

**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**VAGNER DO NASCIMENTO**

**IMPACTOS DO MANEJO DE UM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO  
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO  
“DE INVERNO” EM SUCESSÃO E NOS ATRIBUTOS DO SOLO**

Ilha Solteira

2015

**VAGNER DO NASCIMENTO**

**IMPACTOS DO MANEJO DE UM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO  
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO  
“DE INVERNO” EM SUCESSÃO E NOS ATRIBUTOS DO SOLO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus  
de Ilha Solteira - UNESP como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Doutor em Agronomia.  
Especialidade: Sistemas de Produção.

**Prof. Dr. Orivaldo Arf**

Orientador

**Profa. Dra. Marlene Cristina Alves**

Co-Orientadora

Ilha Solteira

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- N244i Nascimento, Vagner do.  
Impactos do manejo de um sistema plantio direto no crescimento e produtividade do arroz de terras altas e feijão “de inverno” em sucessão e nos atributos do solo / Vagner do Nascimento. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015  
196 f. : il.
- Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2015
- Orientador: Orivaldo Arf  
Co-orientador: Marlene Cristina Alves  
Inclui bibliografia
1. Phaseolus Vulgaris L.. 2. Oryza Sativa L.. 3. Compactação do solo. 4. Qualidade do solo. 5. Planta de cobertura. 6. Escarificação.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Impactos do manejo de um sistema plantio direto no crescimento e produtividade do arroz de terras altas e feijão "de inverno" em sucessão e nos atributos do solo

**AUTOR:** VAGNER DO NASCIMENTO

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. ORIVALDO ARF

**CO-ORIENTADORA:** Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,  
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ORIVALDO ARF

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ELCIO HIROYOSHI YANO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LAZARINI

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. PEDRO MARQUES DA SILVEIRA

Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. LUIS FERNANDO STONE

Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Data da realização: 08 de setembro de 2015.



## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais José e Cecília, e principalmente minha futura esposa Milka, por ter gerado meu querido filho Eduardo, assim, sempre me garantiram total apoio, incentivo, compreensão e carinho, proporcionando todas as condições necessárias para que eu pudesse alcançar meus objetivos. À vocês, ofereço sempre minha eterna gratidão, meu sincero amor, respeito e, principalmente minha total admiração pelo exemplo de vida.

Àos meus irmãos Márcio e Juliana, meus cunhados Danilo e Claudia, meu afilhado Leonardo por sua presença importantíssima em minha vida, tornando os dias mais agradáveis, pelas palavras de incentivo, pelos conselhos, pelas vivências inesquecíveis, e por todo o carinho.

À minha falecida avó Inês, pelo amor incondicional, por todo o cuidado que teve oferecido a mim durante todos estes anos, pela pessoa admirável que foi e por ser essencial em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela graça e benção concedidos, por estar presente em todos os momentos da minha vida e iluminar meus caminhos;

Ao orientador Prof. Dr. Orivaldo Arf e a Co-orientadora Profa. Dra. Marlene Cristina Alves, pelo profissionalismo, competência, amizade, conselhos, empenho, pela confiança em mim depositada e pela liberdade de ações na realização deste e de outros trabalhos desenvolvidos. Seus exemplos serão referência para todo meu futuro, onde certamente todos os ensinamentos serão sempre lembrados. Sou muito grato por tudo e me orgulho muito em tê-los como orientadores e amigos;

À Faculdade de Engenharia (FE/Unesp) – Campus de Ilha Solteira, meus sinceros agradecimentos pelas condições oferecidas e possibilidade de engrandecimento profissional;

Aos Departamentos de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia e Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos pelo apoio.

**À FAPESP pela concessão de bolsa de Doutorado durante 36 meses (PROCESSO: 2012/05945-0) e pelo apoio financeiro concedido para a realização do projeto de pesquisa;**

**À CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado durante 6 meses;**

Aos professores Ricardo Ferreira Rodrigues, Morel de Passos e Carvalho, Luiz Malcolm Mano de Mello, Salatier Buzetti, Elcio Hiroyoshi Yano, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, Rafael Montanari, Antonio César Bolonhezi, Marco Eustaquio de Sá, Edson Lazarini e Maria Aparecida Anselmo Tarsitano pela disponibilidade em auxiliar, sempre que necessário, na condução e avaliação da presente pesquisa;

