sistema de integração lavoura pecuária em Latossolo Vermelho distrófico.

No cultivo de milho pode-se observar que, a partir de -30 kPa, a menor e maior retenção de água ocorreram respectivamente na primeira (0,0 - 0,10 m) e última (0,30 - 0,40 m) camada (Figura 14).

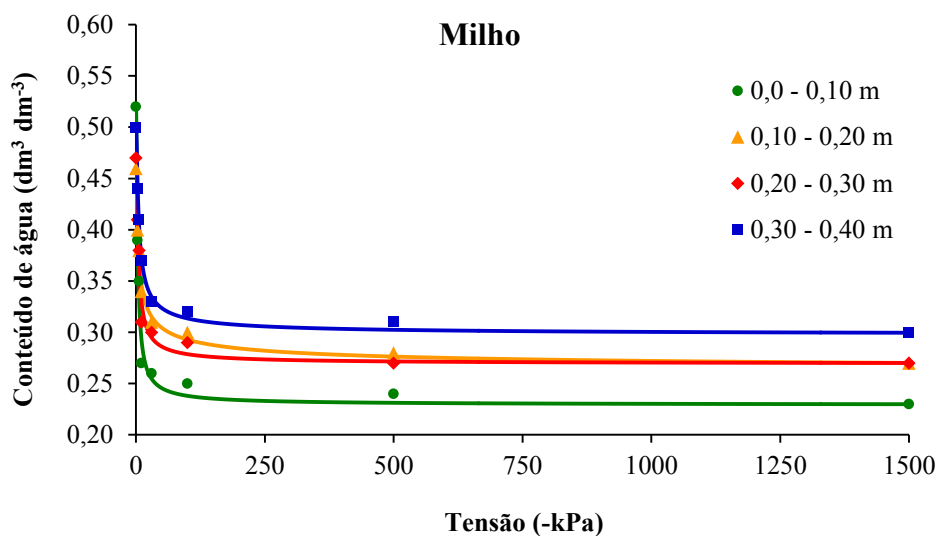


Figura 14. Curvas de retenção de água no solo do tratamento milho (M) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Este comportamento provavelmente é decorrente da maior quantidade de poros de menor tamanho presentes em camadas mais profundas e que são mais eficientes em reter água no solo (DALMAGO et al., 2009).

A menor quantidade de raízes presentes nesse cultivo, em relação a B e M+B, principalmente nas camadas abaixo de 0,10 m, pode estar sendo a causa para a maior retenção de água em camadas mais profundas. Como abordado anteriormente, a relação entre raízes e as características pedogenéticas do Latossolo, como fator causa de modificações no perfil do solo, pode estar se enquadrando para o cultivo de M também. É importante enfatizar que as características pedogenéticas podem ficar mais nítidas mediante a menor quantidade de raízes em camadas mais profundas, portanto, este comportamento se enquadra para os tratamentos M e C, provavelmente pelo fato de as raízes desses cultivos atuarem em faixas semelhantes de profundidade.

No cultivo de milho consorciado com *B. ruziziensis* em tensões acima de -6 kPa (Figura 15), pode-se perceber que não houve grandes diferenças no conteúdo de água entre as camadas, ou seja, ocorreu um padrão mais uniforme na retenção de água no solo, provavelmente pelos efeitos minimizadores que a cobertura do solo oferece para as mudanças estruturais causadas por forças atuantes sobre o solo. Além disso, há possibilidade de uma maior quantidade de material vegetal ser introduzido em profundidade pelas raízes do milho associadas aos da braquiária promovendo mudanças mais uniformes no perfil do solo.

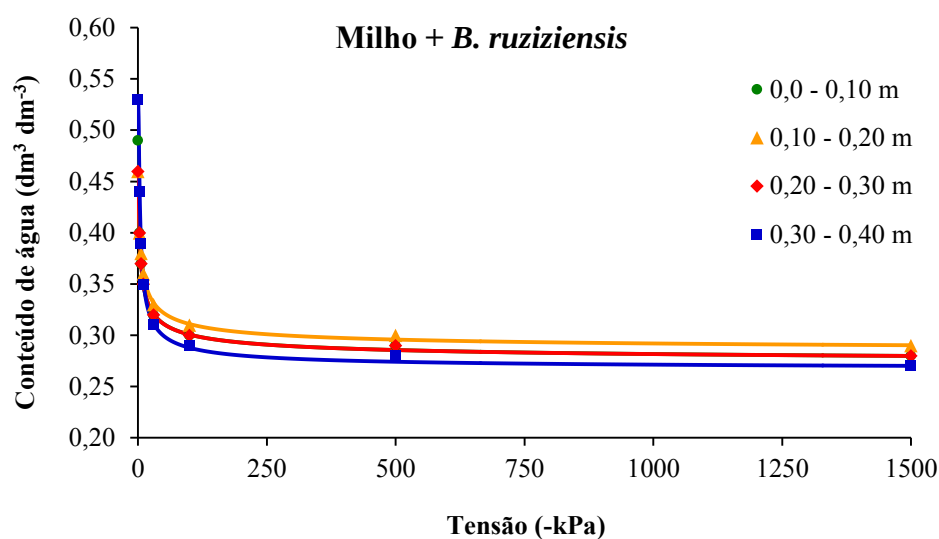


Figura 15. Curvas de retenção de água no solo do tratamento milho + *B. ruziziensis* (M+B) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Crusciol; Borghi (2007) que observaram melhorias nas características físicas e químicas do solo na consorciação de milho com *B. brizantha*, atribuíram esse comportamento ao grande aporte de palhada somado ao grande volume de raízes em profundidade proporcionado, principalmente, pelas braquiárias.

No tratamento feijão caupi observando a camada de 0,0 a 0,10 m, houve menor retenção de água no solo apenas entre as tensões de 0 a -3 kPa (Figura 16), efeito provavelmente influenciado pela maior concentração de raízes nessa camada e pela maior concentração de macroporos (Figura 29).

Em maiores tensões (> -30 kPa) não houve diferença no conteúdo de água entre a primeira, terceira e quarta camada do solo (Figura 16). O maior conteúdo de água foi observado na camada de 0,10 a 0,20 m em tensões maiores que -30 kPa, provavelmente, por haver aumento na concentração de poros menores, uma vez que a PT (Figura 28) não mostrou grandes variações no perfil, enquanto que houve redução na macroporosidade (Figura 29) principalmente nessa camada do solo (0,10 - 0,20 m) para o tratamento feijão caupi.

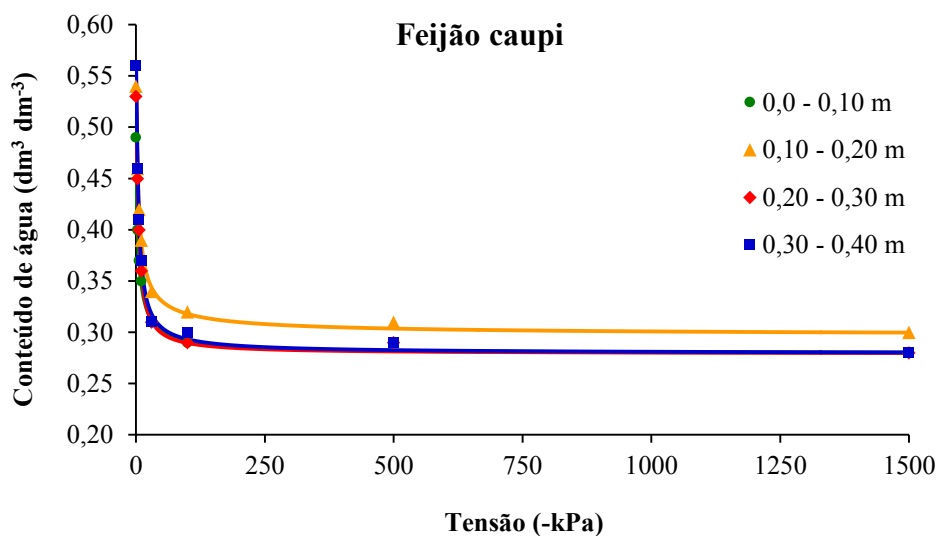


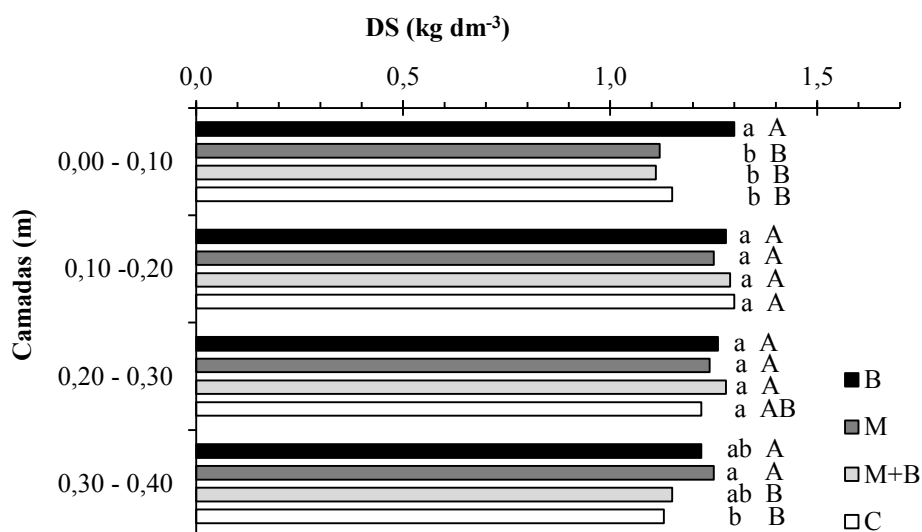
Figura 16. Curvas de retenção de água no solo do tratamento feijão caupi (C) para as camadas 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

É importante considerar que a capacidade ideal de armazenamento de água, entre as tensões, situa-se no intervalo de 0,15 e 0,20 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002). Em todos os cultivos e camadas do solo o conteúdo de água no solo foi sempre superior a 0,20 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$, indicando que os manejos estão proporcionando boas condições para o armazenamento de água no solo.

6.1.4 Densidade do solo

Para densidade do solo (DS) houve interação significativa dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 5). Na Figura 17 estão apresentados os valores médios de DS para a interação dos tratamentos e camadas do solo.

A DS variou de 1,11 a 1,30 kg dm^{-3} em todos os tratamentos e camadas do solo. De acordo com Reichert et al. (2003) o valor de DS ideal para um bom desenvolvimento das culturas varia entre 1,4 e 1,6 kg dm^{-3} em solos argilosos. Segundo Carter (1998) e Drewry et al. (2001) estes valores são ideais entre 1,25 e 1,30 kg dm^{-3} , e a máxima produtividade pode ser alcançada com valores de DS entre 0,9 e 1,2 kg dm^{-3} (REYNOLDS et al., 2007; TORMENA et al., 2008; DREWRY et al., 2008). Fidalski et al. (2013) observaram que a densidade do solo crítica em sistema de integração lavoura pecuária foi de 1,66; 1,64 e 1,62 kg dm^{-3} , respectivamente, para as camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 17. Valores médios de densidade do solo (DS) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Na camada de 0,0 a 0,10 m o tratamento B foi o que proporcionou a maior adensamento do solo, provavelmente, devido à presença sistemática dos animais nesse tratamento, retirados da área apenas para o período de descanso da forrageira e para o cultivo da soja no verão. Mello (2001) afirma que, em áreas pastejadas no sistema de integração agricultura - pecuária, a densidade do solo aumenta na camada superficial, porém, não ultrapassa dez centímetros de profundidade e é facilmente rompida com o uso de sulcadores de haste por ocasião da semeadura das culturas produtoras de grão. Marchão et al. (2007), estudando a qualidade física de Latossolo em sistema de integração lavoura-pecuária no Cerrado, constataram maiores densidades de solo na camada de 0,0 a 0,10 m em área de braquiária associada com soja sob plantio direto, demonstrando que o efeito da compactação foi promovido pelo pisoteio dos animais na camada superficial do solo.

Fidalsk et al. (2013) avaliando o intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico após pastejo contínuo em sistema de integração lavoura pecuária com *B. ruziziensis* no inverno e cultivo de soja no verão, encontraram valores de 1,61 kg dm⁻³ na camada de 0,0 - 0,10 m e de 1,68 kg dm⁻³ nas camadas de 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.

Na camada de 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30 não houve diferença nos valores de DS entre os tratamentos. Na camada de 0,30 a 0,40 m a DS no tratamento M foi maior do que em C (Figura 20), efeito decorrente da menor macroporosidade no tratamento M nessa camada (Figura 29).

Para o tratamento B não houve diferença na densidade do solo entre as camadas. Para os tratamentos M, M+B e C pode-se observar menor adensamento do solo na camada de 0,0 a 0,10 m (Figura 17). Este padrão já era esperado, uma vez que nesses cultivos não houve pastejo.

6.1.5 Distribuição de agregados por tamanho e diâmetro médio ponderado e geométrico

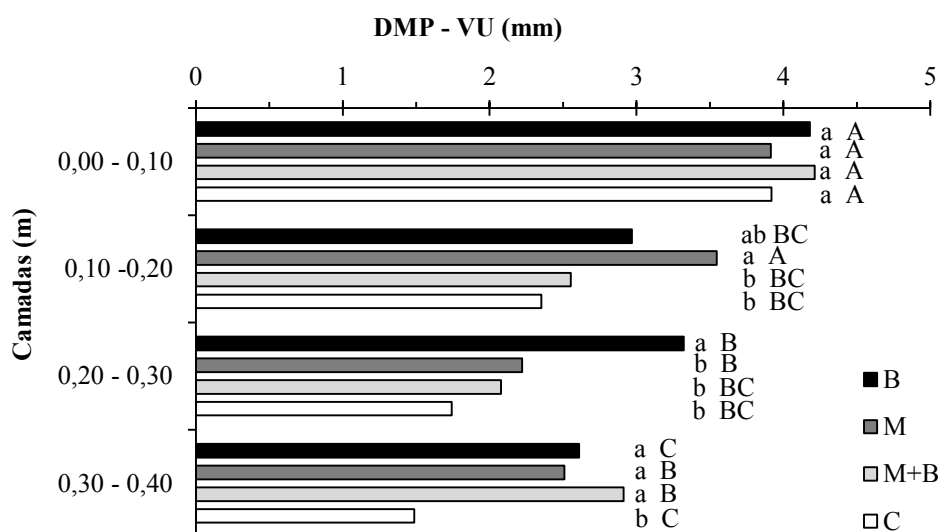
6.1.5.1 Método de agitação via úmida

Para DMP-VU E DMG-VU do solo houve interação significativa dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 5).

Na Figura 18 observa-se que na camada de 0,0 a 0,10 m não houve diferença no DMP-VU entre os tratamentos, mesmo que não haja diferença significativa, ocorreram menor DMP-VU nos tratamentos M e C, que pode estar associado aos menores teores de MOS para esses dois cultivos (Figura 45).

O aumento no DMP e DMG também foi observado para Castro Filho et al. (1998) na camada de 0,0 a 0,10 m, avaliando as sucessões de culturas em SSD e PC. Os autores atribuíram este aumento ao maior aporte de matéria orgânica no solo. A mesma relação entre MOS e maior agregação do solo foi observada por Calonego; Rosolem (2008) e Salton et al. (2008).

Salton et al. (2008) relataram que o maior aporte de carbono, via raiz, especialmente, é fundamental para existência de macroagregados, o que é evidenciado pelos sistemas como pastagem permanente, que apresentam DMP significativamente maior que os sistemas com pastagem em rotação com soja, e estes, maior em relação ao sistema apenas com lavouras. Conte et al. (2011) estudando atributos físicos após sete anos de pastejo em sistema de integração lavoura pecuária, com pastejo no inverno e cultivo de soja no verão em um Latossolo Vermelho, concluíram que o DMP dos agregados estáveis em água é maior nas áreas sob pastejo, e a agregação do solo aumenta nas áreas pastejadas.



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 18. Valores médios de diâmetro médio ponderado pelo método de agitação via úmida (DMP-VU) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Garcia; Rosolem (2010), avaliando o efeito de cultivos na agregação do solo em SSD, observaram que a *B. ruziziensis* de outono-inverno e as coberturas de primavera “Cober Crop” (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) e milheto proporcionaram aumento nos valores de DMP, DMG e agregados maiores que 2,0 mm até a camada de 0,10 m.

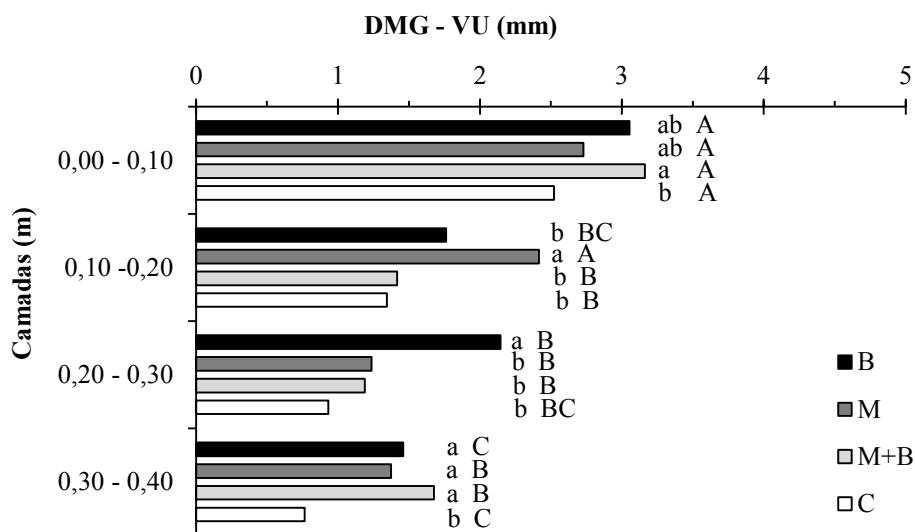
Na camada de 0,10 a 0,20 m o tratamento M promoveu a formação de agregados de tamanhos semelhantes aos encontrados na primeira camada ao passo que para os cultivos B, M+B e C houve redução no DMP-VU. Esse comportamento é contrário aos apresentados por Salton et al. (2008) e Calonego; Rosolem (2008) que afirmam que os sistemas que envolvem utilização de braquiária promovem maiores valores de DMP-VU. Segundo esses autores a introdução dessa forrageira favorece a agregação do solo, por haver maior quantidade de raízes e melhor distribuição das mesmas. Contudo, não é o que ocorre na camada de 0,10 a 0,20 m, no entanto, há necessidade de estudos mais específicos para encontrar os possíveis fatores de maior agregação sob o cultivo de milho solteiro nessa camada em relação ao consorciado com a braquiária.

Na camada de 0,20 a 0,30 m o maior DMP-VU foi observado sob B, seguido de M, M+B e C, estes três últimos não diferiram entre si, apresentando os menores valores de DMP-VU. Os maiores valores de DMP-VU em B nessa camada podem estar relacionados à maior quantidade de raízes conferida por esse cultivo, tendo em vista que a forrageira teve por maior tempo condições ideais para crescer e aprofundar suas raízes, comparadas as condições da consorciação, promovendo assim maior agregação do solo, uma vez que a forrageira semeada entre as linhas do milho possui condições mais restritas ao crescimento pela menor disponibilidade de luz.

Segundo Sereia et al. (2012) no consórcio de milho com braquiária, a partir do momento em que o milho entra em estágio de maturação fisiológica, há retomada da emissão de novos perfilhos pelas braquiárias, devido ao estímulo luminoso que chega até as plantas forrageiras. As forrageiras possuem mecanismos de adaptação ao meio em que vivem, alguns desses mecanismos são a redução do alongamento de entre nó e produção de raízes. De acordo com Lupinacci (2002) devido à plasticidade fenotípica da forrageira, que permite a manutenção das reservas da planta para mecanismos que possam garantir sua sobrevivência, podem ocorrer alterações no comportamento de crescimento da planta em função das diferentes intensidades luminosas (SOUTO; ARONOVICH, 1992). O efeito das pastagens na agregação do solo é atribuído ao crescimento e à atividade do sistema radicular das gramíneas (TISDALL; OADES, 1982; GIJSMAN, 1996; SILVA; MIELNICZUK, 1997; SILVA et al., 1998; LIU et al., 2005).

Na camada de 0,30 a 0,40 m os tratamentos B, M, e M+B não apresentaram diferenças entre si para DMP-VU, contudo, o tratamento C foi o que proporcionou agregados de menor tamanho nessa camada do solo (Figura 18), provavelmente, pela menor quantidade e eficiência das raízes dessa leguminosa em aprofundar-se no solo e promover agregação em relação às gramíneas (MIELNICZUK, 1999).

Na Figura 19 é apresentado o desdobramento da interação tratamento e camada do solo para os valores de DMG-VU.