A todos os funcionários da FE/Unesp – Campus de Ilha Solteira, sendo em especial: Carlinhos e João (Técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo), Valdivino e Diego (Técnicos do Laboratório de Física do Solo) e Marcelo (Técnico do Laboratório de Nutrição de Plantas) pela amizade e auxílio na realização de análises em seus respectivos laboratórios;

À Fazenda de Ensino e Pesquisa da FE/Unesp – Campus de Ilha Solteira, assim como a todos os seus funcionários, pelo auxílio na concessão da área experimental e de condições para a realização do trabalho;

Ao Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da FE/Unesp – Campus de Ilha Solteira, em especial, o diretor João Josué Barbosa pelo auxílio na normatização e elaboração da ficha catalográfica dessa tese;

Aos amigos Flávio, Epitácio, Paulo Ricardo, João, Carolina, Renato, Fabiana, Michelle, José, Douglas, Sebastião, Caroline Perucchi, João Pedro e Eder pelo carinho, amizade e inestimável ajuda no desenvolvimento deste projeto; Enfim, a todos àqueles que mantiveram ótimos relacionamentos de amizade, bem como, aos que deram sua importante contribuição para minha formação acadêmica e profissional e pelos momentos de descontração.

A toda minha família, em particular aos meus tios Cicero Gonzaga Barreto, José Luiz do Santos Nogueira, Andriano do Santos Nogueira por todo amor, dedicação, confiança, pelos ensinamentos e pelo carinho em todos os momentos dessa trajetória.

## RESUMO

O planejamento da sucessão de culturas aliada a cultivos de plantas de cobertura na entressafra e a descompactação mecânica são opções para minimizar a compactação na camada superficial do solo bem como proporcionar melhorias nos atributos do solo em sistema plantio direto (SPD), contribuindo para a sustentabilidade do sistema de produção. Assim, objetivou-se quantificar o efeito da descompactação mecânica do solo, no desenvolvimento e produtividade das plantas de cobertura na primavera em SPD, e também no crescimento e produtividade das culturas do arroz de terras altas e feijão “de inverno” em sucessão, além das alterações nos atributos químicos e físicos do solo, após cada cultivo das culturas anuais. O trabalho foi desenvolvido em Selvíria, MS em 2012/13 e 2013/14, em um Latossolo Vermelho de Cerrado, textura argilosa, com delineamento em blocos casualizados disposto em esquema fatorial 5x2 para o arroz e o feijão, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco plantas de cobertura (pousio (controle), *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*) com e sem escarificação mecânica do solo. A espécie de *Pennisetum glaucum*, independente do solo escarificado em SPD promoveu maior produtividade de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea bem como maior persistência de resíduos vegetais; o solo escarificado em SPD e o cultivo anterior de *Cajanus cajan* proporcionaram maiores produtividades do arroz, no primeiro ano, todavia não influenciaram na produtividade do arroz no segundo ano; os cultivos antecessores de *Crotalaria juncea* e *Pennisetum glaucum* com escarificação, seguida de cultivo do arroz, proporcionaram incrementos na produtividade do feijão “de inverno” em sucessão; a entressafra de *Pennisetum glaucum*, *Crotalaria juncea* e *Urochloa ruziziensis* independentes da escarificação proporcionaram melhorias com mais frequência nos atributos químicos no perfil do solo; o solo escarificado em SPD promoveu maior porosidade, e reduziu a densidade e a resistência do solo à penetração até profundidade de 0,20 m; a entressafra de *Crotalaria juncea* e *Urochloa ruziziensis* no solo escarificado em SPD resultou em melhorias com mais frequência nos atributos físicos no perfil do solo.

**Palavras-Chave:** *Phaseolus vulgaris* L. *Oryza sativa* L. Compactação do solo. Qualidade do solo. Planta de cobertura. Escarificação. Adubação verde.

## ABSTRACT

The planning succession allied cover crops in the off-season and sporadic mechanical decompression are options to minimize compaction soil surface under, as well as directly providing improvements in soil attributes in no-tillage system (NTS) deployed in the Savannah South Mato Grossense, advocating the sustainability of the production system. The objective was to evaluate the mechanical soil decompression, development and yield of cover crops in the spring in NTS, and also in the growth and yield of rice crop upland and common bean "winter" in succession, in addition to changes in chemical and physical attributes of the soil, after each cultivation of annual crops. The study was conducted in Selvíria, MS, in 2012/13 e 2013/14, in a Savannah South Mato Grossense, Oxisol, clayey, in a randomized block design arranged in a factorial design 5x2 for rice and common bean, with four replications. The treatments were a combination of five cover crops (fallow (control), *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Pennisetum glaucum* and *Urochloa ruziziensis*) with and without mechanical soil scarification. The species of *Pennisetum glaucum*, regardless of chiseling in NTS promoted greater dry matter yield and accumulation of macronutrients in the shoot as well as greater persistence of plant debris; the chiseling in NTS and the previous cropping *Cajanus cajan* provided higher yields of rice in the first year, but did not influence the rice yield in the second year; crops predecessors *Crotalaria juncea* and *Pennisetum glaucum* with scarification, followed by rice cultivation, provided increases in bean commun yield "winter" in succession; the off-*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria juncea* and *Urochloa ruziziensis* independent of scarification *Urochloa ruziziensis* provided improvements more frequently in chemical attributes in the soil profile; the chiseling in NTS promoted greater porosity, and reduced the density and soil penetration resistance to a depth of 0,20 m; the off- *Crotalaria juncea* and *Urochloa ruziziensis* in chiseling in NTS resulted in improvements more frequently in physical attributes in the soil profile.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L. *Oryza sativa* L. Soil compaction. Quality soil. Cover crops. Scarification. Green manures.

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                                                                            |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                                                                                                                          | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>                                                                                                                                               | <b>14</b> |
| 2.1      | SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)                                                                                                                                               | 14        |
| 2.2      | DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA (DM) EM SPD IMPLANTADO                                                                                                                             | 17        |
| 2.3      | PLANTAS DE COBERTURA (PC) EM SPD IMPLANTADO                                                                                                                                | 21        |
| 2.4      | SUCCESSÃO DE CULTURAS EM SPD IMPLANTADO                                                                                                                                    | 25        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b>                                                                                                                                                  | <b>29</b> |
| 3.1      | ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO                                                                                                                                       | 32        |
| 3.1.1    | <b>Época 1 - Caracterização inicial</b>                                                                                                                                    | 32        |
| 3.1.1.1  | <i>Atributos químicos do solo</i>                                                                                                                                          | 32        |
| 3.1.1.2  | <i>Atributos físicos do solo</i>                                                                                                                                           | 33        |
| 3.2      | ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE COBERTURA EM SPD EM ÁREAS COMPACTADAS (SUBPROJETO 1)                                               | 35        |
| 3.2.1    | <b>Produtividade de matéria seca (MS) da parte aérea</b>                                                                                                                   | 36        |
| 3.2.2    | <b>Acúmulo de nutrientes na parte aérea</b>                                                                                                                                | 37        |
| 3.2.3    | <b>Persistência dos resíduos vegetais no SPD</b>                                                                                                                           | 37        |
| 3.3      | ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS IRRIGADO POR ASPERSÃO (SUBPROJETO 2).                                 | 37        |
| 3.3.1    | <b>Emergência das plântulas</b>                                                                                                                                            | 39        |
| 3.3.2    | <b>Floração</b>                                                                                                                                                            | 39        |
| 3.3.3    | <b>Avaliação da temperatura do solo</b>                                                                                                                                    | 39        |
| 3.3.4    | <b>Maturação</b>                                                                                                                                                           | 39        |
| 3.3.5    | <b>Altura de plantas (m)</b>                                                                                                                                               | 40        |
| 3.3.6    | <b>Acamamento</b>                                                                                                                                                          | 40        |
| 3.3.7    | <b>Número de panículas por metro quadrado</b>                                                                                                                              | 40        |
| 3.3.8    | <b>Número total de grãos por panícula</b>                                                                                                                                  | 40        |
| 3.3.9    | <b>Número de grãos granados e chochos por panícula</b>                                                                                                                     | 40        |
| 3.3.10   | <b>Massa de 100 grãos</b>                                                                                                                                                  | 41        |
| 3.3.11   | <b>Produtividade de grãos</b>                                                                                                                                              | 41        |
| 3.3.12   | <b>Massa hectolítrica</b>                                                                                                                                                  | 41        |
| 3.3.13   | <b>Rendimento de engenho</b>                                                                                                                                               | 41        |
| 3.4      | ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO                                                                                                                                                 | 42        |
| 3.4.1    | <b>Época 2 - Após cultivo do arroz de terras altas</b>                                                                                                                     | 42        |
| 3.5      | ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO                                                                                                                                                  | 42        |
| 3.5.1    | <b>Época 2 - Após cultivo do arroz de terras altas</b>                                                                                                                     | 42        |
| 3.6      | ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO “DE INVERNO” IRRIGADO EM SUCESSÃO A CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS (SUBPROJETO 3). | 43        |
| 3.6.1    | <b>População inicial e final de plantas</b>                                                                                                                                | 44        |
| 3.6.2    | <b>Avaliação da temperatura do solo</b>                                                                                                                                    | 44        |
| 3.6.3    | <b>Matéria seca de plantas</b>                                                                                                                                             | 44        |
| 3.6.4    | <b>Nitrogênio Foliar</b>                                                                                                                                                   | 45        |
| 3.6.5    | <b>Componentes da produção</b>                                                                                                                                             | 45        |
| 3.6.6    | <b>Produtividade de grãos</b>                                                                                                                                              | 45        |