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 19. Valores médios de diâmetro médio geométrico pelo método de agitação via úmida (DMG-VU) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Houve diferença no DMG-VU entre os tratamentos em cada camada, porém, as variações seguiram a mesma tendência do DMP-VU (Figura 18). Na camada de 0,0 a 0,10 m, nos tratamentos M+B, B, M, foram encontrados os maiores valores de DMG-VU tendo o menor valor ocorrido em C. Este comportamento segue o conceito de que as gramíneas possuem maior habilidade em promover a agregação, resultando em agregados de maior diâmetro como proposto por Mielniczuk (1999) e Castro Filho et al. (1998)

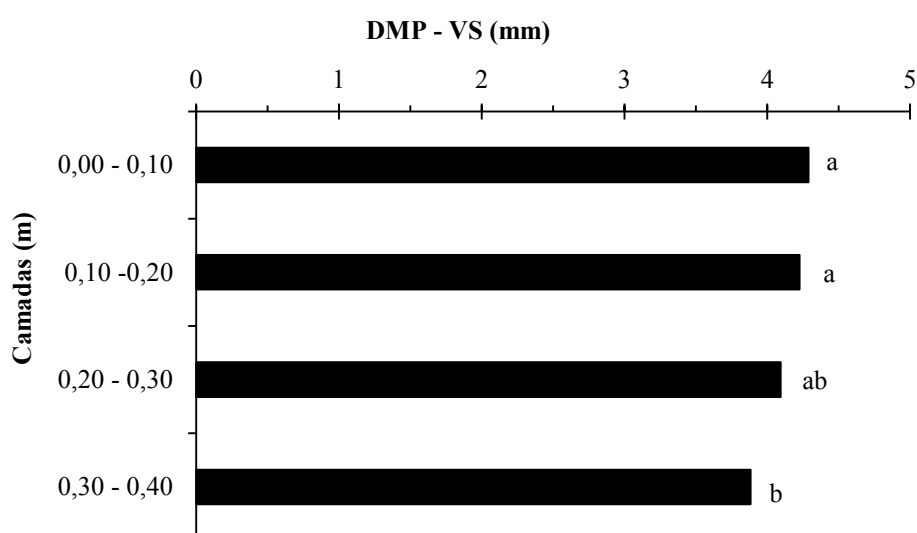
Na camada de 0,10 a 0,20 m o tratamento M, resultou no maior DMG-VU (Figura 19). Logo abaixo, na camada de 0,20 a 0,30 m, os maiores valores de DMG-VU ocorreram sob o tratamento B enquanto que os menores em M, M+B e C. Na camada de 0,30 a 0,40 m o cultivo de feijão caupi proporcionou os menores valores de DMG-VU. Castro Filho et al. (1998) constataram que a agregação do solo avaliada pelo DMG, foi maior quando a sucessão de culturas incluiu espécie de relação C:N mais alta (milho).

Observando-se a variação do DMG-VU entre as camadas dentro de cada tratamento (Figura 22), percebe-se que os tratamentos B, M e C apresentaram comportamento semelhante aos encontrados para o DMP-VU (Figura 21), provavelmente, pelos mesmos efeitos apontados na discussão a respeito do DMP-VU.

6.1.5.2 Método de agitação via seca

Para DMP-VS E DMG-VS do solo houve efeito significativo apenas do fator camada do solo (Tabela 5).

Na Figura 20 nota-se que nas três primeiras camadas do solo foram encontrados os maiores valores de DMP-VS e houve redução no diâmetro apenas na camada de 0,30 a 0,40 m. Esta redução é esperada uma vez que a influência do sistema radicular diminui em maiores camadas.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

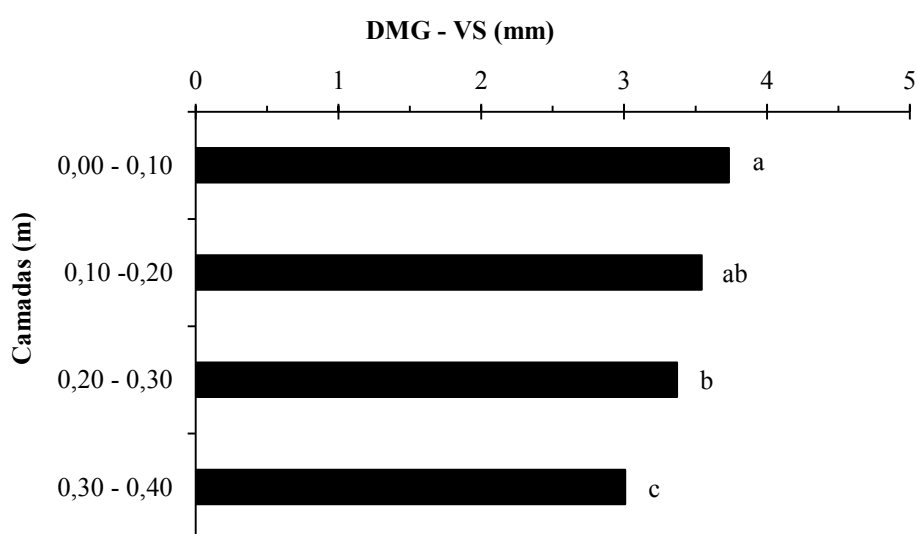
Figura 20. Valores médios de diâmetro médio ponderado pelo método de agitação via seca (DMP-VS) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B).

Na Figura 21, o DMG-VS apresentou padrão parecido, comparando-se com o DMP-VS (Figura 23), ou seja, o DMG-VS também diminui com a maior profundidade do perfil do solo.

O fato de não haver efeito significativo entre os fatores tratamento e camada, pode estar ligado às características pedogenéticas do Latossolo, que nesse caso expressa fortemente suas características estruturais sem permitir que os cultivos promovam

diferentes alterações nas estruturas do solo ao longo do perfil. Portanto, as estruturas do solo estão com a mesma resistência à desagregação sob todos os cultivos.

Sistemas de manejo que proporcionam agregados mais resistentes são desejáveis, pois manterão a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas (SALTON et al., 2008). Pode-se notar, também, que não houve influência dos tratamentos em outros parâmetros avaliados, como DMP-VS e DMG-VS (Tabela 7), e RP e microporosidade do solo (Tabela 8), mesmo com as atividades antrópicas sobre essa área desde 2008.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 21. Valores médios de diâmetro médio geométrico pelo método de agitação via seca (DMG-VS) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

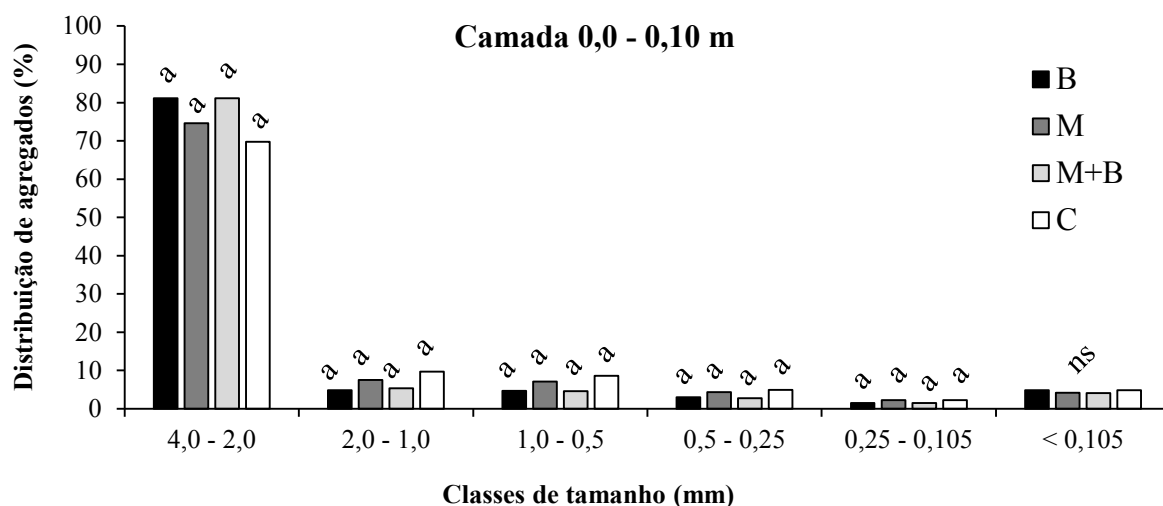
6.1.6 Distribuição de agregados por classe de tamanho

6.1.6.1 Método de agitação via úmida

Para as classes de tamanho dos agregados obtidos pelo método de agitação via úmida houve interação significativa dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 6).

Não houve diferença entre os tratamentos para a percentagem de agregados em cada classe de tamanho na camada de 0,0 a 0,10 m (Figura 22). Houve predomínio de agregados de 4,0 a 2,0 mm para todos os tratamentos, provavelmente, devido

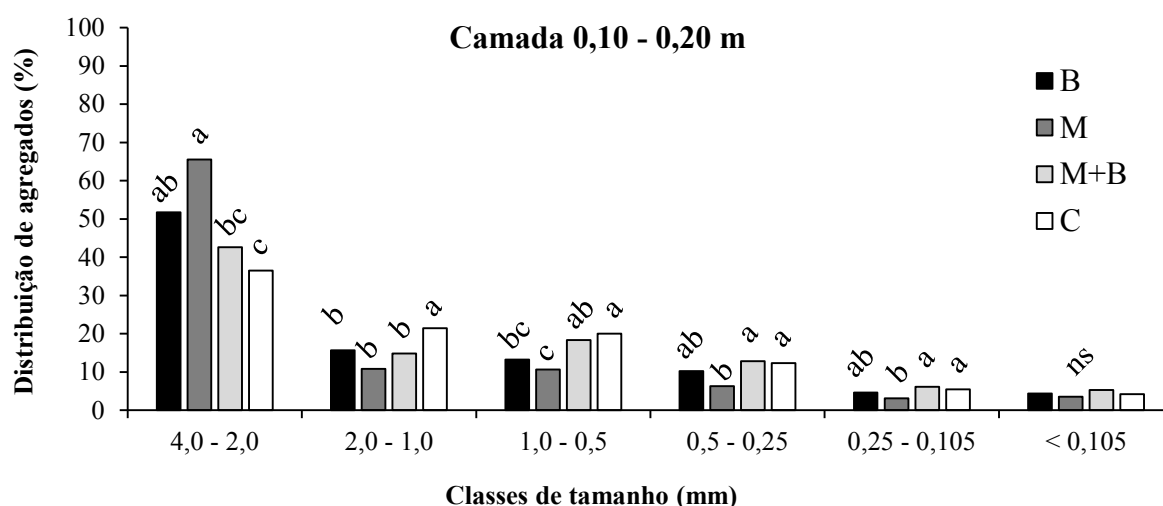
a maior concentração de raízes nessa camada e consequente atividade biológica também. Para Tisdall; Oades (1982), a concentração de agregados estáveis em água, de tamanho superior a 2,00 mm, consiste de agregados e partículas mantidos juntos, principalmente, pela rede fina de raízes e hifas, além da ação mecânica das raízes, que aproxima as partículas unitárias do solo de produtos da excreção da fauna, com reconhecido poder cimentante.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada classe de tamanho não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 22. Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 – 0,10 m.

Observando-se a Figura 23, na camada de 0,10 a 0,20 m, verifica-se que a maior percentagem de agregados maiores do que 2,0 mm ocorre em M (65%) e B (51%). Os tratamentos M+B e C foram os que proporcionaram as menores percentagens de agregados maiores que 2,0 mm com 42% e 36%, respectivamente.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada classe de tamanho não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

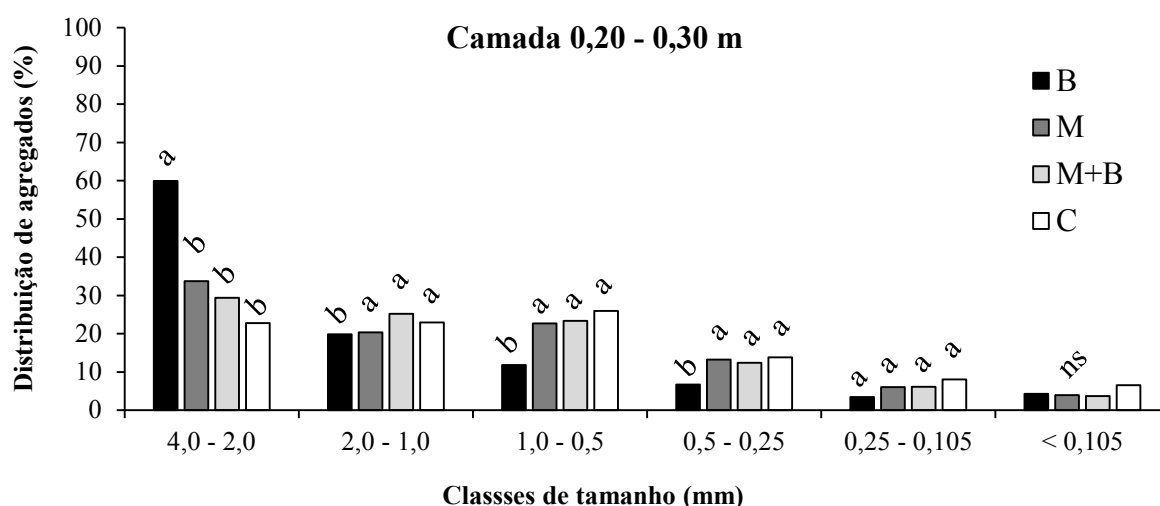
Figura 23. Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,10 – 0,20 m.

A maior proporção de agregados maiores que 2,0 mm em M, assim como o maior DMP-VU (Figura 18) para a camada de 0,10 a 0,20 m, não era esperado, tendo em vista que os sistemas de M+B assim como B proporcionam maiores quantidades de raízes. Esse resultado pode estar relacionado à região em que as raízes mais finas de cada cultivo estão localizadas no perfil do solo. A maior atividade, relacionada à absorção de nutrientes bem como a liberação de exsudatos, se dá principalmente nas regiões apicais do sistema radicular, onde há maior concentração de raízes mais finas. A região de maturação da raiz apresenta células num estágio final de diferenciação, situando-se a cerca de 10 - 50 mm da ponta da raiz. É característica a presença de numerosos e diminutos pelos radiculares, responsáveis pelo aumento da área de absorção de água e sais minerais (WILLADINO et al., 2005). Devido às intensas atividades presentes nessa região do sistema radicular, é possível que estas estejam promovendo melhor agregação do solo na camada de 0,10 a 0,20 m, onde provavelmente se concentram os limites do sistema radicular do milho, enquanto que para as forrageiras esse limite deve estar situado em maiores profundidades. Pode-se perceber que os cultivos envolvendo uso de braquiária consorciado ou não com o milho apresentam as maiores percentagens da massa de solo organizada em agregados maiores que 2,0 mm (tratamentos B (Figura 24) e M+B (Figura 25)).

Segundo Silva; Mielniczuk (1997) e Salton et al. (2008) a maior densidade de raízes de gramíneas das pastagens favorece o uso como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas, por apresentarem além da maior densidade de raízes melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecendo as ligações dos pontos de contato entre partículas e agregados, contribuindo para a formação e estabilidade dos agregados. Castro Filho et al. (1998) observaram que, com a rotação milho/trigo/milho, a estabilidade do solo na camada de 0,0 a 0,10 m foi 20% superior comparada com a rotação soja/trigo/soja e comportamento semelhante ocorreu na camada de 10-20 cm, cujos índices de agregação também foram superiores quando o milho estava presente, porém os autores não discutem os fatores que levam a esse resultado.

A menor porcentagem de agregados maiores que 2,0 mm no tratamento C (Figura 23), pode estar associada à baixa quantidade de raízes nessa camada do solo comparado aos outros cultivos, considerando-se que se trata de uma leguminosa, e que o período é escasso em chuva (outono-inverno), portanto, são maiores as chances de restrição no crescimento das raízes abaixo de 0,10 m de profundidade dando origem a estruturas de menor tamanho. Mielniczuk (1999) e Castro Filho et al. (1998) constataram que a maior densidade de raízes de gramíneas em relação às leguminosas e a distribuição mais uniforme do sistema radicular das gramíneas favorecem a estruturação do solo. Garcia; Rosolem (2010) observaram maior proporção de agregados maiores que 2,0 mm sob o cultivo de gramíneas, como o milheto e “Cober Crop” (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), em relação à leguminosa crotalária (*Crotalaria juncea* L.), e atribuíram esses resultados a maior produção de massa de matéria da parte aérea e crescimento radicular das gramíneas de cobertura em relação à leguminosa.

Na camada de 0,20 a 0,30 m a maior porcentagem de agregados entre 4,0 e 2,0 mm ocorreu sob B (60%), enquanto que os demais cultivos proporcionaram menores quantidades com de agregados maiores que 2,0 mm, com 34% (M), 29% (M+B) e 23% (C), sendo que esses três tratamentos não diferiram entre si (Figura 24).



Barra seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada classe de tamanho não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

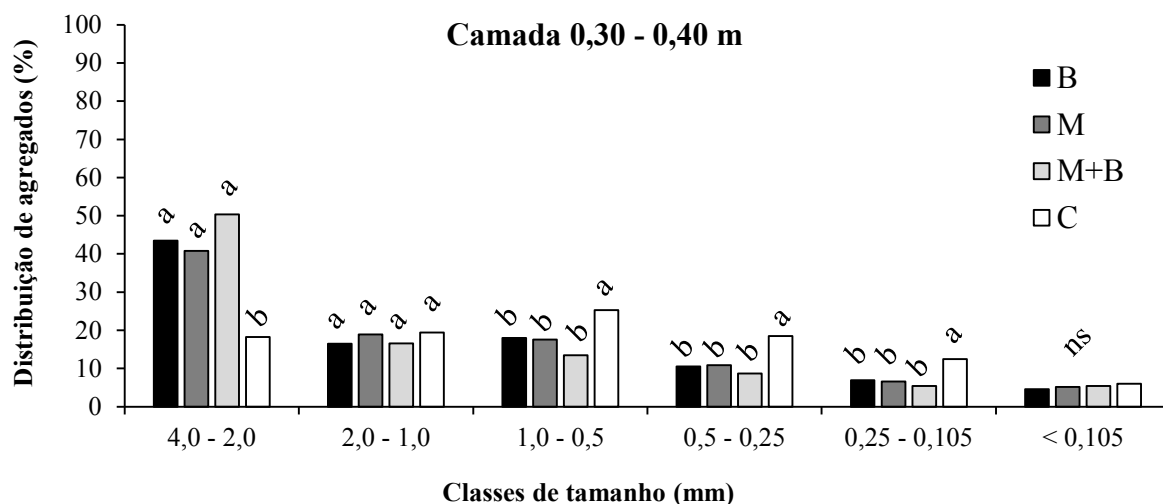
Figura 24. Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,20 – 0,30 m.

Salton et al. (2008), avaliando a agregação e estabilidade de agregados em sistemas agropecuários na cidade de Dourados, MS, encontraram valores superiores a 55% da massa de solo organizada nessa classe de agregados (4,0 a 2,0 mm) para os sistemas com pastagem permanente (*B. decumbens*) e sistema integrado de lavoura com pecuária (2 anos soja/2 anos pastagem). Enquanto que para os sistemas de lavoura em SSD (nabo/milho/aveia/soja/trigo) e PC (soja/milho safrinha) e o tratamento controle de vegetação nativa, houve redução nas porcentagens de agregados dessa classe de tamanho, com 23,4%, 23,2% e 24,7%, respectivamente. Esses autores explicam que a maior presença de agregados maiores que 2,0 mm no sistema de pastejo é resultante da ação do sistema radicular da pastagem reunindo agregados menores para formar agregados de maior tamanho (>2,0 mm). A atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis (PINHEIRO et al. 2004).

Para os tratamentos de M, M+B e C observa-se que a distribuição de agregados foi mais uniforme entre as classes de tamanho (Figura 24), provavelmente, pelo fato de que nesses cultivos não houve pastejo. De acordo com Haynes; Beare (1996) a ação mecânica decorrente do crescimento e funcionamento das raízes e a presença de microrganismos e da fauna do solo que são estimulados com a presença de pastagens

proporciona o agrupamento dos microagregados, resultando na formação de macroagregados.

Na camada de 0,0 a 0,40 observa-se que para os cultivos de B, M e M+B não houve diferenças na distribuição de agregados em cada classe de tamanho (Figura 25).



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada classe de tamanho não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

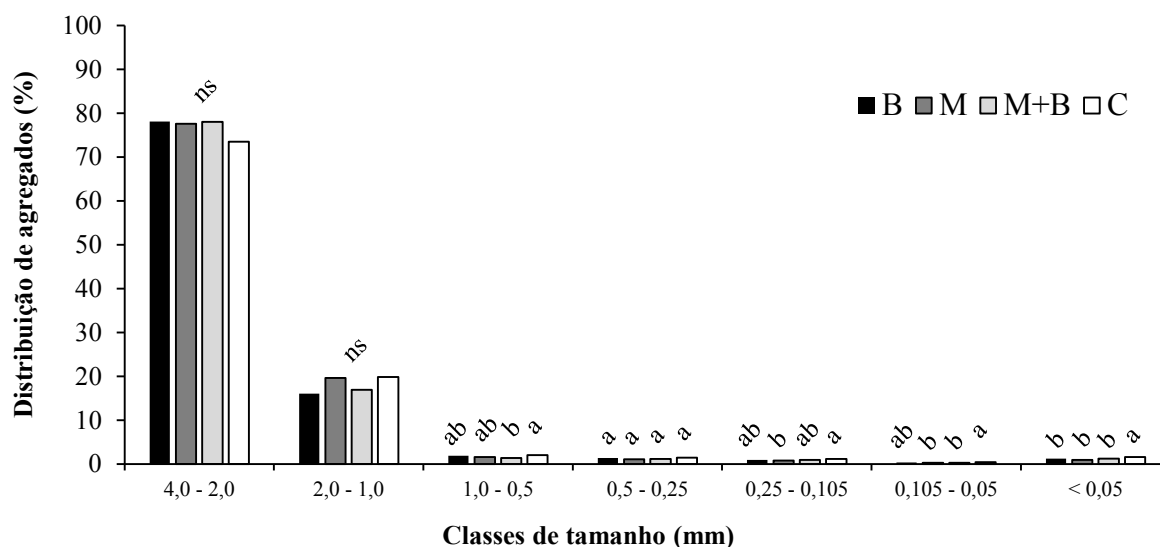
Figura 25. Valores médios de distribuição de agregados em diferentes classes de tamanho para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,30 – 0,40 m.