|        |                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6.7  | Ciclo                                                                                                                                                                                                  | 45  |
| 3.7    | ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO                                                                                                                                                                             | 45  |
| 3.7.1  | Época 3 - Após cultivo do feijão “de inverno”                                                                                                                                                          | 45  |
| 3.7.2  | Estoque de carbono no solo                                                                                                                                                                             | 46  |
| 3.8    | ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO                                                                                                                                                                              | 46  |
| 3.8.1  | Época 3 - Após cultivo do feijão “de inverno                                                                                                                                                           | 46  |
| 3.9    | ANÁLISE ESTATÍSTICA                                                                                                                                                                                    | 47  |
| 4      | RESULTADOS E DISCUSSÃO                                                                                                                                                                                 | 48  |
| 4.1    | CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA ÁREA EM JUNHO DE 2012                                                                                                                                                        | 48  |
| 4.2    | SUBPROJETO 1                                                                                                                                                                                           | 48  |
| 4.2.1  | Avaliações de produtividade de matéria seca (MS) e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de cobertura em 2012 e 2013                                                                        | 48  |
| 4.2.2  | Avaliação de persistência dos resíduos vegetais (PRV) no SPD                                                                                                                                           | 56  |
| 4.3    | SUBPROJETO 2                                                                                                                                                                                           | 60  |
| 4.3.1  | Efeitos no desenvolvimento e produtividade do arroz de terras altas no primeiro e segundo ano de cultivo (2012/13 e 2013/14) no Cerrado Sul-Matogrossense                                              | 60  |
| 4.4    | SUBPROJETO 3                                                                                                                                                                                           | 68  |
| 4.4.1  | Efeitos no crescimento e produtividade do feijão “de inverno” no primeiro e segundo ano de cultivo (2013 e 2014) no Cerrado Sul-Matogrossense                                                          | 68  |
| 4.4.2  | Dinâmica da temperatura do solo (TS) nos cultivos do arroz as 06h00, 14h00 e 22h00, na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo nas safras 2012/13 e 2013/14                                     | 77  |
| 4.4.3  | Dinâmica da temperatura do solo (TS) nos cultivos do feijão as 06h00, 14h00 e 22h00 na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo nas safras 2013 e 2014                                           | 80  |
| 4.5    | DINÂMICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, APÓS DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA, SEGUIDA DE CULTIVO DO ARROZ E FEIJÃO EM SUCESSÃO NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE | 85  |
| 4.5.1  | Dinâmica da matéria orgânica (M.O.) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                | 85  |
| 4.5.2  | Dinâmica da capacidade troca de cátions (CTC) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                      | 88  |
| 4.5.3  | Dinâmica do índice de acidez (pH) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                  | 92  |
| 4.5.4  | Dinâmica do teor de alumínio ( $Al^{3+}$ ) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                         | 95  |
| 4.5.5  | Dinâmica do estoque de carbono (EC) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                | 100 |
| 4.5.6  | Dinâmica do teor de fósforo (P) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                    | 102 |
| 4.5.7  | Dinâmica do teor de potássio (K) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                   | 107 |
| 4.5.8  | Dinâmica da saturação por bases (V) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                | 109 |
| 4.5.9  | Dinâmica da soma de bases (SB) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                     | 111 |
| 4.5.10 | Dinâmica do teor de enxofre (S) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                                    | 115 |
| 4.5.11 | Dinâmica do teor de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                           | 118 |
| 4.5.12 | Dinâmica do teor de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no perfil do solo durante dois anos                                                                                                                         | 123 |

|          |                                                                                                                                                                                                              |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.13   | <b>Dinâmica da acidez potencial (H+Al) no perfil do solo durante dois anos</b>                                                                                                                               | 125 |
| 4.6      | <b>DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, APÓS DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA, SEGUIDA DE CULTIVO DO ARROZ E FEIJÃO EM SUCESSÃO NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE</b> | 128 |
| 4.6.1    | <b>Dinâmica da macroporosidade (Ma) no perfil do solo durante dois anos</b>                                                                                                                                  | 128 |
| 4.6.2    | <b>Dinâmica da porosidade total (PT) no perfil do solo durante dois anos</b>                                                                                                                                 | 134 |
| 4.6.3    | <b>Dinâmica da densidade do solo (Ds) no perfil do solo durante dois anos</b>                                                                                                                                | 137 |
| 4.6.4    | <b>Dinâmica da resistência do solo à penetração (RSP) no perfil durante dois anos</b>                                                                                                                        | 142 |
| 4.6.5    | <b>Dinâmica da resistência do solo à penetração (RSP) no perfil durante dois anos</b>                                                                                                                        | 147 |
| 4.6.6    | <b>Dinâmica da umidade grávimétrica (Ug) do solo no momento da RSP no perfil do solo nos dois anos</b>                                                                                                       | 151 |
| 4.7      | <b>DINÂMICA DA PRODUTIVIDADE DE MATÉRIA SECA (MS) NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE COBERTURA, GRÃOS DO ARROZ DE TERRAS ALTAS E DO FEIJÃO “DE INVERNO” NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE.</b>                         | 154 |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                                                                                                                                                                  | 159 |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b>                                                                                                                                                                                            | 161 |
| 6.1      | SUBPROJETO 1                                                                                                                                                                                                 | 161 |
| 6.2      | SUBPROJETO 2                                                                                                                                                                                                 | 161 |
| 6.3      | SUBPROJETO 3                                                                                                                                                                                                 | 161 |
| 6.4      | <b>ALTERAÇÕES OCORRIDAS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO APÓS SUBPROJETOS 2 E 3 NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE</b>                                                                                     | 162 |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                                                                                                           | 163 |
|          | APÊNDICE A - Fotos da área experimental (2012)<br>(Caracterização física e química da área e adubação de correção)                                                                                           | 177 |
|          | APÊNDICE B – Fotos do subprojeto 1<br>(2012 e 2013)                                                                                                                                                          | 179 |
|          | APÊNDICE C - Fotos do subprojeto 2<br>(2012/13 e 2013/14)                                                                                                                                                    | 185 |
|          | APÊNDICE D – Fotos do subprojeto 3<br>(2013 E 2014)                                                                                                                                                          | 195 |



## 1 INTRODUÇÃO

A compactação nas camadas superficiais do solo vêm ocorrendo em sistema plantio direto (SPD) de forma sistemática em diversos sistemas de produção na região do Cerrado, devido à mobilização do solo apenas no sulco de semeadura. Isso acontece principalmente em virtude do processo de compressão causado por tráfego de maquinário nas operações agrícolas de semeadura, colheita e tratos culturais, com solo em condições de umidade acima da ideal (plástica, aderente e fluida), particularmente em Latossolos, e também devido à não mobilização do solo, aliado à maior retenção de água no solo, o que determina um curto período de tempo com a umidade adequada às operações mecanizadas. Diversos autores mencionam que a compactação do solo tem sido uma ameaça a continuidade e estabilidade do SPD, e pode causar degradação do solo, com reflexos negativos sobre o volume de solo explorado e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (TORMENA et al., 2002).