Abaixo da classe de 1,0 - 0,05 mm o feijão caupi proporcionou maiores quantidades de agregados de menor tamanho comparado aos demais tratamentos. Pode-se notar que as porcentagens de agregados menores que 2,0 mm, em cada cultivo, foram de 56% (B), 59% (M), 49% M+B e 82% (C) (Figura 25), valores que, demonstram que estruturas maiores estão dando origem a estruturas menores em C, resultado da menor estabilidade dos agregados nesse cultivo para essa camada do solo.

6.1.6.2 Método de agitação via seca

Para as classes de tamanho dos agregados obtidos pelo método de agitação via seca, não houve interação significativa dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 7).

Na Figura 26 são apresentadas as percentagens de agregados de cada classe de tamanho e para cada tratamento, considerando-se a média das quatro camadas avaliadas.



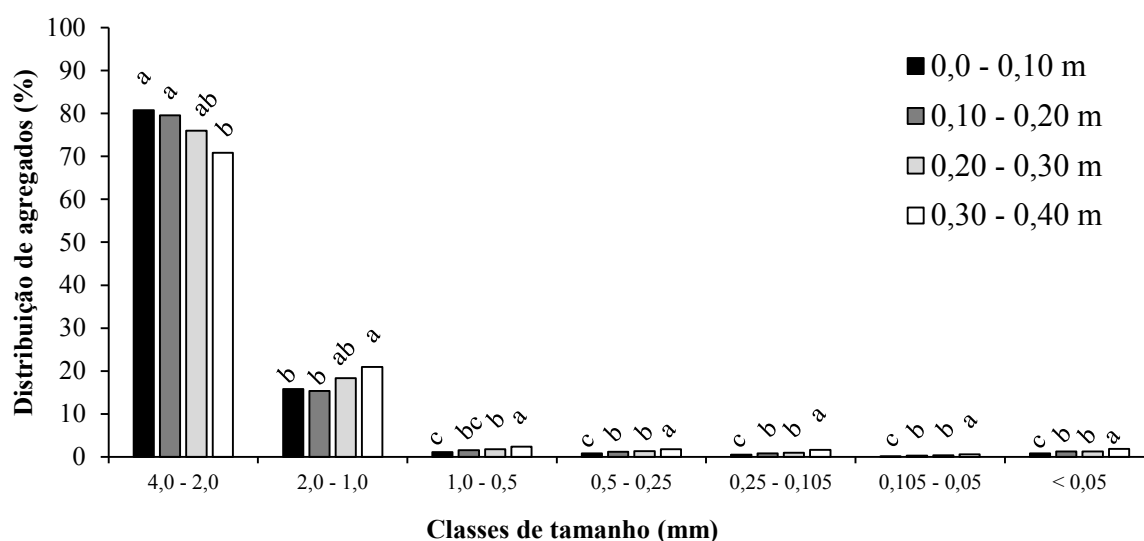
Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada classe de tamanho não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 26. Comparação entre as médias de distribuição de agregados, em diferentes classes de tamanho para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 – 0,40 m.

Pode-se notar que nos tratamentos B, M, M+B e C, a percentagem de agregados da classe de 4,0 a 2,0 mm foi de 78, 77, 78 e 73%, respectivamente, e quando somadas as percentagens de agregados de 2,0 a 1,0 mm de tamanho representaram, respectivamente, 94, 97, 94 e 93% das estruturas que compõem a camada de 0,0 a 0,40 m.

A distribuição de agregados nas classes abaixo de 2,0 mm teve comportamento inverso ao observado para a classe de 4,0 a 2,0 mm de tamanho, mostrando que agregados maiores que 2,0 mm estão dando origem a agregados menores em profundidade (Figura 26).

Na Figura 27 é apresentada a comparação entre as camadas estudadas desconsiderando-se o efeito do fator tratamento.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada classe de tamanho não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 27. Comparação entre as médias de distribuição de agregados, em diferentes classes de tamanho para as camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

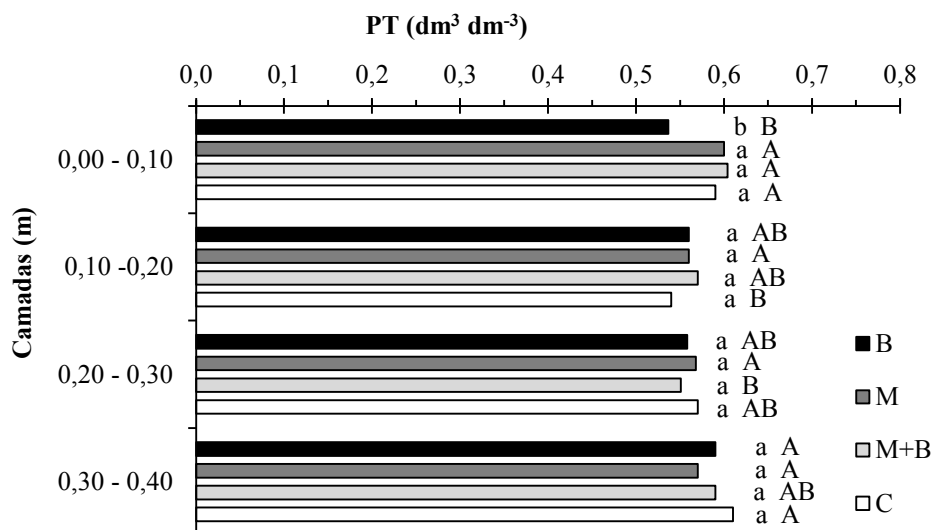
Houve maior percentagem de agregados de 4,0 a 2,0 mm na camada de 0,0 a 0,20 m, percentagem essa que diminuiu nas camadas 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,40 m, demonstrando que há menor presença de agregados maiores à medida que se desce no perfil do solo.

6.1.7 Porosidade total

Para porosidade total do solo (PT), houve interação significativa dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 8). Observando-se os valores de PT entre os tratamentos, em cada camada do solo, percebe-se que apenas na camada de 0,0 a 0,10 houve efeito dos tratamentos (Figura 28).

A menor PT ocorreu sob o tratamento B seguido dos tratamentos M, M+B e C os quais não diferiram entre si (Figura 28). Este efeito é decorrente do pisoteio de animais na área, como discutido anteriormente a respeito da DS no item 6.1.4, sendo a maior densidade também verificada nessa mesma camada.

Comparando-se as camadas dentro de cada tratamento, a maior PT sempre ocorreu maior na primeira e última camada do solo para M+B e C, enquanto que para M não houve diferenças entre as camadas do solo (Figura 28).



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

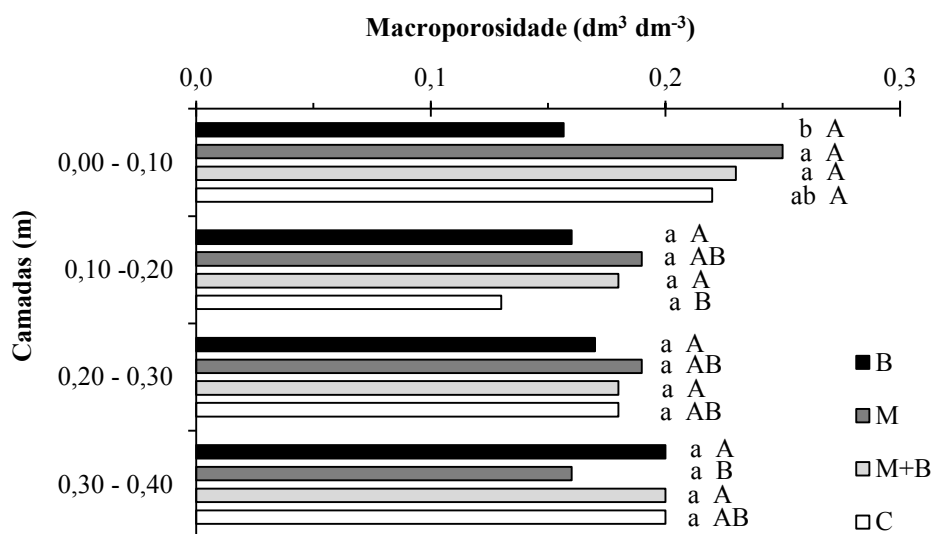
Figura 28. Valores médios de porosidade total do solo (PT) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.

6.1.8 Macroporosidade

Para macroporosidade do solo houve interação significativa dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 8).

Na Figura 29 observando-se o comportamento dos tratamentos, em cada camada, percebe-se que não houve efeito de tratamento nas camadas abaixo de 0,10 m de profundidade.

Apenas na primeira camada houve diferença nos valores de macroporosidade entre os tratamentos, efeito resultante, provavelmente, da maior presença de raízes nessas camadas e das forças mecânicas atuantes sobre o solo.



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 29. Valores médios macroporosidade do solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.

Na camada de 0,0 a 0,10 m a menor macroporosidade foi encontrada sob o tratamento B, seguido de M, M+B e C (Figura 29). Essa alteração é decorrente do pisoteio dos animais na área sob B causando redução na quantidade de macroporos, fator de alteração de outros parâmetros físicos já discutidos como DMP-VU (Figura 18), DMG-VU (Figura 19), DS (Figura 17) e distribuição de agregados por classe de tamanho (Figura 22). Pode-se observar que a densidade do solo foi maior sob o pastejo e que a PT assim como a macroporosidade também diminuiu (Figura 17 e Figura 28). Verificou-se, também, para o tratamento *B. ruziziensis*, maior retenção de água no solo em altas tensões em camadas superficiais (0,0 - 0,10 m) (Figura 13). Comportamento semelhante frente à macroporosidade e densidade do solo foi constatado por Lanza et al. (2007) e Carneiro et al. (2009), no estudo de atributos físicos do solo sob sistema de integração lavoura pecuária em sistema de semeadura direta. Spera et al. (2009), avaliando os atributos físicos do solo após dez anos do estabelecimento de integração de lavoura com pastagens de inverno e forrageiras perenes em Latossolo Vermelho distrófico, observaram que houve efeito do pastejo sobre os atributos físicos do solo, ao elevar a densidade e a microporosidade do solo e diminuir a macroporosidade e porosidade total, porém sem atingir níveis capazes de causar degradação do solo.

Observando isoladamente o tratamento B ao longo do perfil percebe-se que a macroporosidade não diferiu entre as camadas do solo, talvez o tráfego de animais tenha diminuído a macroporosidade na camada superficial, fazendo com que estes valores ficassem próximos dos encontrados em camadas mais profundas, tendo em vista que nos demais cultivos houve maior macroporosidade em camadas superiores (Figura 29).

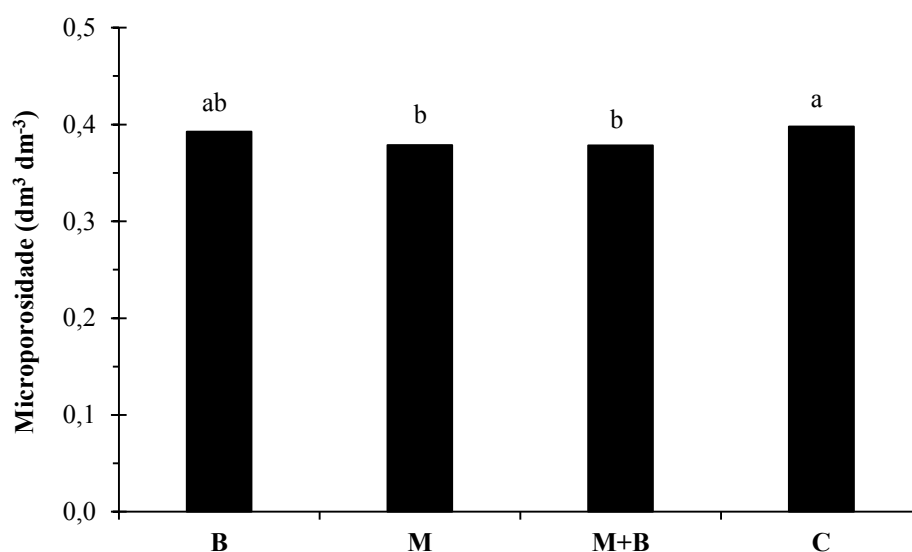
Os valores de macroporosidade do solo na camada de 0,0 a 0,10 m para cada tratamento foram 0,16 (B), 0,25 (M), 0,23 (M+B) e 0,22 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ (C) (Figura 29), valores que são superiores ao encontrados por Lanza Nova et al. (2007) que avaliaram a macroporosidade em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastejo de inverno com intervalos de 14 e 28 dias e cultivo de milho e soja no verão em SSD. Os valores de macroporosidade encontrados no presente trabalho foram superiores ao limite crítico de 0,10 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ descrito por Letey (1985), Silva et al. (1994) e Reynolds et al. (2002).

Para o tratamento C, a menor macroporosidade foi encontrada na camada de 0,10 a 0,20 m, provavelmente, devido à menor propriedade que as raízes dessa leguminosa possuem em aprofundar-se no solo e promover alterações estruturais abaixo dessa camada, ficando mais evidente os efeitos causados por camadas compactadas em subsuperfície, decorrentes da ação de implementos como abordado anteriormente.

6.1.9 Microporosidade

Para microporosidade solo a interação entre tratamento e camada do solo não foi significativa, apenas houve efeito isolado para tratamento e camada (Tabela 8).

Considerando-se a média de todas as camadas, a maior microporosidade foi verificada nos tratamentos C e B, seguidos de M e M+B, sendo que estes dois últimos não diferiram entre si e do tratamento B (Figura 30).



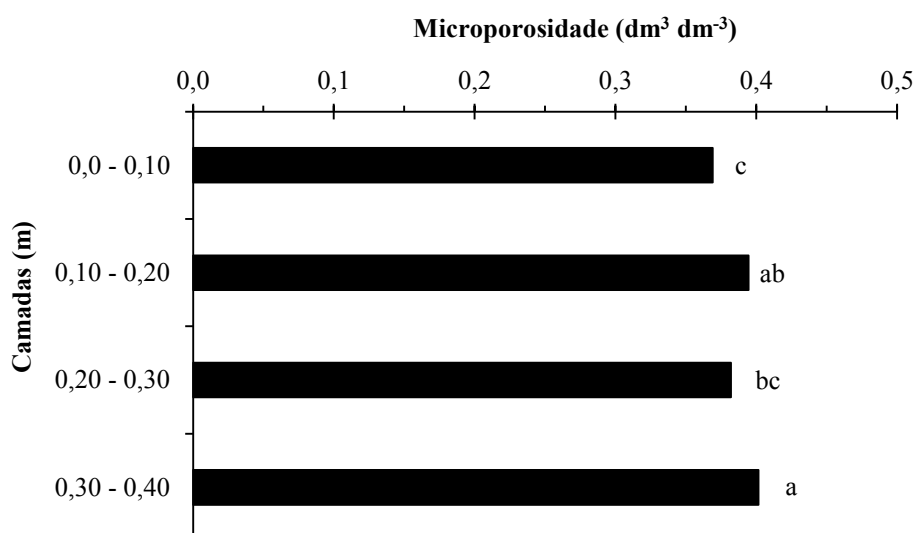
Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 30. Valores médios de microporosidade do solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 - 0,40 m.

A maior microporosidade em B não pode ser atribuída necessariamente ao pisoteio, pois nesse caso, não houve efeito da interação dupla (tratamento x camada). Lanzasova et al. (2007) constataram em seu trabalho, que a microporosidade do solo não foi alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas. Os autores enfatizam que a macroporosidade e a porosidade total foram influenciadas pelo pisoteio bovino. Como visto anteriormente a macroporosidade e PT foram alteradas pelos cultivos empregados corroborando com os resultados obtidos por Lanzasova et al. (2007).

Em C a maior microporosidade pode estar relacionada com a menor quantidade de raízes presentes no solo nesse cultivo comparado aos demais, levando-se em consideração o tipo de raízes desse cultivo, que são menos agressivas e de baixa relação C:N comparado ao de gramíneas como as braquiárias. Fica implícito que as mudanças estruturais do solo sob o cultivo de feijão caupi podem estar sendo mais influenciadas pela característica pedogenética do solo do que por ação das raízes, uma vez que nesse tratamento também ocorreram os menores valores de DMP e DMG pelo método de agitação via úmida (Figura 18 e Figura 19). A maior percentagem da massa de agregados menores que 0,5 mm nas camadas abaixo de 0,10 m, também ocorreu sob esse mesmo cultivo (Figura 23, Figura 24 e Figura 25), separados pelo método de agitação via úmida.

Considerando-se a média entre todos os tratamentos a maior microporosidade foi observada na última camada (0,30 - 0,40 m) e a menor na primeira camada o que era esperado uma vez que o diâmetro dos poros tende a diminuir em camadas mais profundas (Figura 31). Contudo, não houve diferença entre as duas camadas intermediárias (0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30 m).



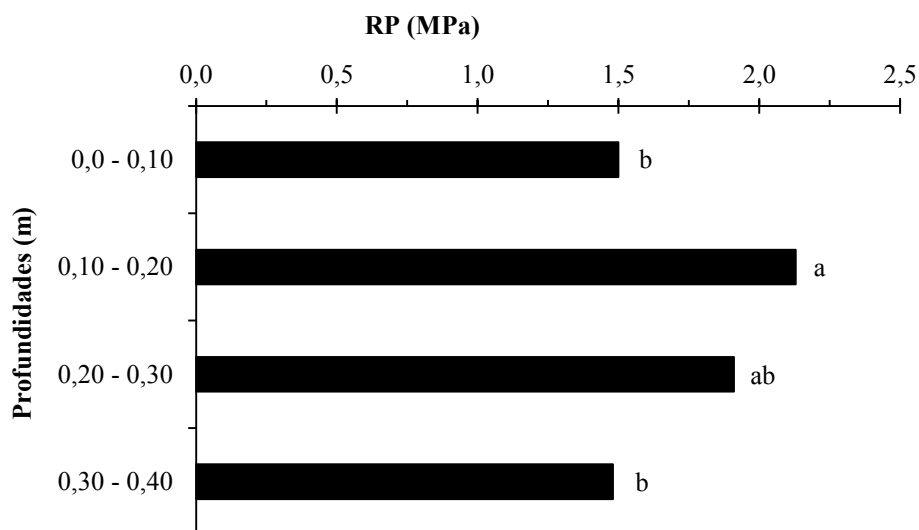
Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 31. Valores médios de microporosidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.1.10 Resistência do solo à penetração

Para resistência do solo à penetração, a interação entre tratamento e camada do solo não foi significativa, houve efeito apenas do fator camada do solo (Tabela 8).

A maior resistência do solo à penetração foi encontrada na camada de 0,10 a 0,20 m (2,13 MPa) (Figura 32), provavelmente, por nessa região do perfil estar localizada uma camada compactada proveniente da ação de implementos utilizados para semeadura e do tráfego de implementos (TORMENA et al., 2004). Na terceira camada o valor de resistência à penetração foi de 1,91 MPa, próximo ao encontrado na camada de 0,10 a 0,20 m, provavelmente, devido aos efeitos residuais das forças atuantes que aumentam a RP na segunda camada.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

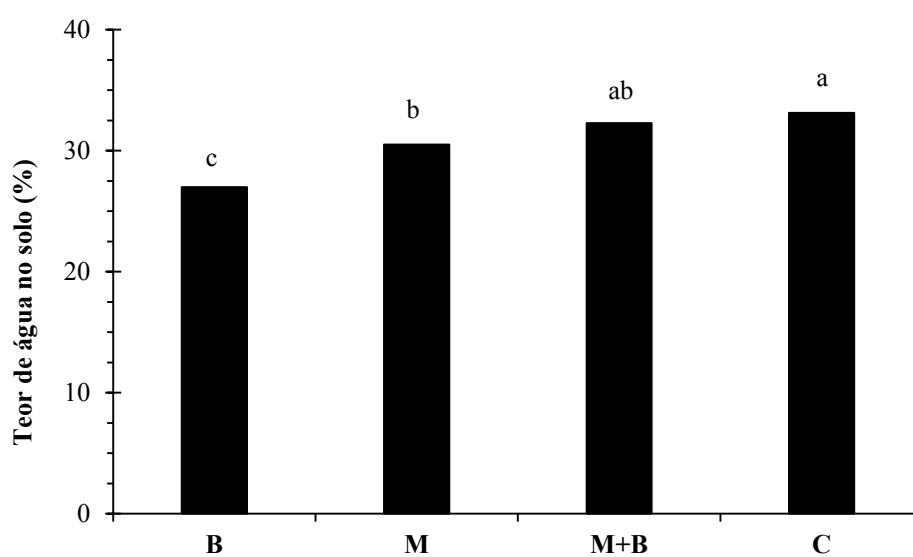
Figura 32. Valores médios de resistência do solo a penetração nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

A menor resistência do solo à penetração ocorreu na primeira (1,50 MPa) e última camada (1,48 MPa), em superfície há maior concentração de raízes e por se tratar de SSD, a presença de palha na superfície reduz os efeitos de compactação por forças mecânicas como tráfego de implementos e/ou animais na área (Figura 32). Tormena et al. (2004) que avaliou a RP em SSD e SSD com escarificação em Latossolo Vermelho, constataram que valores de $RP \geq 2,0$ MPa não foram restritivos à cultura da soja.