A operação de escarificação mecânica do solo, em SPD, pode ser uma alternativa viável para minimizar as limitações físicas nas camadas superficiais do solo ao crescimento e penetração das raízes das plantas. Alguns trabalhos têm demonstrado aumentos significativos na produtividade das culturas (soja, milho, trigo, feijão) em solos sob SPD escarificado. Essa prática aumenta a porosidade e reduz a densidade do solo, ao mesmo tempo rompe as camadas compactadas, até a profundidade de 0,30 m (REICHERT et al., 2009). Em razão disso, a escarificação mecânica do solo eleva a taxa de infiltração e armazenamento de água e favorece o aprofundamento do sistema radicular. Contudo, nada impede que o solo descompactado volte a ser utilizado no SPD, desde que o processo de descompactação seja adequadamente efetuado com equipamentos (escarificadores e hastes escarificadoras) bem regulados, com hastes finas e ponteadas estreitas, de tal forma que revolvam o mínimo possível, procurando romper o solo no seu plano natural de ruptura e mantendo a maior parte dos restos vegetais sobre a superfície do solo e preservar sua estrutura. A prática da escarificação tem sido considerada “efêmera”, pela não persistência desses efeitos no solo, entretanto, tem sido questionada por diversos autores, os efeitos sobre os atributos do solo não persistem por mais de três anos.

A pré-safra com plantas de cobertura na primavera, no Cerrado Sul-Matogrossense, é altamente viável, quer pelo efeito direto e imediato sobre a produtividade das culturas comerciais sucedâneas, quer pelo efeito indireto na melhoria crescente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na diminuição da ocorrência e disseminação de pragas, patógenos

e plantas daninhas, bem como na redução dos custos para seu controle. Além disso, muitas espécies apresentam múltiplos usos, como o *Pennisetum glaucum* que pode ser utilizada como cobertura protetora do solo em SPD, para produção de grãos e como forrageira de excelente valor nutritivo, com até 24% de proteína bruta. Essas espécies vegetais são capazes de romper camadas compactadas e melhorar a estrutura e agregação do solo. Essas plantas devem compor sistemas de sucessão/rotação de culturas de forma planejada e duradoura, de acordo com a recomendação para cada região, observando-se a densidade e a época de semeadura.

A escolha da planta de cobertura é fator decisivo, assim como conhecer a sua adaptabilidade à região e sua habilidade em desenvolver num ambiente menos favorável, principalmente nas condições climáticas de Cerrado de baixa altitude em razão das altas temperaturas e elevado índice pluviométrico, conforme Kliemann, Braz e Silveira (2006). Nessas condições, a taxa de decomposição é rápida e ocorre menor persistência de resíduos vegetais na superfície do solo, mesmo quando a palhada é basicamente constituída de gramíneas com alta relação Carboño/Nitrogênio (C/N) e elevado teor de lignina. Dessa forma, nessa região a manutenção de uma camada de cobertura do solo por longo tempo torna-se atividade bastante complexa, necessitando de conhecimento e experiência prática de quem adota o SPD.

Diante disso, pode-se inferir que o cultivo de plantas de cobertura com sistema radicular pivotante, abundante e profundo na primavera e/ou descompactação mecânica do solo, com escarificador combinado com uma sucessão de culturas adequada para a SPD, pode proporcionar melhorias e/ou manutenção do sistema de produção. Essas práticas proporcionarão alterações positivas e duradouras nos atributos químicos e físicos do solo, podendo também levar ao aumento da produtividade de biomassa, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, rompimento de camadas compactadas, exploração alternada de diferentes profundidades do solo, manutenção ou aumento dos teores da matéria orgânica e melhoria do equilíbrio e disponibilidade de nutrientes no solo. Além disso, poderão ocorrer incrementos e estabilização na produtividade do arroz e feijão em sucessão.

Assim, objetivou-se quantificar os efeitos da descompactação mecânica do solo, no desenvolvimento e produtividade das plantas de cobertura (pousio (controle), *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*) na primavera em sistema plantio direto implantado no Cerrado Sul-Matogrossense, e também no crescimento e produtividade das culturas do arroz de terras altas e feijão “de inverno” em sucessão, além das alterações ocorridas nos atributos químicos e físicos do solo após cada cultivo das culturas anuais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)

O SPD, além de outras vantagens, pode contribuir de maneira significativa para a redução da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. O sistema proporciona aumento nos estoques de carbono no solo, ao contrário dos sistemas convencionais, com revolvimento sistemático do solo (CORAZZA et al., 1999). Esse efeito é ainda maior quando se utiliza um esquema diversificado de rotação de culturas, desde que estejam envolvidas espécies com elevada relação carbono/nitrogênio (C/N), como, por exemplo, braquiárias (D'ANDRÉA et al., 2004).

Uma das grandes dificuldades para o estabelecimento do SPD no bioma Cerrado é a elevada taxa de decomposição dos restos vegetais mantidos sobre a superfície do solo, em função das condições ambientais favoráveis à decomposição (temperatura e umidade). Entretanto, no SPD a decomposição de resíduos de milho e soja é mais lenta que a da semeadura convencional (GONÇALVES et al., 2010).

Normalmente, as alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo são mais pronunciadas no sistema de preparo convencional do que nos sistemas conservacionistas, pelo fato do revolvimento alterar a densidade do solo, o volume e distribuição de tamanho de poros e a estabilidade dos agregados, influenciando na infiltração da água, na erosão hídrica e no crescimento e desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2004).

As alterações que ocorrem na estrutura do solo de acordo com o manejo utilizado durante o processo produtivo podem ser verificadas pela maior densidade do solo, dificultando a penetração das raízes (KIEHL, 1979). Essas alterações influenciam também a porosidade total, distribuição e diâmetros de poros, porosidade de aeração, capacidade de armazenamento de água, disponibilidade de nutrientes para as plantas e consistência e máxima compactabilidade do solo (KLEIN et al., 1995; SOUZA; ALVES, 2003a).

A densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo têm sido utilizadas para indicar restrições ao desenvolvimento de plantas. Assim, Unger; Kaspar (1994) destacaram que a compactação do solo reduz o crescimento das plantas, principalmente quando o suprimento de água e nutrientes é insuficiente, fato verificado quando as raízes se desenvolvem acima das camadas compactadas.

A compactação do solo em áreas agrícolas manejadas em SPD tem sido apontada como um problema enfrentado por produtores, em especial nas áreas com solos argilosos. A compactação é causada principalmente pelo tráfego de máquinas, quando não são respeitadas faixas adequadas de umidade do solo. A palha na superfície do solo, por criar uma barreira física entre o pneu das máquinas e o solo, pode ser um fator de minimização da compactação (ROSIM et al., 2012).

A compactação muito intensa afeta o desenvolvimento das culturas em qualquer condição de clima, segundo Salton, Hernani e Fontes (1998). Porém, de maneira geral, para os solos muito argilosos (acima de 65% de argila), valores de densidade acima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  podem afetar a produtividade, principalmente da soja. Esses valores críticos variam ainda de acordo com a cultura, sendo que soja, feijão e milho são mais tolerantes à compactação do que o arroz. Entretanto, somente a produtividade pode realmente indicar se uma dada compactação é ou não o fator mais limitante de uma planta ou do sistema.

Os solos do estado de Mato Grosso do Sul tem passado por grandes problemas de degradação física e química devido ao intenso uso e manejo inadequado, ocasionando com maior frequência erosão de diversos tipos, redução da fertilidade e do teor de matéria orgânica e, principalmente, formação de camadas compactadas. Essa compactação advém de substancial alteração da sua estrutura, desencadeada pela reorganização das partículas e de seus agregados, podendo reduzir a infiltração e redistribuição de água, as trocas gasosas, e também limitar a absorção e a disponibilidade de nutrientes ao crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas, resultando no decréscimo da produtividade das culturas (ROQUE et al., 2008).

Além dos efeitos sobre o desenvolvimento vegetal, a compactação causa diminuição da infiltração de água no solo, favorecendo o encharcamento temporário, aumentando a enxurrada e favorecendo os processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Normalmente, após uma década de utilização do SPD, por estar ele associado ao intenso tráfego de máquinas agrícolas e ao não revolvimento da leiva, observa-se a compactação da camada superficial do solo, principalmente nos primeiros 0,17 m. Contudo, trata-se de um sistema conservacionista (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006), que mantém os resíduos vegetais dos cultivos anteriores na superfície, assim como uma mínima taxa de erosão ( $5,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}$ , equivalente à tolerância de perda por erosão de 12,0 a  $15,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}$ ) (IAPAR, 1981; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), apresentando-se como uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade econômica e ambiental desse agroecossistema (CARNEIRO et al., 2009).