Para teor de água do solo no momento da medição da resistência do solo a penetração houve efeito isolado dos fatores tratamento e camada do solo (Tabela 8).

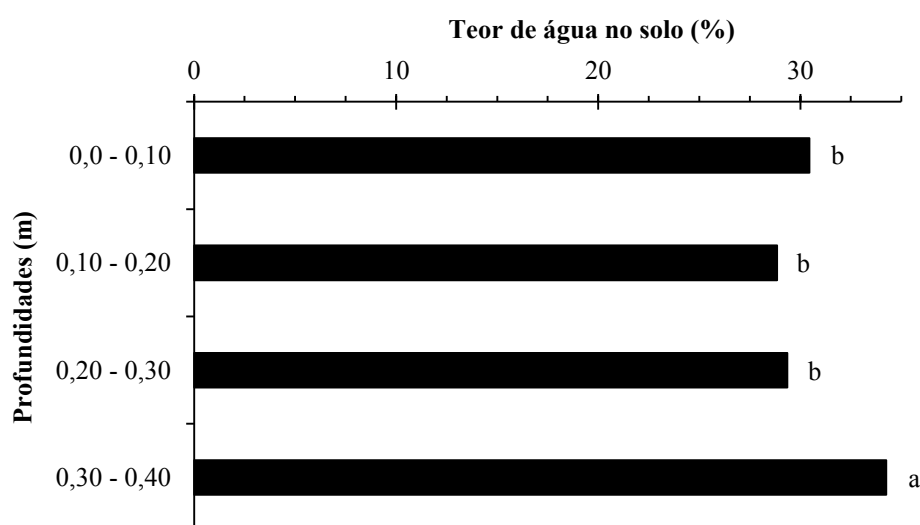
O menor teor de água do solo foi verificado no tratamento B (27%) seguido de M (30%) e M+B (32%) os quais não diferiram entre si e por último C (33%) com o maior teor de água do solo (Figura 33).

O teor de água do solo foi igual entre as três primeiras camadas do solo com valores de 30, 29, 29,5% respectivamente, na primeira segunda e terceira camadas. O maior teor de água concentrou-se na camada de 0,30 a 0,40 m (34%) (Figura 34), provavelmente pela maior presença de poros de menor diâmetro que são mais eficientes em reter água.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 33. Valores médios do teor de água do solo (TAS) no momento da medição de resistência do solo a penetração para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) na camada de 0,0 - 0,40 m.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

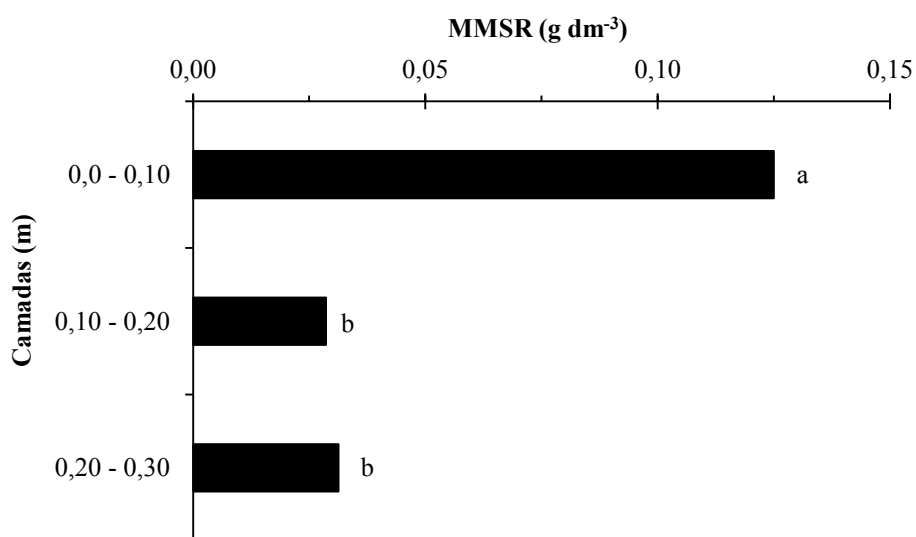
Figura 34. Valores médios de teor de água do solo no momento da medição de resistência do solo a penetração nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.2 Raízes de soja

6.2.1 Massa matéria seca, comprimento, área superficial e volume de raízes

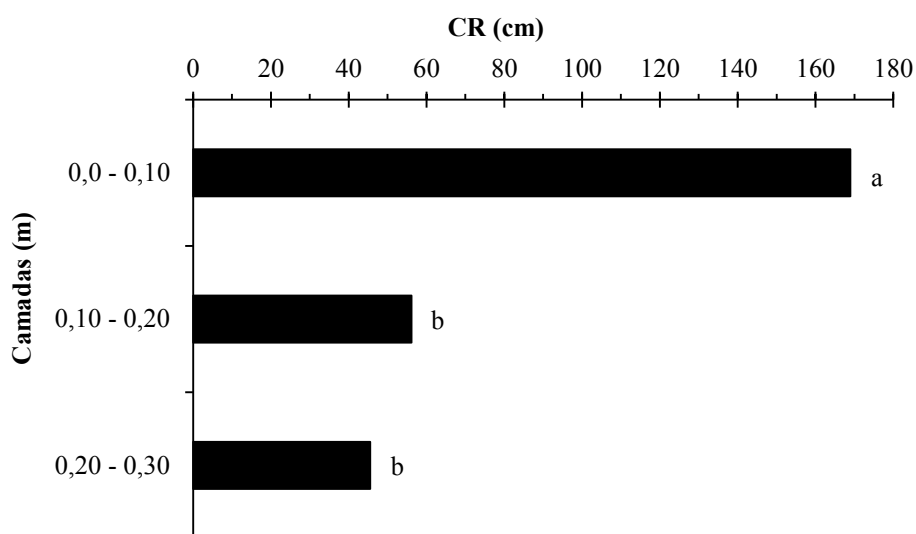
Para massa de matéria seca de raízes (MMSR), comprimento de raízes (CR), área superficial de raízes (ASR) e volume de raízes (VR) de soja houve efeito apenas do fator camada do solo (Tabela 9).

Observou-se o mesmo comportamento das raízes da soja quanto ao crescimento em profundidade, avaliado pela MMSR, CR, ASR e VR, parâmetros que apresentaram os maiores valores na primeira camada e diminuíram com a maior profundidade do solo, não diferindo entre a camada de 0,10 a 0,30 m (Figura 35, Figura 36, Figura 37 e Figura 38).



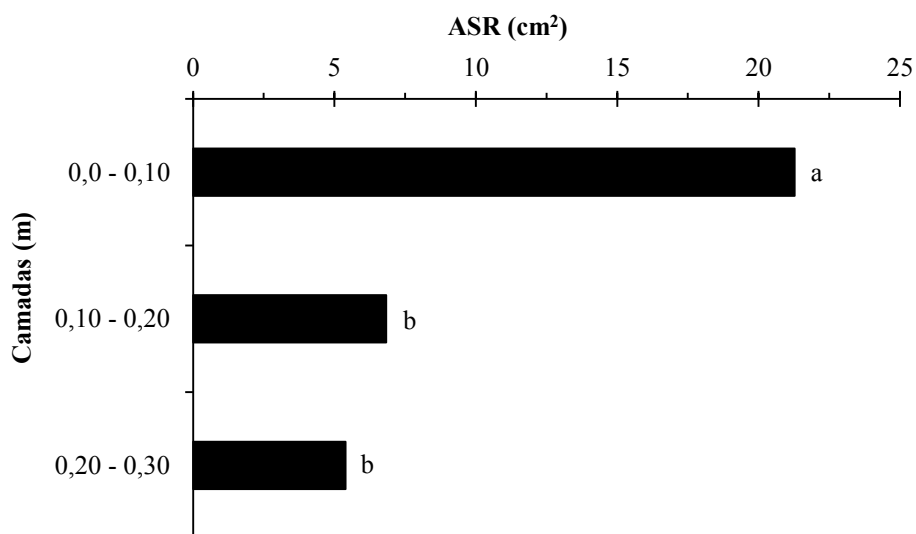
Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 35. Valores médios de massa de matéria seca de raízes de soja (MMSR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.



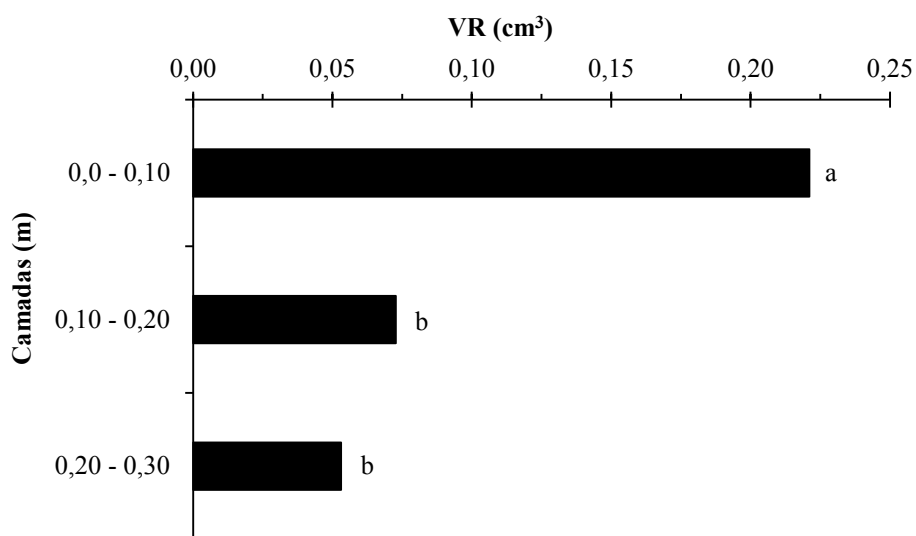
Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 36. Valores médios de comprimento de raízes de soja (CR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 37. Valores médios de área superficial de raízes de soja (ASR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.



Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 38. Valores médios de volume de raízes de soja (VR) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30.

Os maiores valores de todas as variáveis relacionadas ao crescimento de raízes na superfície (0,0 - 0,10 m) são, provavelmente, consequência da menor resistência à penetração na superfície do solo (Figura 32). Sadras et al. (2005) observaram em seu estudo que o crescimento radicular diminuiu gradativamente na camada subsuperficial do solo, refletindo mudanças morfológicas das raízes, em função da compactação do solo. Em solos compactados ocorre alteração da estrutura e, conseqüentemente, decréscimo da porosidade, da macroporosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases do solo (TAYLOR; BRAR, 1991).

O maior crescimento de raízes na superfície está ligado às condições físicas do solo, mas também depende da fertilidade do solo. As características químicas mais favoráveis ao crescimento radicular do solo em relação ao pH do solo, SB, V%, MOS, Ca, Mg, K e P, foram encontrados na camada de 0,0 a 0,10 m.

O Ca, por exemplo, que desce no perfil do solo desloca o Al do complexo de troca cuja saturação diminui, permitindo maior desenvolvimento das raízes graças ao melhoramento do ambiente na subsuperfície (RITCHEY et al., 1983). O menor teor e saturação por alumínio foram verificados nessa camada do solo (Figura 46 e Figura 47). Segundo Malavolta (2006), o Al em quantidades indesejáveis, é tóxico às plantas, resultando em diminuição do crescimento radicular.

O menor crescimento das raízes abaixo da camada de 0,10 m pode ser decorrente de impedimentos conferidos por camadas compactadas nessa região do perfil, este mesmo comportamento que também foi observado por Beutler; Centurion (2004) e Cardoso et al. (2006). Em SSD geralmente há presença de camadas compactadas, os chamados “pés de grade”, barreira que geralmente está situada aos 0,10 m de profundidade e que dificulta o crescimento de raízes das plantas, impedindo assim, a introdução de material vegetal em profundidade (TORMENA et al., 2002).

A camada de 0,0 a 0,20 m concentrou 73% da MMS total de raízes de soja, corroborando com os valores de 80% encontrados por Merten; Mielniczuk (1991) em um Latossolo Roxo e 73% por Beutler; Centurion (2004) em Latossolo Vermelho de textura média. Estes autores sugerem que a melhor distribuição do sistema radicular na condição de solo solto está relacionada à maior porosidade e ao menor impedimento mecânico ao desenvolvimento radicular.

A menor RP (Figura 32) bem como o maior crescimento de raízes avaliado pela MMSR (Figura 35), CR (Figura 36), ASR (Figura 37) e VR (Figura 38) foram observados na primeira camada do solo. Segundo Borges et al. (1988) as raízes das plantas de soja se desenvolvem melhor em pontos de menor RP, razão pela qual ocorrem modificações na morfologia da raiz, pela redução no comprimento radicular quando estas encontram impedimento mecânico.

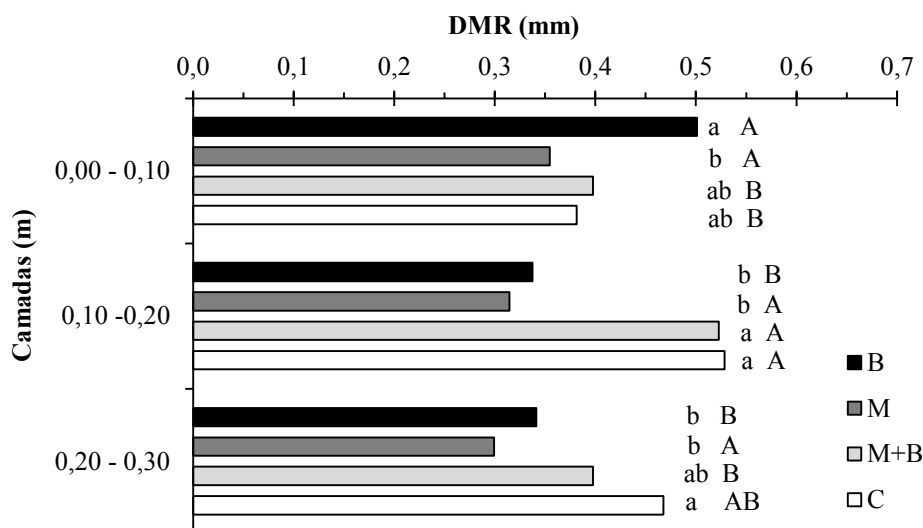
6.2.2 Diâmetro médio de raízes

Houve significância para a interação dos fatores tratamento e camada para a variável DMR de soja (Tabela 9).

Na camada de 0,0 a 0,10 m sob o tratamento B, houve crescimento de raízes mais grossas, seguido de M+B e C. Em M as raízes eram mais finas que as dos demais tratamentos nessa mesma camada do solo (Figura 39).

A presença de raízes mais grossas em B pode estar associada a maior resistência do solo à penetração nessa camada, e diminuição do crescimento apical das raízes pode estar resultando em maior crescimento lateral, causando o engrossamento radicular. Benghough; Mullins (1990) afirmam que o menor crescimento radicular em solos compactados ocorre por causa da menor taxa de alongação celular em razão da diminuição na taxa de divisão celular do meristema. Não houve efeito da interação tratamento e camada,

para resistência do solo à penetração, mas a maior DS, menor macroporosidade e PT foram constatados também para esse tratamento na primeira camada, permitindo inferir que pode estar havendo impedimento do prolongamento de raízes no cultivo sob pastejo (B).



Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada camada e letras maiúsculas comparam as camadas dentro de cada tratamento. Barras seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 39. Valores médios de diâmetro médio de raízes de soja (DMR) cultivada sobre os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m.

Na segunda camada (0,10 - 0,20 m) o maior DMR foi observado sob os tratamentos M+B e C e o menor DMR em B e M (Figura 39). Na última camada o maior DMR também ocorreu sob o tratamento C seguido de M+B e por último, com os menores valores de DMR, novamente os cultivos B e M que não diferiram entre si (Figura 39). O maior DMR em C e M+B pode estar associado às condições químicas do solo, como o pH do solo e a saturação por alumínio (m%) que foram menores e maiores, respectivamente, nas camadas 0,10 a 0,20 e de 0,20 a 0,30 m (Figura 40 e Figura 46).

De acordo com Malavolta (2006) os sintomas de toxidez por Al se manifestam em primeiro lugar nas raízes, nas quais há redução no crescimento do eixo principal, do que resultam raízes curtas e mais grossas, coralóides, com inibição da formação das laterais. O incremento do teor de Ca^{2+} , em profundidade, aumenta a relação Ca:Al, o que resulta numa melhoria do ambiente radicular pela diminuição da atividade do alumínio (BIASSANI et al., 2008).

Dias et al. (1985) e Souza et al. (2007) comentaram sobre saturação por alumínio e suas interferências no crescimento das plantas, enfatizam que da determinação tão somente do peso de raízes não é uma medida adequada para avaliar o efeito da calagem ou gessagem na redução do Al trocável do solo, e consequentemente no crescimento das raízes, parâmetros como espessura das raízes devem ser considerados para entender o comportamento das mesmas frente a fertilidade do solo.

Observando-se os dados de DMR (Figura 39) juntamente com os dados de macroporosidade do solo (Figura 29), percebe-se que houve aumento no DMR sob os cultivos de M+B e C para a segunda e terceira camada, à medida que houve redução da macroporosidade do solo, deixando implícito que camadas com menores quantidades de macroporos, favorecem o engrossamento radicular da soja. Na primeira camada a correlação entre DMR e macroporosidade do solo fica bem evidente, com o maior DMR e menor macroporosidade para o tratamento B.

6.3 Fertilidade do solo

6.3.1 Valores p e coeficientes de variação das variáveis de fertilidade do solo.

Na Tabela 10 estão apresentados os valores p e CV(%) para acidez do solo (pH CaCl₂), hidrogênio + alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica no solo (MOS).

Tabela 10. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis acidez do solo (pH CaCl₂), hidrogênio + alumínio (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica no solo (MOS) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Fontes de variação	pH	H+Al	CTC	SB	V%	m%	MOS
<i>Camada 0,0 - 0,10 m</i>							
Trat.	0,638	0,401	0,5665	0,0946	0,2341	0,025	0,0324
C.V. (%)	6,05	24,88	8,59	10,80	8,91	240,38	9,88
<i>Camada 0,10 - 0,20 m</i>							
Trat.	0,2349	0,5134	0,4549	0,3249	0,4897	0,7892	0,3249
C.V. (%)	6,28	12,82	13,10	18,62	23,78	59,53	7,96
<i>Camada 0,20 - 0,30 m</i>							
Trat.	0,2063	0,5668	0,4234	0,0059	0,018	0,0126	0,2683
C.V. (%)	4,56	10,18	7,75	9,75	8,78	42,92	5,49
<i>Camada 0,30 - 0,40 m</i>							
Trat.	0,0191	0,8969	0,2805	0,0146	0,2324	0,0265	0,1242
C.V. (%)	4,44	16,19	9,63	12,04	11,90	75,32	8,04

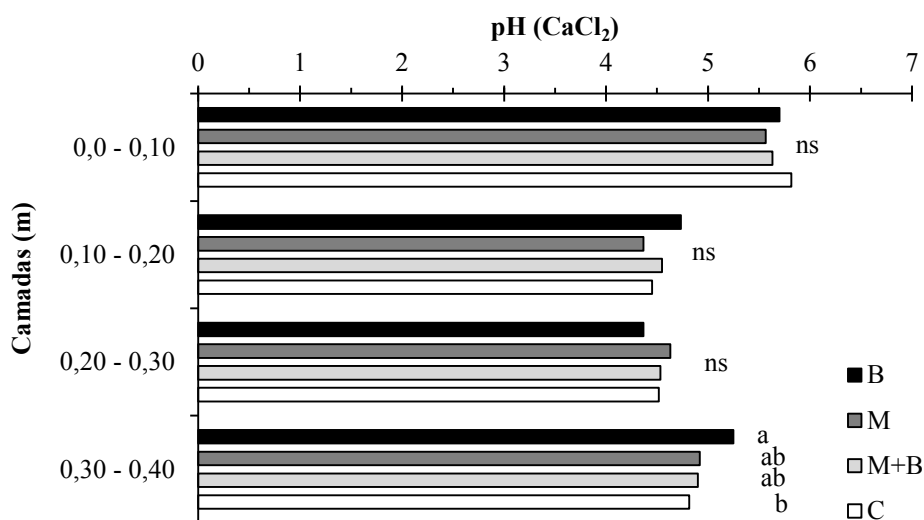
Na Tabela 11 estão apresentados os valores p e CV(%) para alumínio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo (Mehlich-1) e enxofre.

Tabela 11. Valores p e CV(%) do teste de F das variáveis alumínio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo (Mehlich-1) e enxofre, nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Fontes de variação	Al	Ca	Mg	K	P	S
<i>Camada 0,0 - 0,10 m</i>						
Trat.	0,0222	0,1825	0,9406	0,0052	0,002	0,115
C.V. (%)	235,97	9,18	8,80	20,42	24,43	37,75
<i>Camada 0,10 - 0,20 m</i>						
Trat.	0,7892	0,4635	0,9172	0,0442	0,2498	0,1154
C.V. (%)	55,87	18,97	19,16	44,25	66,01	30,13
<i>Camada 0,20 - 0,30 m</i>						
Trat.	0,0224	0,0048	0,0147	0,2264	0,057	0,0341
C.V. (%)	39,45	11,83	10,30	49,26	30,98	31,33
<i>Camada 0,30 - 0,40 m</i>						
Trat.	0,064	0,0078	0,3828	0,3166	0,0074	<0,001
C.V. (%)	76,37	14,24	10,63	102,9	28,92	25,36

6.3.2 Acidez do solo (pH CaCl₂)

O pH do solo foi maior na camada de 0,0 a 0,10 m e na de 0,30 a 0,40 m (Figura 40).



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 40. Comparação entre as médias de acidez do solo (pH CaCl₂) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Na superfície o pH variou de 5,7 a 5,8 não havendo diferença entre os tratamentos, porém, estes valores são considerados altos de acordo com Raij et al. (1996). O maior pH na superfície pode ser decorrente da aplicação de gesso antes da semeadura da soja e também dos efeitos residuais do calcário aplicado em 2008. Alleoni et al. (2005), avaliando o efeito do calcário aplicado em superfície nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, observaram que mesmo após 18 e 30 meses os efeitos da calagem persistiram até 0,10 m de profundidade. Estes resultados refletem a importância dos efeitos do calcário, em longo prazo, e enaltecem a importância da interação entre calagem e gessagem para aumentar a eficiência do processo de descida das bases do solo e contribuir para correção da acidez em profundidade.

O cálcio proveniente do calcário corrige a acidez do solo pelas substâncias que geram íons (oxidrila e bicarbonato) capazes de neutralizar os íons H⁺. Quando as oxidrilas e os íons bicarbonato reagem neutralizando os íons H⁺ que se encontram

na solução do solo, provenientes da dissociação da MOS e da hidrólise do alumínio, o pH do solo se eleva (BIASSANI et al., 2008). Com a redução dos íons H^+ , os sítios de troca do solo, nas superfícies dos minerais e da MOS, vão sendo ocupados pelos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , aumentando assim a saturação por bases do complexo de troca do solo (CTC) (MALAVOLTA, 2006). Estas observações podem ser reforçadas observando-se que os maiores níveis de CTC, Ca e Mg ocorrem na primeira camada do solo (Figura 42, Figura 48 e Figura 49).

Houve diferença no pH do solo entre os tratamentos na camada de 0,30 a 0,40 m. A menor acidez do solo na camada de 0,30 a 0,40 m foi encontrada em B (5,3 = Média), seguido de M (4,9 = Alta) e M+B (4,9 = Alta) os quais não diferiram entre si e, por último, com a maior acidez o tratamento C (4,8 = Alta). Pode-se observar que na camada de 0,30 a 0,40 o pH foi menor do que na primeira camada e que nos tratamentos em que houve o maior teor de Ca no solo o pH também se elevou (Figura 40 e Figura 48). Essas diferenças estão relacionadas, provavelmente, ao efeito do gesso aplicado em superfície, resultando em maiores quantidades de Ca em profundidade. O gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) tem sido utilizado em solos ácidos, para melhorar o ambiente radicular das plantas e na recuperação de solos afetados por sais. Após a dissolução do gesso os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} liberados para a solução podem percolar para camadas mais profundas do solo (BIASSANI et al., 2008).

O aumento do pH promovido pelo gesso, principalmente em camadas mais profundas, foi constatado por Carvalho; Raij (1997), Caires et al. (1999) e Caires et al. (2003) e tem sido atribuído a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o SO_4^{2-} deslocando OH^- , promovendo assim neutralização parcial da acidez (REEVE; SUMNER, 1972).

Na camada de 0,10 a 0,20 e de 0,20 a 0,30 m também não houve diferença entre os tratamentos e os valores de pH foram menores do que em superfície variando de 4,3 a 4,7 e de 4,3 a 4,6 nas respectivas camadas, valores esses que representam uma alta acidez, segundo Raij et al. (1996) (Figura 40). A maior acidez nas camadas intermediárias é decorrente da redução nas quantidades de Ca e Mg no solo, uma vez que a descida desses elementos é pequena, pois são pouco móveis no solo (MALAVOLTA 2006), que associada a presença das raízes nessa região do perfil, através do processo de absorção

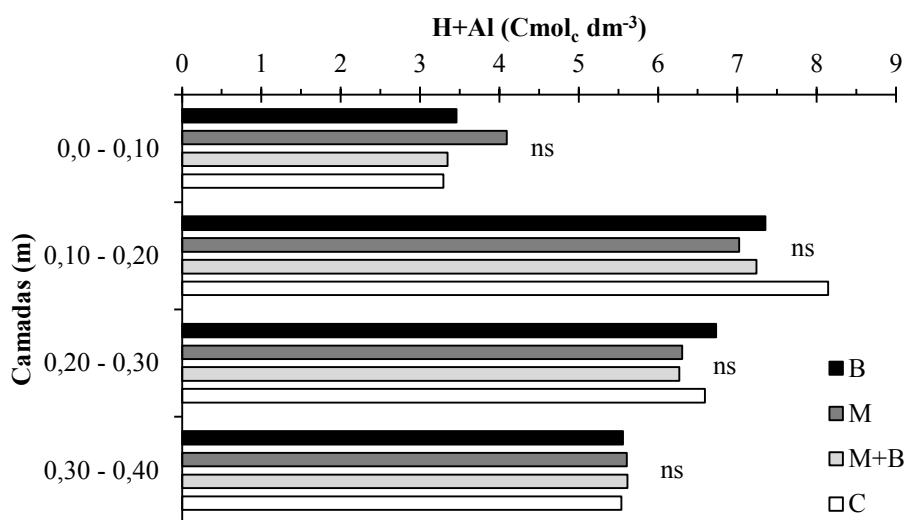
de cátions, liberam íons de hidrogênio na rizosfera para manter a eletroneutralidade do meio, contribuindo para a acidificação do solo (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Como visto anteriormente a produção de raízes de soja avaliada pela MMSR, CR, ASR e VR, foi semelhante entre as camadas de 0,10 a 0,30 m e não foi influenciada pelos cultivos (Figura 35, Figura 36, Figura 37 e Figura 38), tendo ocorrido o mesmo com o pH nessa faixa de profundidade. De acordo com Cuz et al. (2009) o pH do solo no tratamento milho consorciado com *B. decumbens* apresentou valores inferiores aos encontrados no tratamento milho solteiro, devido a acidificação do solo influenciada pelas raízes.

6.3.3 Hidrogênio + alumínio (H+Al)

O teor de H+Al não foi influenciado pelos cultivos em todas as camadas estudadas. Porém, observando a Figura 41 é possível perceber que os menores valores ocorreram na camada superficial com 3,2 a 4,1 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$, que são considerados médios, segundo Raiji et al. (1996), provavelmente, pelo aumento nos teores de Ca e Mg nessa camada, provenientes da aplicação do gesso antes da semeadura da soja e dos residuais do calcário de 2008, que possuem a propriedade de neutralizar os íons H^+ e Al^{3+} no solo (MALAVOLTA, 2006; BIASSANI et al., 2008).

Nas camadas abaixo de 0,10 m houve variação de 5,5 a 8,1, valores que são considerados altos para acidez potencial (Figura 41). Essas variações podem estar relacionadas com a menor quantidade de raízes, Ca e Mg em camadas mais profundas. O aumento da acidez potencial do solo está associado com a atividade das raízes que, por meio de compostos orgânicos como exsudatos, mucilagem, células soltas e os produtos do vazamento das mesmas, podem afetar diretamente a disponibilidade de nutrientes ou causar intensa atividade microbiana que permite que a mobilização de nutrientes seja por acidificação ou alcalinização do solo (MALAVOLTA, 2006).



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

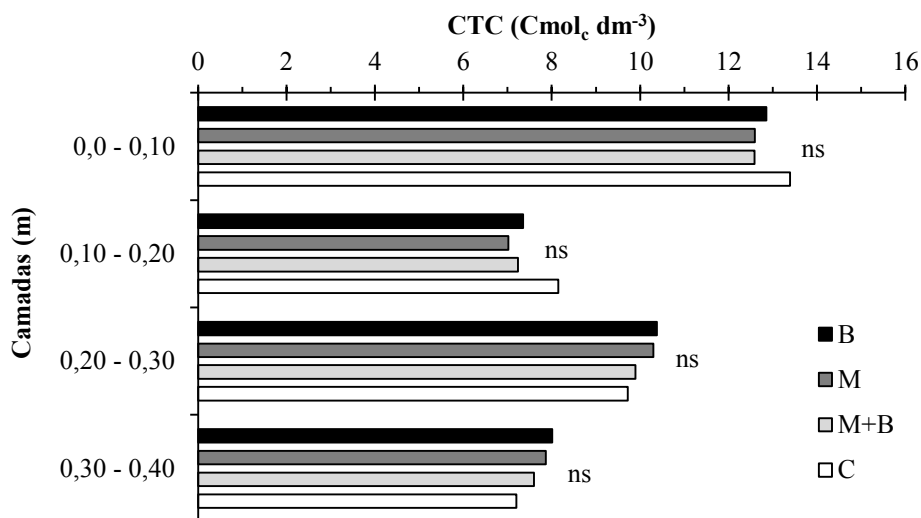
Figura 41. Comparação entre as médias de hidrogênio + alumínio no solo (H+Al) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.3.4 Capacidade de troca catiônica (CTC)

Não houve influencia dos tratamentos na CTC do solo em todas as camadas (Figura 42).

Os maiores valores de CTC foram encontrados na primeira camada (12,6 a 13,4), provavelmente, devido a maior interação da MOS com os argilominerais e os óxidos do solo que altera as cargas superficiais, diminuindo as cargas positivas, aumentando, consequentemente, a CTC do solo (BIASSANI et al., 2008). Os maiores teores de MOS ocorreram na camada superior e diminuíram gradativamente com a maior profundidade do solo (Figura 45). Os maiores valores de pH também foram observados na primeira camada do solo. Incrementos nos valores de CTC, em semeadura direta, acompanhando as variações de pH e MOS, foram obtidos por Bayer; Bertol (1999).

Abaixo da primeira camada houve redução na CTC do solo com exceção da camada de 0,20 a 0,30 m. O aumento da CTC nessa camada pode estar sendo influenciado pela atividade das raízes que possuem a capacidade de promover alterações da solução do solo na rizosfera (TAIZ; ZEIGER, 2004; MALAVOLTA, 2006; BIASSANI et al., 2008).



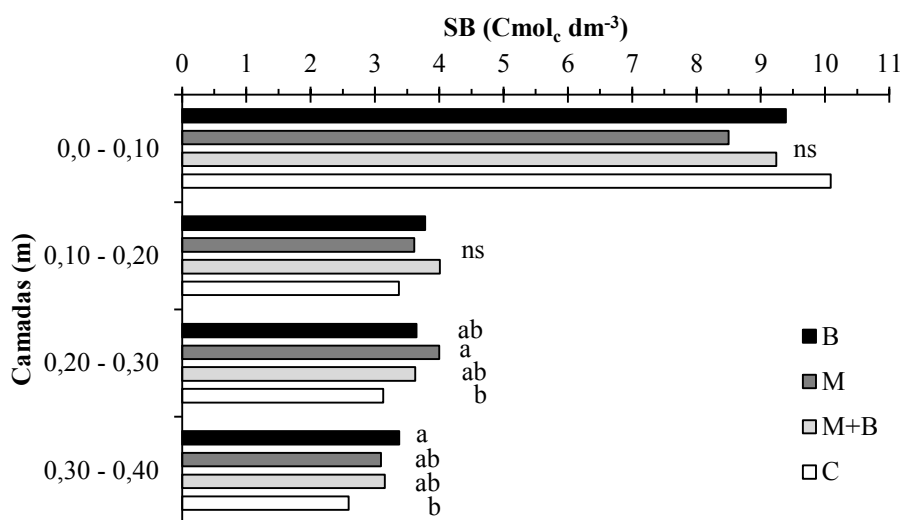
Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 42. Comparação entre as médias de capacidade de troca catiônica (CTC) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.3.5 Soma de bases (SB)

Não houve efeito dos tratamentos na SB nas camadas de 0,0 a 0,10 e de 0,10 a 0,20 m (Figura 43).

Os maiores valores de SB ocorreram na primeira camada com valores entre 8,5 a 10,1 Cmol_c dm⁻³, valores que são considerados muito bons segundo Raij et al. (1996). Nas demais camadas os valores de SB foram menores, variando de 2,6 a 4,01, valores considerados médios a bons. Na camada de 0,20 a 0,30 m a maior SB foi encontrada em M, seguido de B e M+B, que não diferem entre si, e por último com a menor SB o tratamento C. Na última camada a maior SB foi encontrada em B seguido de M e M+B que não diferem entre si, e por último o tratamento C.



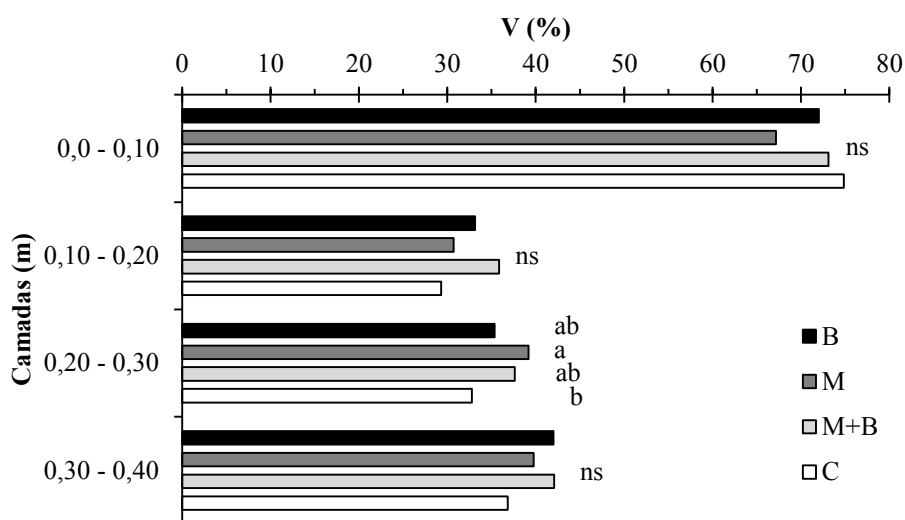
Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 43. Comparação entre as médias de soma de bases no solo (SB) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.3.6 Saturação por bases (V%)

Os maiores valores de V% foram observados para a primeira camada, variando de 67 a 75 %, valores considerados altos segundo Raij et al. (1996) (Figura 44).

Houve redução nas camadas mais profundas com valores que vão de 30 a 42 %, que são considerados baixos. A redução da V% no perfil diminui, pois há redução dos sítios de adsorção, que prendem os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} nos colóides do solo, predominando íons que compõem a acidez potencial do solo (H^{+} e Al^{3+}) no complexo de troca. Esta hipótese é reforçada observando-se a Figura 48, Figura 49 e Figura 50, onde há diminuição nos teores de Ca, Mg e K, e a Figura 41, com o aumento de H + Al em profundidade.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

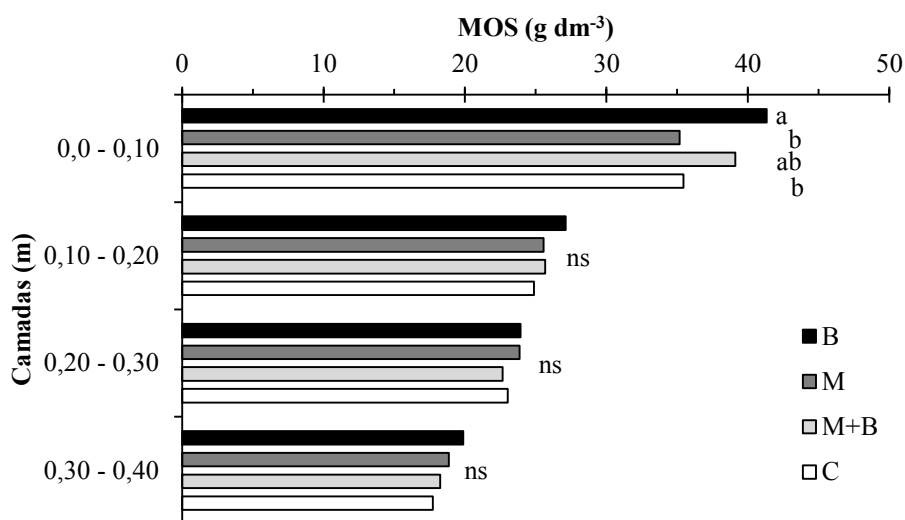
Figura 44. Comparação entre as médias de saturação por bases no solo (V%) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.3.7 Matéria orgânica do solo (MOS)

Houve diminuição nos teores de MOS em maiores profundidades, sendo observados os maiores teores para a primeira camada (Figura 45).

De acordo com Santos; Tomm (2003), a manutenção do teor de matéria orgânica em valores mais elevados, na camada superficial do solo, principalmente nos sistemas conservacionistas, decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície, pois não é realizada a incorporação física destes pelo revolvimento do solo, o que diminui a taxa de mineralização, na semeadura direta.

Houve interferência dos tratamentos nas quantidades de MOS. Os maiores teores ocorreram no tratamento B e M+B, provavelmente, devido ao maior aporte de material vegetal em superfície pela palha e em profundidade pelas raízes. As menores quantidades de MOS foram encontradas sob os tratamentos M e C, que são cultivos solteiros e que no caso do caupi se trata de uma leguminosa que produz menores quantidades de raízes se comparada com as gramíneas estudadas.



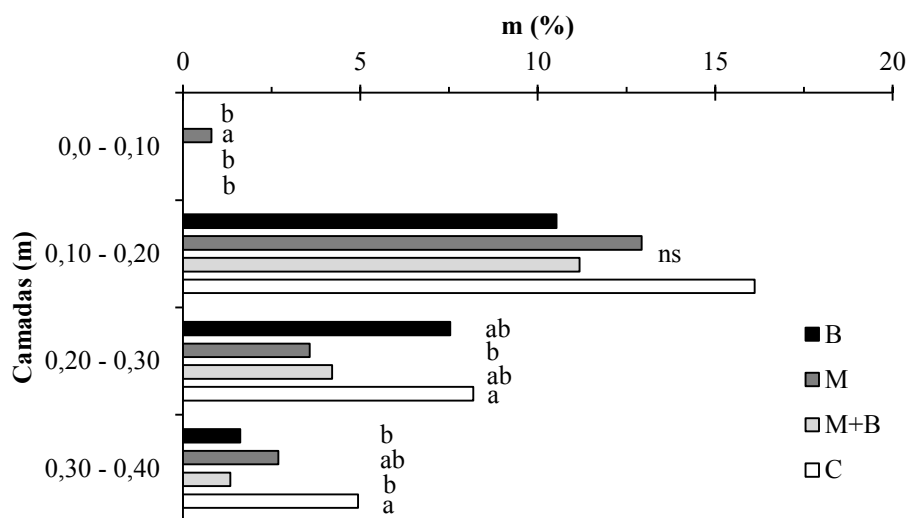
Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 45. Comparação entre as médias de matéria orgânica no solo (MOS) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Salton (2005), avaliando a matéria orgânica do solo, com rotação lavoura-pastagem em Latossolo Vermelho distroférrico, em experimento com duração de dez anos, associou o maior estoque de carbono total ao maior aporte de material orgânico ao solo, conferido pelos cultivos com pastagem permanente (*B. ruziziensis*) e integrado com a soja (2 anos soja/2 anos braquiária), enquanto que os cultivos apenas com lavoura sob sistema de semeadura direta e plantio convencional, proporcionaram o menores valores de estoque de carbono orgânico.

6.3.8 Saturação por alumínio (m%)

A maior percentagem de saturação por alumínio ocorreu na camada de 0,10 a 0,20 m, seguida da camada de 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,40 m (Figura 46).



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns não significativo.

Figura 46. Comparação entre as médias de saturação por alumínio no solo (m%) para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

A menor percentagem de saturação ocorreu na camada superior, provavelmente, devido aos valores de pH serem superiores a 5,5 nessa camada (5,8) (Figura 40). Segundo Sousa et al. (2007) considera-se que a valores de pH acima de 5,5-6,0, a solubilidade do Al é mínima e esta é uma das razões pelas quais a correção de solos ácidos é feita para se atingir um pH de pelo menos 5,5. Portanto concentrações de Al^{3+} prejudiciais as plantas podem ocorrer a pH 5,0, mas não a 5,5 ou maior. Percebe-se que o pH e a saturação por alumínio mostraram o mesmo comportamento antagônico descrito por Sousa et al. (2007) (Figura 40 e Figura 46). Segundo Ribeiro et al. (1999) plantas leguminosas como a soja toleram no máximo 20% de saturação por alumínio no solo, portanto, os valores obtidos estão dentro da tolerância segundo estes autores, com valores que vão de 0 até 16 %.

Houve influência dos tratamentos na saturação por alumínio na primeira, segunda e terceira camadas (Figura 46). Na camada de 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,40 sob o tratamento C ocorreu a maior percentagem de saturação por alumínio, comportamento que pode estar ligado ao maior teor de enxofre também encontrado nessas camadas, como já foi descrito nos itens 6.1.2 e 6.3.14. Pode-se perceber que os maiores valores de m% (Figura 46) coincidem com os maiores teores de S no solo (Figura 52). Talvez o sulfato esteja se ligando na superfície dos colóides na camada de Stern, fazendo com que o sulfato

deixe de neutralizar o Al^{3+} , resultando em aumento da saturação por alumínio. Contudo se faz necessário avaliar as relações entre o alumínio e o sulfato, especialmente no colóide e na solução do solo para melhor esclarecimento das variações encontradas para esses elementos nessas condições experimentais.

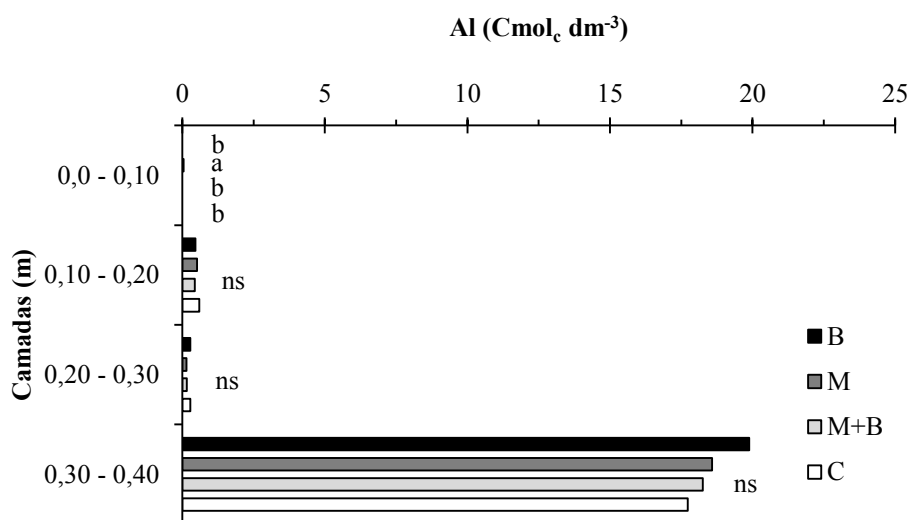
A atividade de ácidos orgânicos provenientes da matéria orgânica e das raízes pode ter relação para os valores de m%. Pode-se perceber que nas camadas abaixo de 0,10 m, com exceção da camada de 0,20 a 0,30 m, houve menor m% nos cultivos que utilizam gramíneas, que possuem sistema radicular mais profundo, permitindo introdução de ácidos orgânicos e maior profundidade comparado ao feijão caupi, além do maior aporte de material orgânico em superfície (Figura 45). A matéria orgânica e, consequentemente, maior ocorrência de ácidos orgânicos são capazes de complexar o Al, tornando-o menos tóxico à cultura (MIYAZAWA et al., 2000; MALAVOLTA, 2006).

6.3.9 Alumínio (Al)

Apenas houve influências dos tratamentos para os teores de alumínio no solo na primeira camada, diferenças que ocorrem devido aos valores de Al serem nulos para os tratamentos B, M+B e C (Figura 47).

Os teores de Al na camada de 0,30 a 0,40 foram os maiores dentre todas as camadas, provavelmente pelo fato de a área ter recebido correção com 1 Mg ha^{-1} de gesso em setembro de 2012 aumentando assim a concentração de alumínio em profundidade (Figura 47). Portanto o SO_4^{2-} proveniente do gesso, aplicado antes da semeadura da soja, exerceu sua função preceipitando Al.

Segundo Biassani et al. (2008), em solos ácidos, o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pode diminuir a toxicidade do alumínio para as plantas, reduzindo a atividade do Al^{3+} na solução do solo pelo aumento da quantidade de Ca^{2+} e SO_4^{2-} . Outro mecanismo que diminui a atividade do alumínio em solos, devido a aplicação de gesso é a precipitação de compostos sólidos de alumínio pelo íon sulfato, como a jurbanita ($\text{AlOHSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), basulaminita [$(\text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$] ou alunita [$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$] (MALAVOLTA, 2006; SOUSA et al., 2007; BIASSANI et al., 2008).



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

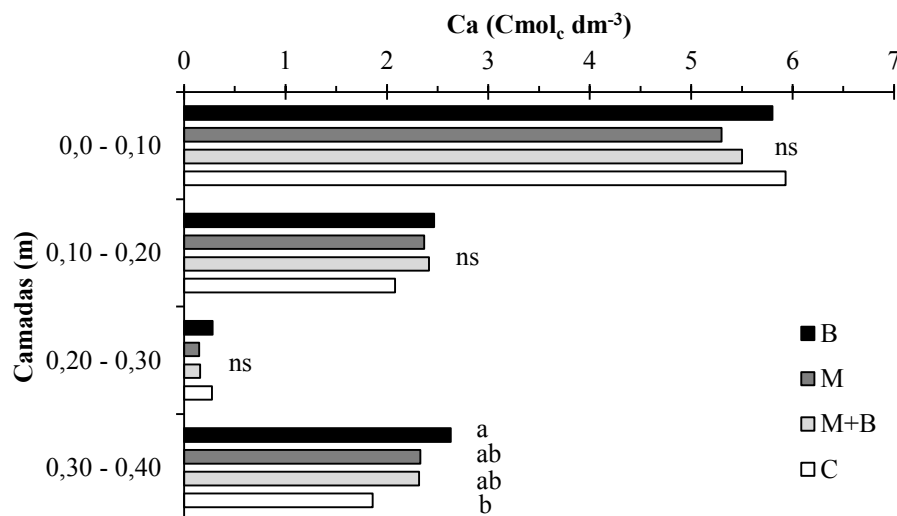
Figura 47. Comparação entre as médias dos teores de alumínio (Al) no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.3.10 Cálcio (Ca)

Na Figura 48 estão apresentados os teores de cálcio no solo podendo-se perceber que a maior concentração deste nutriente ocorreu na primeira camada com valores entre 5,5 e 5,8 Cmol_c dm⁻³.

Na segunda camada os valores para Ca foram menores que na primeira, entre 2,1 e 2,5 Cmol_c dm⁻³. Na terceira camada de 0,20 a 0,30 m os teores de Ca ficaram próximos de zero, com valores entre 0,15 a 0,3 Cmol_c dm⁻³. Na camada mais profunda de 0,30 a 0,40 os teores se elevaram, com valores de 1,8 a 2,6 Cmol_c dm⁻³. Todos os valores encontrados para teor de Ca são considerados muito alto, com exceção da camada de 0,20 a 0,30 m, onde os teores serão considerados baixos, segundo Raij et al. (1996).

Houve efeito dos tratamentos apenas na camada de 0,30 a 0,40 m (Figura 48). Os maiores teores de Ca foram encontrados sob o tratamento B seguido de M e M+B os quais não diferem entre si e por último C com os menores teores. Maior teor de cálcio pode estar ocorrendo sob os cultivos com gramíneas devido ao fato de seus sistemas radiculares serem vastos e após sua decomposição, darem origem a um maior número de bioporos por onde o Ca pode ser lixiviado para camadas mais profundas.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 48. Comparação entre as médias dos teores de cálcio (Ca) no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

De acordo com Oliveira; Pavan (1994), que avaliaram a movimentação do calcário em cultivo de soja em SSD, houve movimentação física do calcário em profundidade, provavelmente, pelos canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo. Os canais deixados pelas raízes, os chamados bioporos, também podem servir de passagem para as partículas de gesso. Segundo Biassani et al. (2008) os ânions SO_4^{2-} provenientes do gesso favorecem a descida do Ca no perfil do solo melhorando a distribuição deste elemento no perfil. Por outro lado, para Miyazawa et al. (1996) que avaliaram os efeitos dos resíduos culturais sobre o Ca e Mg em um Latossolo, o provável mecanismo da lixiviação de cálcio em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionado com a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas.

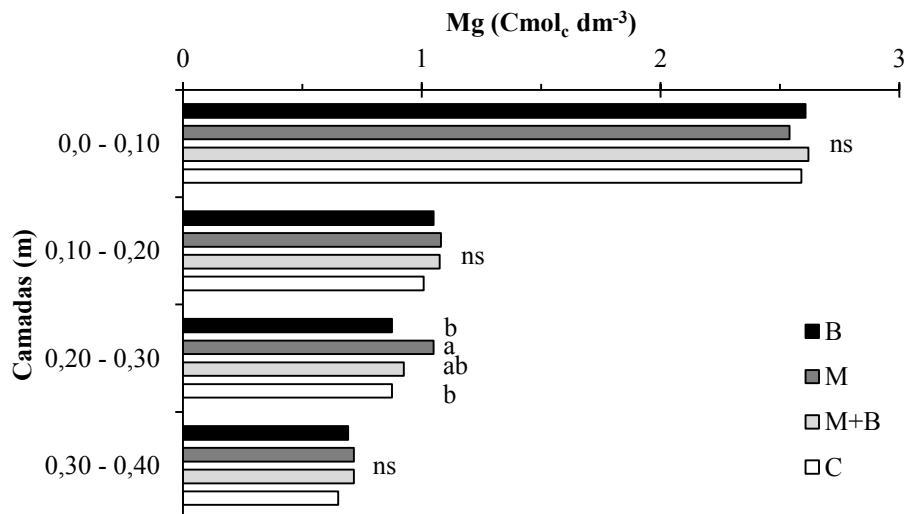
Percebe-se que o teor de Ca é maior na última camada comparado à camada de 0,20 a 0,30 m, podendo haver reações entre o SO_4^{2-} e o Ca na camada de 0,20 a 0,30 m que facilitem a descida do Ca no perfil. De acordo com Malavolta (2006) e Sousa et al. (2007), após a aplicação de gesso no solo, esta reação é possível e facilita a mobilidade do Ca^{2+} no solo, que junto com o SO_4^{2-} forma par iônico e é levado para camadas mais

profundas, reduzindo os teores de Ca (Figura 48) da camada onde estava localizado, promovendo assim alterações no pH do solo (Figura 40).

6.3.11 Magnésio (Mg)

Os teores de magnésio no solo foram maiores na primeira camada e decresceram com a maior profundidade do solo (Figura 49). Os teores de Mg na superfície foram de 2,5 a 2,6 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (altos), na camada de 0,10 a 0,20 m foram de 1,0 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (alto) e nas demais camadas variaram de 0,6 a 1,1 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (médios a altos) segundo Raij et al. (1996). Na camada de 0,20 a 0,30 m houve influência dos tratamentos nos teores de Mg no solo (Figura 49). O maior valor ocorreu no tratamento M seguido de M+B e com os menores valores B e C.

Assim como o Ca o Mg também é pouco móvel no solo e estes possuem distribuição semelhante, de maneira geral, encontra-se nos subsolos teores menores de Ca e Mg que os encontrados em superfície (MALAVOLTA, 2006).



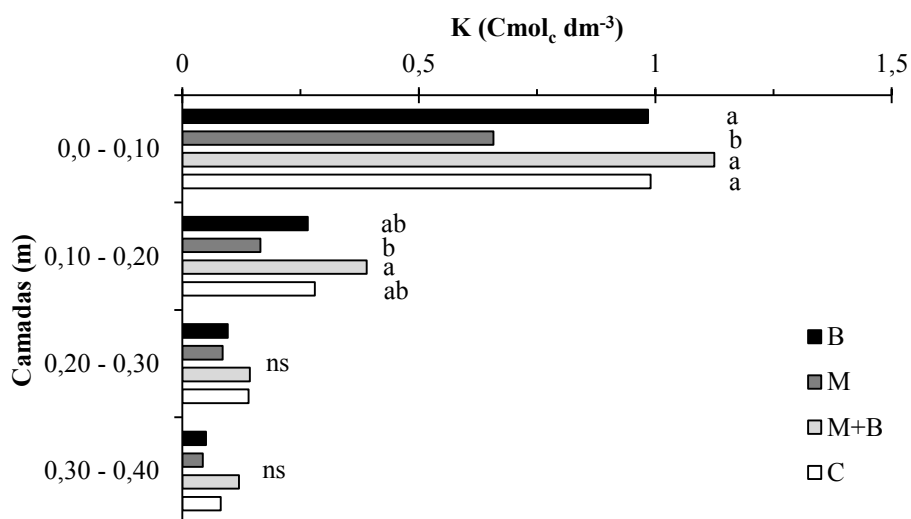
Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 49. Comparação entre as médias dos teores de magnésio (Mg) no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

6.3.12 Potássio (K)

Os teores de K foram maiores na superfície e decresceram com a maior profundidade do solo (Figura 50). Os teores encontrados na primeira camada são considerados muito altos segundo Raij et al. (1996). Na superfície a maior concentração de potássio esta associada a maior quantidade de resíduo fornecido em cobertura e a qualidade do material (relação C:N).

Houve efeito dos tratamentos nos teores de K nas camadas de 0,0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m, provavelmente porque nessas camadas há maior presença de material vegetal como raízes e a parte aérea das plantas remanescentes que no processo de decomposição liberam primeiramente este elemento para o ambiente. Segundo Meurer (2006) o K não faz parte de nenhuma estrutura ou moléculas orgânicas na planta, como o N e P, que são constituintes de proteínas, ácidos nucleicos, fosfolipídios, ATP, entre outros. O K^+ encontra-se, predominantemente, como cátion livre ou como cátion adsorvido e pode, facilmente, ser deslocado das células ou dos tecidos da planta. (LINDHAUER, 1985).



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns não significativo.

Figura 50. Comparação entre as médias dos teores de potássio (K) no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Na primeira camada os cultivos de B, M+B e C proporcionaram maiores quantidades de K no solo e são considerados teores muito altos. Provavelmente, a alta quantidade desse elemento nos tratamentos B e M+B é oriunda da maior quantidade de material fornecido em superfície e em profundidade. No entanto, sob o cultivo de feijão caupi, que é uma planta leguminosa com baixa produção de material vegetal comparada as gramíneas como o milho e a braquiária, essa maior disponibilidade de K em C pode estar associada à relação C:N do material. A disponibilização de K na primeira camada no tratamento C pode estar compensando seu menor potencial em produzir material em relação aos tratamentos B e M+B. Os tratamentos de B e M+B podem ser formas de se armazenar K, com um fornecimento mais prolongado.

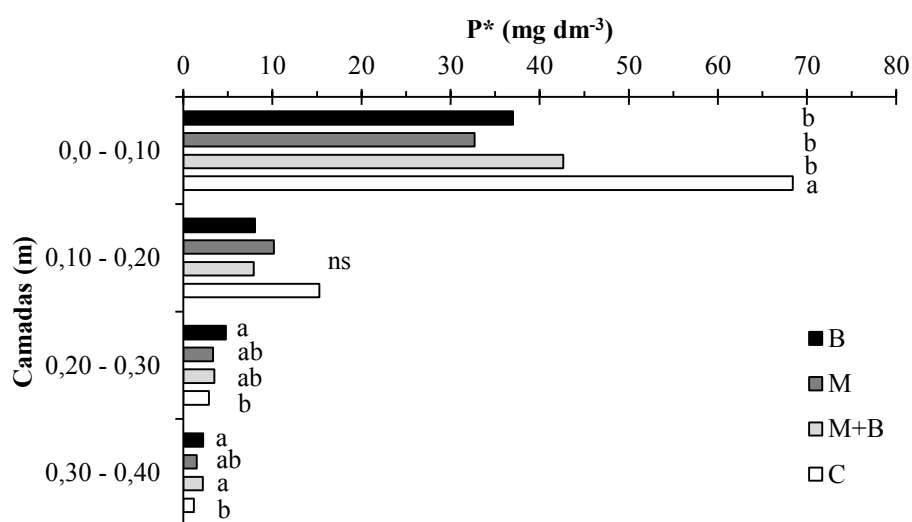
Na camada de 0,10 a 0,20 m as maiores quantidades de K ocorreram, novamente, sob os tratamentos B (0,27 - médio), M+B (0,39 - alto) e C (0,28 - médio) (Figura 50). Altos teores de K nesses tratamentos não são só decorrentes da quantidade e da relação C:N do material vegetal, mas também da lixiviação do K da camada em que está em maior quantidade para camadas mais profundas, graças aos efeitos do gesso aplicado. É necessário destacar que os ânions SO_4^{2-} , liberados na dissolução do gesso no solo, favorecem não só a descida do Ca no perfil do solo, mas podem favorecer também a percolação de outros cátions como o Mg^{2+} e o K^+ (BIASSANI et al., 2008).

É importante enfatizar que tanto o cultivo de milho safrinha, quanto o milho consorciado com *B. ruziziensis*, foram adubados com as mesmas quantidades e fórmula de adubo, ou seja, a quantidade de K fornecida aos dois tratamentos foi a mesma, porém, nota-se que a quantidade desse nutriente sob milho em cultivo solteiro, foi menor em relação ao milho consorciado, entre a camada de 0,0 a 0,20 m (Figura 50). É possível que o cultivo consorciado de milho com a braquiária possa estar melhorando a ciclagem do K no solo, possivelmente, pela maior extração do nutriente pelas raízes da braquiária e consequente deposição em superfície através dos resíduos da parte aérea das plantas.

6.3.13 Fósforo (P)

As maiores concentrações de P ocorreram na primeira camada e seu teor diminuiu com a maior profundidade do solo. Houve efeito dos tratamentos nos teores de P no solo da primeira, terceira e quarta camadas (Figura 51).

Na primeira camada (0,0 a 0,10 m) o maior teor de P foi encontrado em C (68 mg dm⁻³) seguido de M+B (42), B (37) e M (33), os quais não diferiram entre si. Todos estes valores encontrados são considerados muito bons segundo Raij et al. (1996). Os maiores teores de P sob cultivo de feijão caupi podem estar relacionados com os teores de MOS, que nesse cultivo foram os menores comparados a B e M+B (Figura 45), para essa mesma camada do solo. Ao longo de cinco anos desde a instalação dos cultivos (2008) o solo sob os cultivos B e M+B recebe, anualmente, maiores quantidades de material vegetal que, associado à alta relação C:N das gramíneas, comparado ao das leguminosas, permite maior tempo de cobertura do solo em B e M+B, mantendo a entrada de MOS em maior quantidade e longevidade no sistema.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo. *Mehlich-1.

Figura 51. Comparação entre as médias dos teores de fósforo (P) no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

A liberação dos grupos funcionais COOH e OH no processo de decomposição da matéria orgânica, que é oferecida em maiores quantidades em B e M+B pode estar sendo também fator para redução da adsorção de fósforo no solo. Fontes et al. (1992), que trabalhou com Latossolo no Brasil, constataram a formação de complexos (ácidos húmicos e goethita), grupos funcionais (COOH) que bloqueiam a superfície da goethita, reduzindo drasticamente a adsorção de P.

Sibanda; Young (1986) que estudaram a adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e fosfato em dois solos tropicais. Observaram uma redução significativa na adsorção de P quando o conteúdo de ácido húmico foi elevado de 0,7 a 3,0%; teores que equivalem a um aumento de 1,72 a 5,2% de matéria orgânica. Segundo os mesmos autores houve uma redução de 68 e 48% na adsorção de P para o teor mais alto de ácido húmico (3%), respectivamente, para os solos com pH 4,6 e 5,1, o que mostra que o efeito é mais pronunciado em solos mais ácidos.

Observando-se o incremento de MOS da primeira camada do solo (Figura 45), nos cultivos M+B (4,0%) e B (4,1%) em relação ao C (3,5%) fica implícito que estes aumentos são fatores para redução da adsorção do P no solo sob M+B e B, possivelmente devido a maior presença de ácidos orgânicos e grupos funcionais COOH e OH nesses tratamentos os quais também promoveram alterações no pH do solo (Figura 40) (SILVA et al. 2008). Mesquita Filho; Torrent (1993) e Silva et al. (1997) encontraram correlações negativas entre adsorção máxima de P e teores de matéria orgânica em solos sob cerrado.

De acordo com Silva et al. (1997) a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAF) foi maior em solo descoberto, sendo 44,2% mais elevada que no tratamento de cerrado nativo. Esses autores afirmam que tal diferença na quantidade de P adsorvido deve-se ao fato de, no tratamento solo descoberto, grande parte da matéria orgânica sofre oxidação, em decorrência de sua exposição, liberando os sítios de adsorção dos óxidos, logo, esses sítios são ocupados pelo fósforo. A rápida decomposição do material vegetal, proveniente do cultivo C, já foi abordada anteriormente, relacionando-se as quantidades e qualidade (C:N) das gramíneas e leguminosas.

Os padrões atribuídos para adsorção de P se enquadram nos resultados obtidos por Silva et al. (1997) que avaliaram a adsorção de fósforo sob a rotação de “adubos verdes” com o milho sob condições de cerrado em Latossolo Vermelho-Escuro. Os “adubos verdes” que proporcionaram a máxima adsorção de P em ordem decrescente foram: solo descoberto > guandu > crotalária > mucuna preta > *B. ruziziensis* > cerrado nativo. Os autores também constataram que os teores de MOS e a taxa de decomposição dos adubos verdes apresentaram correlação negativa com a adsorção de P, com coeficiente de correlação, respectivamente, de 0,705 ($p < 0,06$) e 0,983 ($p < 0,01$).

As características e tipos de raízes podem também influenciar na absorção de P. De acordo com Novaes et al. (2007) uma planta pode ser fonte de prótons, ou

acidificar sua rizosfera, bem mais que outra como também pode ser dreno de P, com grandezas variáveis até entre genótipos. A propriedade de acidificação da rizosfera de plantas sobre a solubilização dos fosfatos naturais é uma excelente ferramenta para se disponibilizar o P, as gramíneas possuem essa característica e podem diminuir o pH de 6,0 até 4,5 na rizosfera (RAIJ; DIEST, 1979). Essa estratégia pode estar sendo adotada pelas plantas dos cultivos B, M e M+B, aumentando a capacidade de extração de P, diminuindo, assim, os teores de fósforo no solo.

Menezes; Leandro (2004) que estudaram espécies de coberturas com potencial de uso de um Latossolo Vermelho Amarelo, em sistema de plantio direto, constataram que o milheto (*Pennisetum typhoides*) e a *Brachiaria ruziziensis* foram as espécies que mais removeram fósforo do solo, em relação as demais como feijão-de-porco (*Canavalia ensiforme*), mucuna rajada (*Stizolobium dierrigianum*), mucuna cinza (*Stizolobium muriens*), crotalária (*Crotalaria juncea*), trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) e aveia-preta (*Avena strigosa*).

Os altos teores de P no solo sob cultivo de feijão caupi são importantes, tanto para a planta quanto para a soja em sucessão, elemento que pode ter influências nos processos de nodulação e produtividade das culturas. Alkama et al. (2009) ao avaliar a eficiência de genótipos de feijão caupi no uso de P, observaram que houve maior produção de grão de massa de matéria seca de raízes e de nódulos decorrentes do aumento das quantidades de P fornecidos as plantas. Henry; Chinedu (2014) também observaram incremento na produtividade de feijão caupi com aumento nos teores de P no solo. Segundo Luyandula; Hague (1992) e Giller et al. (1998) para as leguminosas a deficiência de P interfere na nodulação, na fixação do N₂, no crescimento das plantas e na produtividade de grãos.

Na camada de 0,10 a 0,20 m não houve diferença significativa nos teores de P entre os tratamentos, mesmo assim houve padrão semelhante ao encontrado na primeira camada (Figura 51). Possivelmente o teor de MOS está causando, também, interferências na adsorção de P na segunda camada, principalmente MOS proveniente das raízes, com maior interferência nas duas primeiras camadas solo, possibilitando alterações nos teores de P.

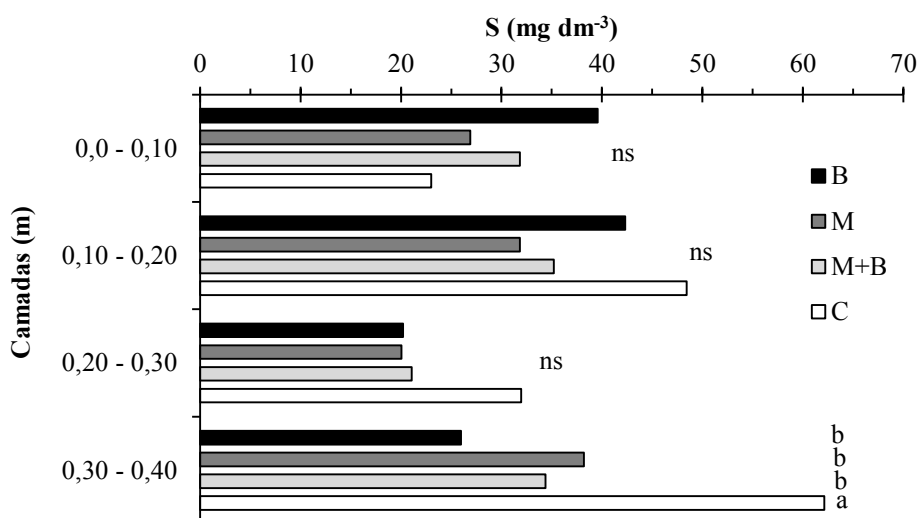
Na terceira e quarta camadas os maiores teores de P ocorreram sob B seguido de M+B, M e C (Figura 51). Os menores teores de P sob o feijão caupi

provavelmente são reflexos da maior retenção do fósforo em camadas superficiais diminuindo os teores desse elemento em profundidade.

Houve redução nas quantidades de P em maiores profundidades (Figura 51), redução que está associada à baixa mobilidade desse elemento no solo, resultando em maiores teores em camadas superficiais, onde há adição desse elemento na forma mineral e orgânica.

6.3.14 Enxofre (S)

Para os teores de enxofre no solo houve apenas efeito dos tratamentos na última camada (0,30 a 0,40 m) (Figura 52). O maior teor de enxofre ocorreu em C seguido de M, M+B e B que não diferiram entre si.



Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Figura 52. Comparação entre as médias dos teores de enxofre (S) no solo para os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C) nas camadas de 0,0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,40 m.

Os teores de enxofre podem ter variado, conforme a capacidade de extração desse elemento pelas plantas, podendo-se esperar que a utilização de gramíneas, como, o milho e a braquiária, promovam maior absorção desse elemento no solo, principalmente, devido ao sistema radicular, que nesse caso é mais volumoso e agressivo,

chegando a maiores profundidades em relação as raízes de plantas leguminosas como o feijão caupi.

Pode-se notar que onde se cultivou feijão caupi houve acúmulo de S na segunda, terceira e quarta camadas, justamente onde ocorreram reduções na macroporosidade (Figura 29) ao passo que a PT (Figura 28) permaneceu sem variações ao longo do perfil. É provável que a maior concentração de microporos em detrimento de macroporos tenha influenciado o acúmulo de S, fazendo com que ocorram maiores teores nas camadas citadas, por conta da menor movimentação da água no perfil tendo em vista que o gesso aplicado na superfície do solo movimenta-se, com facilidade ao longo do perfil, sob a influência da percolação da água (SORATTO, 2005). Segundo Baver et al. (1972), os macroporos são os principais responsáveis pela infiltração e circulação rápida da água e pela aeração do solo. Nestes poros de maior diâmetro o efeito da força da gravidade é o componente principal que rege o movimento da água. Bouma et al. (1977) afirmam que nos microporos, em virtude do tamanho muito reduzido, a água circula lentamente pela ação das forças capilares. Portanto, os microporos são os responsáveis pela retenção e distribuição da água no solo.

No tratamento B houve o mesmo comportamento encontrado em C para o enxofre no solo, ou seja acúmulo em camadas com redução do diâmetro de poros. Houve maiores teores de S na primeira e segunda camadas, as quais apresentaram redução da macroporosidade decorrente dos efeitos do pisoteio de dos animais na área (Figura 29), ressaltando que na primeira camada também ocorreram os menores valores de conteúdo de água no solo também (Figura 9). As menores concentrações de S em B, nas camadas abaixo de 0,20 m, devem-se ao fato de que melhores condições de drenagem estão ocorrendo nessa região do perfil, proporcionadas principalmente pela atividade e presença das raízes da forrageira, que após sua decomposição, melhoram o movimento de água no solo através dos bioporos, por onde o enxofre pode ser deslocado.

Nos cultivos de M e M+B, (Figura 52), percebe-se que houve menor acúmulo de S em relação ao C e B, provavelmente por haver melhores condições de drenagem ao longo do perfil sob esses cultivos também. Na camada de 0,0 a 0,10 m os cultivos que não foram submetidos ao pisoteio (C, M+B e M), houve menor acúmulo de S, reforçando a hipótese que o pisoteio pode estar promovendo menor migração desse elemento no solo, acumulando-se em regiões do perfil com menor movimentação de água. No cultivo C, pode-se notar que logo abaixo da primeira camada há, provavelmente, maior acúmulo de

S (Figura 52) à medida que se diminui a macroporosidade (Figura 29) e ocorre aumento da retenção de água no solo (Figura 10, Figura 11 e Figura 12).

Neis (2009), avaliando os efeitos da aplicação de gesso em SSP e PC, observou que a distribuição das chuvas no período da cultura da soja foi de alta intensidade podendo ser um dos responsáveis pelas variações nos teores de S-SO_4^{2-} no solo por favorecer a migração desse íon em profundidade, uma vez que a permanência do ânion sulfato ocorre quase que totalmente na solução do solo (DIAS et al., 1994). O teor do íon sulfato é influenciado pela precipitação pluvial, temperatura, adubação, manejo dos restos culturais e fertilizantes utilizados (NOGUEIRA; MELO, 2003). Portanto, fica implícito que houve influência do movimento da água no perfil, nos teores de S em profundidade, provenientes, em sua maioria, do gesso aplicado em superfície tendo em vista que o gesso é excelente fonte de S (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Os maiores teores de P (fosfato) (Figura 51) e maior pH (Figura 40) na camada de 0,0 a 0,10, podem estar influenciando, também, o deslocamento do sulfato em profundidade, pois há competição pelos sítios de adsorção, tendo em vista que o fosfato tem afinidade considerada forte, enquanto o sulfato moderado (HSU, 1989), resultando na redução dos teores de S em superfície (Figura 52). Segundo Malavolta (2006), a energia com que os ânions são adsorvidos é função da valência e do grau de hidratação, obedecendo a seguinte ordem decrescente: $\text{H}_2\text{PO}_4 > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$. Deve-se considerar, também, que houve adição de fosfato por conta da adubação na semeadura dos cultivos de outono-inverno e da soja no verão, portanto, na superfície há maior chance de ocorrer dessorção do sulfato. Segundo Hsu (1989), o sulfato é sempre retido menos fortemente que o fosfato por $\text{Al}(\text{OH})_3$ numa ampla faixa de pH. De acordo com Camargo; Raij (1989) e Quaggio et al. (1993) a elevação do pH promove a predominância de cargas líquidas negativas, que favorecem a movimentação do S-SO_4^{2-} . Para Raij et al. (1998) em camadas mais profundas o íon S-SO_4^{2-} é fortemente adsorvido, permanecendo no solo por muitos anos, principalmente em solos que contêm teores elevados de óxidos de ferro e alumínio.

Em relação à adsorção do sulfato há também os fatores ligados às características eletroquímicas das partículas coloidais do solo. Marsh et al. (1987) consideram que a ligação entre o sulfato e a superfície do colóide tem um grande componente eletrostático na ligação, com pouca adsorção ocorrendo na ausência de cargas positivas, no entanto, a ligação não é inteiramente não específica, pois os autores observaram forte seletividade para adsorção de sulfato sobre ânions adsorvidos não especificamente. Segundo

estes autores, este comportamento seria consistente com a hipótese de que a adsorção de sulfato ocorre num plano o qual seria mais próximo da superfície que o plano de adsorção não específica, porém, claramente distinto da superfície, ou seja, na camada de Stern.

A camada de Stern mais próxima à superfície do coloide, é representada pelos íons adsorvidos. A espessura da camada de Stern leva em consideração um tamanho finito para os íons dispostos na camada adjacente à superfície da partícula (ALLEONI et al., 1994). Os íons que irão ser adsorvidos no colóide obedecem à série liotrófica dando ao íon energia de interação específica, ou seja, quanto maior a valência e raio iônico, maior será a força de atração elétrica pela superfície do colóide. Assim, a espessura da dupla camada difusa, dependerá da valência do íon em solução e sua concentração no meio.

Como houve aumento nos teores de enxofre (sulfato) nas camadas abaixo de 0,10 m sob o cultivo de feijão caupi (Figura 52), é possível que esse esteja adsorvido em maior quantidade na superfície do colóide na camada de Stern. A maior redução da espessura da dupla camada difusa ocorre com a adsorção de íons de maior valência ou pela maior concentração do mesmo, conferindo maior força de atração entre as partículas coloidais, promovendo assim, floculação. A menor quantidade de argila dispersa em água foi observada em C (Figura 8), portanto, é possível que o sulfato esteja ligando-se aos colóides através da camada de Stern, promovendo, conseqüentemente, maior estabilidade das partículas.

Segundo Wadt (2000) as reações envolvendo tanto a adsorção do sulfato, quanto a precipitação do alumínio no solo, poderiam levar a processos que diminuem a disponibilidade de sulfato para lixiviar, afetando assim a movimentação dos cátions acompanhantes como o cálcio por exemplo. Este mesmo autor avaliando alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo tratado com CaSO_4 , verificou maior adsorção de sulfato em subsuperfície, onde as propriedades eletroquímicas dos minerais de argila predominam sobre as propriedades dos colóides orgânicos, a reação predominante do sulfato da superfície para a subsuperfície foi provavelmente a sua adsorção química na superfície dos óxidos (camada de Stern) presentes no solo.

Ritchey et al. (1980) consideram que a liberação de hidroxilas causada pela adsorção de sulfato promoveria a neutralização de parte do alumínio trocável. Conseqüentemente, este passaria para uma fase imóvel, indisponível para lixiviar. Como descrito no item 6.3.8 sobre saturação por alumínio, é possível que essas reações possam

estar influenciando também a atividade do alumínio no solo. Nota-se que os maiores valores de saturação por alumínio (Figura 46) ocorreram juntamente com os altos teores de enxofre no solo (Figura 52), é possível que o sulfato esteja ligado ao colóide na camada de Stern, deixando de interagir com o alumínio, contribuindo para aumento da saturação desse elemento, podendo resultar, também, em mudanças no pH do solo também (Figura 40).

Portanto a maior adsorção de sulfato sob o cultivo de feijão caupi pode estar relacionada com a quantidade e qualidade da cobertura fornecida por esse cultivo, e também com a atividade das raízes em fornecer ácidos orgânicos nos processos de absorção de nutrientes, comparando-se com as gramíneas. De acordo com Motavalli et al. (1993), o mecanismo de adsorção de sulfato na camada de Stern seria mais consistente com resultados que apontam que a adsorção de sulfato seria diminuída pela adição de materiais orgânicos ao solo, notadamente daqueles com maior relação C:N, de mais difícil decomposição, que ao formarem compostos húmicos, competiriam com o sulfato pelos sítios de adsorção. Spark et al. (1997) constataram que a adsorção de ácido húmico esteve relacionada com a natureza das cargas de superfície de minerais como goetita, alfa-alumina, caulinita e silicatos: superfícies carregadas positivamente absorveram ácidos húmicos a uma maior proporção que aquelas carregadas negativamente. Portanto a superfície dos óxidos carregados positivamente pode também estar revestida por substâncias orgânicas. Nesse ambiente, a adsorção de ânion sulfato seria dificultada. Marsh et al. (1987) verificaram que há pouca ou nenhuma adsorção de sulfato na ausência de sítios de carga positiva, indicando ser o sulfato adsorvido pelos sítios de carga positiva. Segundo Nodvin et al. (1986) o carbono orgânico também compete com sulfato pelos sítios de adsorção do solo.

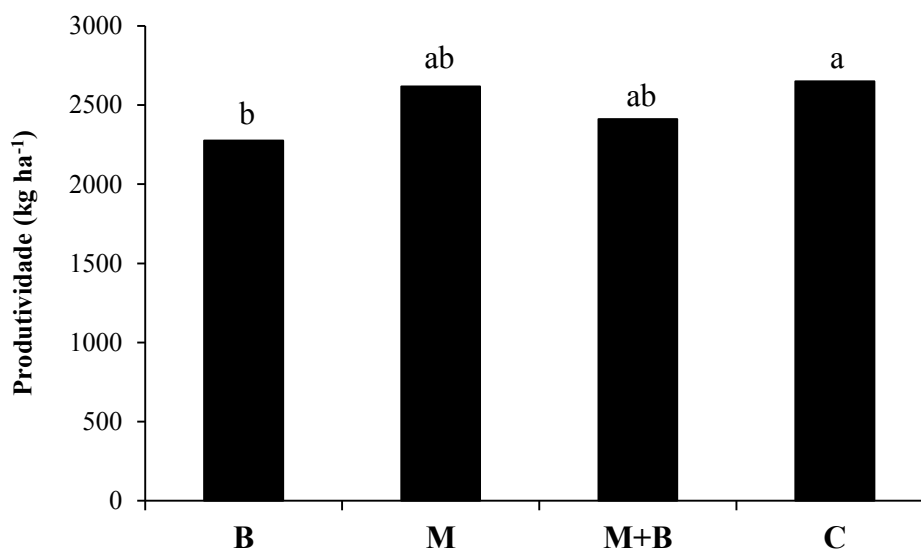
6.4 Produtividade da soja

Na Tabela 12 é apresentada o valor p e CV(%) para produtividade de soja, houve efeito significativo para tratamento.

Tabela 12. Valores p e CV(%) do teste de F da variável de produtividade da soja.

F.V.	Produtividade da soja
Trat.	0,0286
CV(%)	8,76

Na Figura 53 são apresentados os dados de produtividades da soja cultivada sobre cada tratamento de outono-inverno. Os cultivos C, M e M+B proporcionaram as maiores produtividades não havendo diferença entre esses. A produtividade da soja em B não foi diferente se comparado ao M e M+B, apenas foi menor quando comparado com o cultivo C.



Barras seguida de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 53. Valores médios de produtividade de soja cultivada sobre os tratamentos *B. ruziziensis* (B), milho (M), milho + *B. ruziziensis* (M+B) e feijão caupi (C).

A soja cultivada no tratamento C mostrou produtividade semelhante aos cultivos M e M+B, que proporcionaram as melhores condições de porosidade e agregação do solo em relação ao tratamento C. A produtividade da soja em C pode estar sendo compensada, possivelmente, pelo maior teor de S nas camadas abaixo de 0,10 m (Figura 52) e de P na camada superficial (Figura 51). Efeitos positivos do aumento dos teores de enxofre foram observados por Broch et al. (2011), que verificaram que a soja necessita deste nutriente para a obtenção de altas produtividades. Moda et al. (2013) verificaram que a aplicação de enxofre pelo gesso no solo melhora o estado nutricional da cultura da soja em potássio, cálcio e enxofre. O S participa de aminoácidos essenciais e de várias coenzimas, sua deficiência interrompe a síntese de proteínas resultando em menor produção (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Maior produtividade da soja poderia ter ocorrido em C tendo em vista que na superfície de 0,0 a 0,10 m o teor de fósforo foi, aproximadamente, o dobro do encontrado em M (Figura 51). Como abordado anteriormente no item 6.3.13 a respeito fósforo, segundo Luyandula; Hague (1992) e Giller et al. (1998) a nodulação em plantas leguminosas é influenciada pelo suprimento de P, podendo interferir positivamente no crescimento das plantas e na produtividade de grãos, quando há boa disponibilidade e quantidade desse nutriente no solo.

Além disso, como principalmente no período de floração e enchimento de grãos da soja houve boa distribuição de chuva e o maior período sem precipitação foi de 12 dias (19/01/2013 à 31/01/2013) (Figura 6), possivelmente as boas condições de umidade do solo, podem ter contribuído para que as plantas não diminuísse significativamente seu potencial produtivo no tratamento C, tendo em vista que esse cultivo proporciona, comparativamente, menor cobertura para o solo. A boa distribuição das chuvas (Figura 5 e Figura 6) pode ter mascarado os efeitos benéficos que a maior quantidade de cobertura fornecida pela consorciação, proporciona ao solo, como menor amplitude térmica e evaporação de água do solo, uma vez que visualmente o solo esteve por mais tempo descoberto nos tratamentos C e M. Associado a isso a maior retenção de água em profundidade, no feijão caupi, pode ter contribuído para melhor suprimento de água para a soja em períodos com restrição de precipitação. Contudo, em períodos prolongados de estiagem, a maior retenção de água no solo em C pode não ser tão favorável para manutenção do teor de água no solo, em relação aos benefícios conferidos pela maior quantidade de cobertura na superfície.

A menor produtividade da soja no tratamento B (Figura 53) pode estar sendo influenciada pelo adensamento na camada superior (0,0 a 0,10 m) em relação aos demais tratamentos (Figura 17), decorrente em grande parte do pisoteio dos animais na área. Contudo vários trabalhos com integração lavoura-pecuária mostram que o adensamento superficial causado pelo pisoteio dos animais não promove reduções na produtividade da soja em sucessão.

Flores et al. (2007) observaram que o pastejo em Latossolo Vermelho aumentou a densidade e reduziu a porosidade mas não influenciou o rendimento da soja após o pastejo. Lunardi et al. (2008), avaliando a intensidade de pastejo sobre azevém (*Lolium multiflorum*), cultivado em um Argissolo Vermelho distrófico típico, verificaram que a soja

cultivada após pastagem de inverno apresentou rendimento de grãos superior à soja cultivada após cobertura do solo, sem pastejo.

A redução na produtividade da soja no tratamento B é devida, também, ao pequeno tempo de intervalo entre os pastejos (primavera-verão). Durante cinco anos no presente trabalho vem sendo realizada a sucessão pastejo/soja (B) com pastejo intensivo dos animais na área, diferentemente de um sistema de integração lavoura-pecuária que corretamente adota no mínimo de dois anos sem entrada de animais na área. Esse pode ter sido o fator que determinou o adensamento superficial, a menor porosidade e produtividade da soja em relação aos demais tratamentos. Nicoloso et al. (2006), utilizando pastagem de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) consorciada com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), manejada em diferentes alturas de pastejo, verificaram redução no rendimento de grãos de soja com o aumento da frequência de pastejo e em relação a área não pastejada. Estes autores ainda concluem que a soja em monocultivo de verão exige um manejo das pastagens de inverno menos intensivo a fim de que se obtenha boa adição de palha para cobertura do solo.

7. CONCLUSÕES

Os cultivos de outono-inverno promovem mudanças distintas na qualidade física e química do solo, principalmente as relacionadas com o comportamento da água e concentração de alguns nutrientes como o fósforo e enxofre no solo.

O cultivo do feijão caupi promove diminuição na estabilidade dos agregados, aumento da fração de agregados de menor tamanho e da porosidade de retenção de água e maior adsorção de fósforo nas camadas superficiais.

A consorciação do milho com a braquiária tem maior potencial em promover melhorias na agregação do solo comparado ao milho solteiro, principalmente em camadas mais profundas.

A utilização da *B. ruziensis* para pastejo e para consorciação com o milho favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo, principalmente na camada de 0,0 a 0,10 m.

O cultivo de *B. ruziensis* com pastejo anual sistemático promovem alterações nas camadas superficiais como adensamento, redução da macroporosidade e consequentemente da produtividade da soja em sucessão.

A soja não apresenta diferenças na produtividade quando cultivada sobre os cultivos de milho consorciado com *B. ruziensis*, milho solteiro e feijão caupi.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, C. L.; SHARMA, P. D. Tillage and mulch effects on soil physical environment, root growth, nutrient uptake and yield of maize and wheat on na Alfison in north-west India. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 32, p. 291-301, 1994.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Modelos de dupla camada difusa de Gouy-Chapman e Stern aplicados a Latossolos ácricos paulistas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 315-320, 2000.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 923-934, 2005.

ALKAMA, N.; BOULOU, R. B. B.; VAILHE, H.; ROGER, L.; OUNANE, S. M.; DREVON, J. J. Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. *Soil Biology & Biochemistry*, **Elmsford**, v. 41, p. 1814-1823, 2009.

ARAUJO, J. P.; RIOS, G. P.; WATT, E. E.; NEVES, B. P.; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; SILVEIRA FILHO, A. **Cultura do caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp; descrição e recomendações técnicas de cultivo**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 82 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 18).

AZIZ, I.; MAHMOODB, T.; ISLAM, R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 131, p. 28-35, 2013.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, C. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 7-18.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, p. 341-358, 1990.

BERNARD, S. M., HABASH, D. Z., 2009. The importance of cytosolic glutamine synthetase in nitrogen assimilation and recycling. **New Phytologist**, Lancaster, v. 182, n. 3, p. 608-620, 2009.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 581-588, 2004.

BIASSANI, C.; MEURER, E. J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Genesis, 2008. p. 163-183.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; REGAZZI, A. J.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, p.553-568, 1988.

BOUMA, J.; JONGERIUS, A.; BOERSMA, O.; JAGER, A.; SCHOONDERBEEK, D. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soil horizons. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 5, p. 945-950, 1977. BAYER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. New York: John Wiley, 1972. 498 p.

BRANDT, A. A. **Propriedades mecânicas de solo franco arenoso sob distintos sistemas de preparo, tráfego mecanizado e resíduos vegetais**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VIEGA, M.; REINERT, D. T. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n.4, p. 605-614, 2006.

BROCH, D. L.; PAVINATO, P. S.; POSSENTI, J. C.; MARTIN, T. N.; QUIQUI, E. M. D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.

CAIRES, 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, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, 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, v. 27, n. 2, 2003.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 33, p. 242-249, 2010.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento de gesso em amostras de solo com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 275-280, 1989.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARTER, M. R. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, p. 37-51, 1988.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 192, p. 37-48, 1997.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SOUSA JUNIOR, J. G. A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2831-2838, 2008.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 16, n. 97, p. 17-20; jan./fev. 2007.

CECCON, G.; RICHETTI, A.; SEREIA, R. C.; LUIZ NETO NETO, A.; FONSECA, I. C.; LEITE, L. F. Safrinha em SPD nas condições do Mato Grosso do Sul. **Granja**, Porto Alegre, RS, v. 753, p. 63-65, nov. 2011.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 17-27, 2011.

COELHO, A. M.; FRANCA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Nutrição e adubação da cultura do milho. Sistemas de produção: EMBRAPA: Milho e Sorgo. Versão eletrônica, 8 ed. out. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/feraduba.htm>. Acesso em: 23 nov. 2013.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_08_12_38_56_boletim_por_tugues_outubro_2013.pdf2013>. Acesso em: 10 dez. 2013.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R. WESP, C. L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

COSTA, A. S. V.; SILVA, M.B.; GALVÃO, E. R.; RUFINI, J. C. M.; MONTEIRO, C. L. O. Alterações na Capacidade de Retenção de Água no solo após a aplicação de resíduo sólido proveniente de uma fábrica de celulose. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

COSTA JUNIOR, C.; CORBEELS, M.; BERNOUX, M.; PÍCCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; SCOPEL, E.; LAL, R. Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 134 p. 207-212, 2013.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 1, n. 100, p. 10-14, 2007.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; BICUDO, S. J.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; MACHADO, C. G. Consórcio de milho e *Brachiaria decumbens* em diferentes preparos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 633-639, 2009.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, vol.13, p. 855-864, 2009.

DIAS, L. E.; CARVALHO, L. J. C. B.; RITCHEY, K. D. Avaliação da deficiência de Ca em diferentes solos de cerrado, por meio de crescimento de raízes. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 32, p. 102-109, 1985.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. H.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 18, p. 373-380, 1994. DAO, T. H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 141-148, 1996.

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Effect of simulated dairy cow treading on soil physical properties and ryegrass pasture yield. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington v. 44, p. 181-190, 2001.

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - a review. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 46, p. 237-256, 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997, 112 p.

EMBRAPA. **Guia clima - estação da Embrapa Agropecuária Oeste – Dourados/MS**. Disponível em: <<http://mob.cpao.embrapa.br/?lc=site/banco-dados/construtor-basico>>. Acesso em: 19 dez. 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**: Princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 401 p.

ESS, D. R.; VAUGHAN, D. H.; PERUMPRAL, J. V. Crop residues and root effects on soil compaction. **Transactions of the American Engineering Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 41, n. 5, p. 1271-1275, 1998.

FEBRAPDP. **Brasil - evolução da área cultivada em plantio direto 1972/73 à 2005/06**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/ev_plantio_brasil.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2013.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de *Brachiaria ruziziensis*, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, 2013.

FIETZ, R. C.; FISCH, G. F. **O clima da região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

FLORES, J. P. C.; ANCHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 771-780, 2007.

FREITAS, R. C. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom**. 2011. 50 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 29-92.

FREITAS, P. L.; BLANCANEAU, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

FONTES, M. R.; WEED, S. B.; BOWEN, L. H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some oxisoils from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison v. 56, p. 982-990, 1992.

GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J.A. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.1-13, 2004.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, 2010.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis I**. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 383-411.

GILLER K.; AMIJEE, F.; BRODERICK, S.; EDJE, O. Environmental constraints to nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. in Tanzania. II: Response to N and P fertilizers and inoculation with rhizobium. **African Crop Science Journal**, Uganda, v. 6, p. 171-178, 1998.

GIJSMAN, A. J. Soil aggregate stability and soil organic matter fractions under agropastoral systems established in native savanna. **Australian Journal Soil Research**, Collingwood, v. 34, p. 891-907, 1996.

GLOAGUEN, T. V.; PEREIRA, F. A. C.; GONÇALVES, R. A. B.; PAZ, V. S. Sistema de extração sequencial da solução na macro e microporosidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.5, p.544-550, 2009.

HENRY, A. E.; CHINEDU, P. P. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) response to phosphorus fertilizer under two tillage and mulch treatments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 136 p. 70-75, 2014.

HOBBS, P. R.; OBENDORF, R. L. Interaction of initial seed moisture and imbibitional temperature on germination and productivity of soybean. **Crop Science**, Madison, v.13, n.4, p.664-667, 1972.

HSU, P. H. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 331-378.

JANTALIA, C. P.; VILELA, L.; ALVES, B.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Influência de pastagens e sistemas de produção de grãos, no estoque de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho**. Seropédica; Embrapa Agrobiologia, 2006. 50 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 11).

JEMAI, I.; AISSA, N. B.; GUIRAT, S. B.; BEN-HAMMOUDA, M.; GALLALI, T. Impact of three and seven years of no-tillage on the soil water storage, in the plant root zone, under a dry subhumid Tunisian climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 26-33, 2013.

KADŽIENĖ, G.; MUNKHOLM, L. J.; MUTEGLI, J. K. Root growth conditions in the topsoil as affected by tillage intensity. **Geoderma**, Amsterdam, v. 166, p. 66-73, 2011.

KAHLON, M. S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 151-158, 2013.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 499-522.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W. P.; WEED, S. B. Flocculation of kaolinitic soil clays: effects of humic substances and iron oxides. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 57, p. 1277 - 1287, 1993.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO R. D. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 415-423, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LINDHAUER, M. G. The role of potassium in the plant with emphasis on stress conditions (water, temperature, salinity). In: Proceedings of the potassium symposium. Pretoria, 1985. **Proceedings**. Pretoria, International Potash Institute and Fertilizer Society of South Africa, 1985. P. 95-113.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 69, p. 2041-2048, 2005.

LÓPEZ, M. V.; MOURE, N. B.; LIMÓN, M. A.; GRACIA, R. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 118, p. 61-65, 2012.

LUNARDI, CARVALHO, P. C. F.; TREIN, C. R.; COSTA, J. A.; CAUDURO, G. F.; BARBOSA, C. M. P.; AGUINAGA, A. A. Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 795- 801, 2008.

LUPINACCI, A. V. **Reservas orgânicas, índice de área foliar e produção de forragem em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a intensidades de pastejo por bovinos de corte**. 2002. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2002.

LUYANDULA, N.; HAGUE, I. Effect of *Rhizobium* and phosphorus on growth and nitrogen fixation in tree legumes grown in highland vertisols. In: MULONGOY, K.; GUEY, M.; SPENCER, D. S. C. (Eds.). **Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture**, A Wiley-Sayce Co-Publication, 1992, p. 109-112.

MACEDO A.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S. A tomografia computadorizada na avaliação da qualidade física do solo. In: MORAES, M. H. **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2001. cap. 3, p. 47-69.

MACHADO, L. A. M.; FABRÍCIO, A. C.; ASSIS, P. G. G.; MARASCHIN, G. E. Estrutura do dossel em pastagens de capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1495-1501, 2007.

MAPA. **Programa ABC - agricultura de baixo carbono**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/programa-abc>>. Acesso em: 6 dez. 2013.

MAPA. **Estatística de comércio exterior - balança comercial**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura-pecuária num latossolo do cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2007.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARSH, K. B.; TILLMAN, R. W.; SYERS, J. K. Charge relationships of sulfate sorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 318-323, 1987.

MARTÍNEZ, E.; FUENTES, J. P.; SILVA, P.; VALLE, S.; ACEVEDO, E. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, p. 232-244, 2008.

MELLO, L. M. M. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico**. 2001, 72 f. Tese (Livre Docência) – Universidade Paulista Julho de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2001.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 369-374, 1991.

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 58, p. 107-123, 1993.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285 p.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. P. 281-298.

MICHELON, C. J. **Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão**. 2010, 109 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2010.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p. 1-8.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: International symposium on plant-soil interactions at low pH, 4, Belo Horizonte, 1996. **Abstracts**. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 8.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2000. 16p. (Informações Agronômicas, 92).

MODA, L. R.; BORGES, B. M. M. N.; FLORES, R. A.; SANTOS, C. L. R.; PRADO, R. M.; SOUSA, J. I. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 129-135, 2013.

MOTAVALLI, P. P.; DUXBURY, J. M.; SOUZA, D. M. G. The influence of organic soil amendments on sulfate adsorption and sulfur availability in a Brazilian oxisol. **Plant and Soil**, v. 154, p. 301-308, 1993.

MUPANGWA, W.; TWOMLOWA, S.; WALKER, S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam v. 132, p. 139-148, 2012.

NODVIN, S. C.; DRISCOLL, C. T.; LIKENS, G. E. Simple partitioning of anions and dissolved organic carbon in a Forest soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 142, p. 27-35, 1986.

NEIS, L. **Gesso agrícola em sistemas de manejo do solo e produtividade de soja na região do sudoeste de Goiás**. 2009. 49 f. Exame de Qualificação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Goiás, Jataí. 2009

NICOLOSO, R. S.; LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1799-1805, 2006.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 655-663, 2003.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p. 471-550.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 21, Petrolina, 1994. **Anais**. Petrolina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPATSA, 1994. p. 178.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, n. 3, p. 139-150, 1991.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 79-84, 2004.

PITTA, G. V. E.; COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; MAGALHÃES, J. V. Calagem e gessagem na cultura do milho. Sistemas de produção: EMBRAPA: Milho e Sorgo. Versão eletrônica, 2 ed. dez. 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/fercalagem.htm>. Acesso em: 23 nov. 2013.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Resposta da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. van.; van DIEST, A. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 51, p. 577-589, 1979.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: IAC. 1996. 279 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 101-108, 1998.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n.27, p. 29-48, 2003.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 9 p. (Documentos, 205).

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, p. 131-146, 2002.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 96 p. 316-330, 2007.

RIBEIRO, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V.; V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5a aproximação**. UFV: Viçosa, MG, 1999, 359p.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a brasilian savannah oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-42, 1980.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Lixiviação de cálcio e magnésio em solos. Em: **Acidez e Calagem no Brasil**. p. 109-125. van RAIJ, B.; BATAGLIA, O. C.; SILVA N. M. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Instituto Agrônômico. Campinas, 1983, 361p.

RODRIGUES, C. A.; SILVEIRA, J. A. G.; BONIFACIO, A. FIGUEIREDO, M. V. B. Metabolism of nitrogen and carbon: Optimization of biological nitrogen fixation and cowpea development. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 67, p. 226-234, 2013.

RODRIGUES, A. C., BONIFACIO, A., ANTUNES, J. E. L., SILVEIRA, J. A. G., FIGUEIREDO, M. V. B. Minimization of oxidative stress in cowpea nodules by the interrelationship between Bradyrhizobium sp. and plant growth-promoting bacteria. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 64, p. 245-251, 2013.

SADRAS, V. O.; O'LEARY, G. J.; ROGET, D. K. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 91, p. 131-148, 2005.

SPARK, K. M.; WELL, J. D.; JOHNSON, B. B. Characteristics of the sorption of humic acid by soil minerals. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 35, p. 103-112, 1997.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 129-136, 2009.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochimophysics**, Pretoria, v. 4, p. 1-6, 1972.

ROSA JUNIOR, E. J.; L MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, p. 37-44, 2006.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C.; Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, 2012.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; FERREIRA, P. A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, Valdivia, v. 6, p. 1-12, 2006.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavou-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, L. D. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.

SEMEATO. **PAR**. Passo Fundo, 2012. Disponível em: <<http://www.semeato.com.br/produtos/detalhes/par>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

SEREIA, R. C.; LEITE, L. F.; ALVES, V. B.; CECCON, G. Crescimento de *Brachiaria* spp. e milho safrinha em cultivo consorciado. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 18, p. 349-355, 2012.

SIBANDA, H. M.; YOUNG, S. D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal of Soil Science**, Oxford v. 37, p. 197-204, 1986.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society America Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde - milho e adsorção de fósforo em latossolo vermelho – escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n.6, p 649-654, 1997.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 113-117, 1997.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 97-103, 1998.

SILVA, Á. M.; NAIME, J. M.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E. Tomografia computadorizada de raios X e gama para investigação não-invasiva do solo. In: MARTIN NETO, L.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S. **Instrumentação avançada em ciência do solo**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. cap. 4, p. 159-225.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Genesis, 2008. p. 63-92.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto**. 2005. 173 f. (Doutorado em Agronomia) -Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUTO, S. M.; ARONOVICH, S. **Sombreamento em Forrageiras. Aspectos aagronômicos e microbiológicos**. Seropédica: Embrapa CNPBS, 1992, 43 p. (Embrapa CNPBS. Documentos, 10).

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L., 1. ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TECNOLOGIAS de produção de soja - região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 15).

TISDALL, J. M.; OADES, L. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.

TOLON-BECERRA, A.; TOURN, M.; BOTTA, G. F.; LASTRA-BRAVO, X. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 184-190, 2011.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 573-581, ago. 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. D. C.; DEXTER, A. R. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, p. 56-60, 2008.

TORMENA, C. A. Atributos físicos e qualidade física do solo que afetam a produtividade da cultura do milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10, 2009, Rio Verde. **Anais...** Rio Verde, GO: FESURV, 2009. p. 75-88.

TOLLNER, E. W.; HARGROVE, W. L.; LANGDALE, G. W. Influence of conventional and no-tillage practices on soil physical properties in the southern Piedmont. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.39, p.73-76, 1984.

UGALDE, O. F.; VIRTO, I.; BESCANSÀ, P.; IMAZ, M. J.; ENRIQUE, A.; KARLEN, D. L. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, p. 29-35, 2009.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

van GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-897, 1980.

WADT, P. G. Alterações eletroquímicas de um Latossolo vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 519-524, 2000.

WILLADINO, L.; CÂMARA, T. J. R.; GALINDO, R. M. P.; GUEDES, R. M. M.; MICHEREFF, S. J. Sistema vascular e exsudatos radiculares. In: SAMI J.; MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. ed. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife, PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. P. 19-40.

ZHANG, B.; HE, H.; DING, X.; ZHANG, X.; ZHANG, X.; YANG, X.; FILLEY, T. R. Soil microbial community dynamics over a maize (*Zea mays* L.) growing season under conventional- and no-tillage practices in a rainfed agroecosystem. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, p. 153-160, 2012.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.

9. APENDICES



Apendice 1. Cultivo de *Brachiaria ruziziensis*, 14/05/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 2. Cultivo de milho consorciado com *B. ruziziensis* (esquerda) e milho solteiro (direita) 14/05/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 3. Tratamento feijão caupi 14/05/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 4. Pastejo sobre *B. ruziziensis*. 14/05/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 5. Cultivo de *Brachiaria ruziziensis*, 14/05/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 6. Cultivo de *Brachiaria ruziziensis*, 14/05/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 7. Restos culturais do feijão caupi 10/07/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 8. *B. ruziziensis* (esquerda) e feijão caupi (direita) 10/07/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 9. Milho solteiro (esquerda) M+B (direita) 10/07/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 10. Detalhe da braquiária entre o milho. 10/07/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 11. Pastejo no tratamento B, 10/07/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 12. Detalhe do pisoteio no tratamento B, 10/07/2012. Foto: arquivo pessoal.



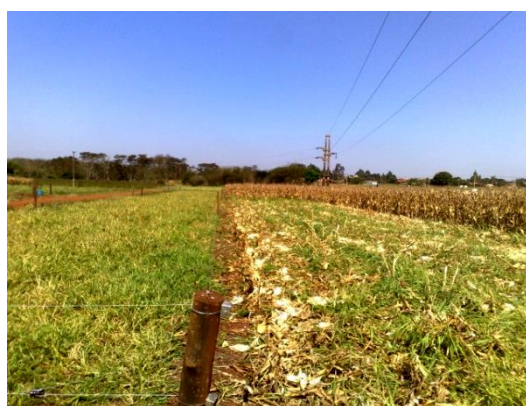
Apendice 13. Colheita do milho (M+B)
06/08/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 14. Colheita do milho (M+B)
06/08/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 15. Milho solteiro (esquerda) M+B
(direita) 06/08/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 16. Divisa de serca entre *B. ruziziensis* e M+B. 06/08/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 17. Cultivo de M+B em ponto de
colheita, 06/08/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 18. Restos culturais de feijão caupi,
06/08/2012. Foto: arquivo pessoal.



Apêndice 19. Soja sobre o tratamento B
22/12/2012. Foto: Gessi Ceccon.



Apêndice 20. Soja sobre o tratamento M
22/12/2012. Foto: Gessi Ceccon.



Apêndice 21. Soja sobre o tratamento M+B,
22/12/2012. Foto: Gessi Ceccon.



Apêndice 22. Soja sobre o tratamento C,
22/12/2012. Foto: Gessi Ceccon.



Apêndice 23. Coleta de solo, 12/12/2012.
Foto: Gessi Ceccon.



Apêndice 24. Vista da trincheira, 12/12/2012.
Foto: arquivo pessoal.



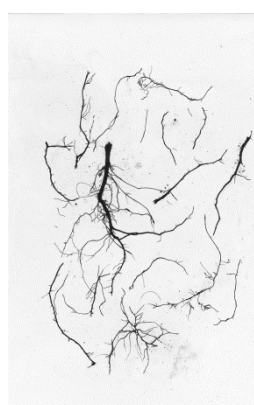
Apendice 25. Medição da resistência à penetração. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 26. Detalhe da penetração da haste. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 27. Detalhe do escaneamento das raízes de soja. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 28. Imagem digitalizada das raízes de soja. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 29. Mesa de tensão. Foto: arquivo pessoal.



Apendice 30. Análise de argila dispersa em água. Foto: arquivo pessoal.