O manejo do solo inadequado promove sua desagregação e acelera a decomposição da matéria orgânica do solo (SOUZA; ALVES, 2003c; BAYER et al., 2004), principal responsável pela CTC dos solos das regiões tropicais e subtropicais (RAIJ, 1991; SOUSA; LOBATO, 2004a). O não revolvimento do solo, aliado à adição de carbono (C) orgânico por meio do cultivo de adubos verdes ou plantas de cobertura, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados no solo, melhorando sua estrutura e agregação do solo (BERTOL et al., 2004). Em adição, os resíduos vegetais contêm macro e micronutrientes em formas orgânicas lábeis, que podem se tornar disponíveis para a cultura subsequente, mediante a mineralização (BAYER; MIELNICZUK, 1997b; AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; CALEGARI, 2004; CARVALHO et al., 2004).

Os solos de Cerrado são naturalmente ácidos e de baixa fertilidade, porém em função de sua boa estrutura e aliados a práticas agrícolas adequadas, eles têm sido inseridos aos sistemas agropecuários (BONFIM-SILVA et al., 2011). Na agricultura, o uso de máquinas e de implementos agrícolas no preparo do solo se faz necessário. Souza; Alves (2003a) afirmaram que o preparo do solo objetiva criar condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas, eliminando plantas daninhas e facilitando o manejo de resíduos culturais, aumentando a porosidade total na camada preparada; seu principal efeito, porém, é refletido na perda da qualidade da estrutura do solo (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007). Isto advém principalmente quando o preparo é realizado intensamente em solo com condições impróprias de umidade, agravando os problemas em relação à compactação do solo.

Em solos compactados, os números de macroporos são reduzidos e a densidade é maior, conferindo resistência física às raízes (JIMENEZ et al., 2008). Isto resulta em restrição ao crescimento do sistema radicular (ZOBIOLE et al., 2007), redução na aeração e disponibilidade de água e nutrientes (GOEDERT; SCHERMACK; FREITAS, 2002; TORMENA et al., 2002; CABRAL et al., 2012), cujos efeitos podem afetar a produtividade das culturas em maior ou menor grau, dependendo da classe de solo, nível de compactação e espécie vegetal cultivada, além de promover diminuição da infiltração de água no solo e, por conseguinte, aumento do escoamento superficial, favorecendo os processos erosivos.

A fragilidade do sistema radícula do arroz pode ser um motivo das baixas produtividades da cultura no SPD. Conforme Guimarães; Moreira (2001), o sistema radicular do arroz é reduzido com o aumento da densidade do solo a partir de  $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ . Por outro lado, Grohmann; Queiroz Neto (1966) observaram uma total inibição do crescimento radicular de plântulas de arroz nas densidades do solo superiores a  $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ . Em

condições de elevada compactação do solo, seu preparo com grade, escarificador ou arados de aivecas pode ser o melhor método identificado até o momento para o arroz de terras altas.

A compactação do solo aumenta a resistência do solo à penetração e diminui sua permeabilidade ao ar e à água (VEIGA et al., 2008; SILVA et al., 2009), o que pode levar à concentração das raízes na camada superficial do solo (CAVALIERI et al., 2006; SECCO et al., 2009), com reflexos negativos sobre o volume de solo explorado e a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Na região de clima tropical do Brasil, principalmente no Cerrado, safras agrícolas têm sido frustradas pela degradação associada a solos manejados sob sistema plantio direto, sem planejamento adequado de sucessão/rotação de culturas e ausência de cultivo de plantas de cobertura na entressafra (DENARDIN et al., 2008), em razão do comprometimento do bom desenvolvimento do sistema radicular.

Como não há revolvimento do solo no SPD, as pressões ocasionadas pelo tráfego de máquinas e a acomodação natural das partículas elevam o estado de compactação do solo reduzindo o tamanho dos poros (GODOY et al., 2015). Beutler, Centurion e Roque (2004) observaram correlação negativa entre a microporosidade e a produtividade do arroz. Com o aumento da microporosidade diminui o alongamento radicular, visto que as raízes do arroz não conseguem reduzir seu diâmetro para penetrar nos microporos, menores que suas extremidades.

## 2.2 DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA (DM) EM SPD IMPLANTADO

A escarificação mecânica do solo sob sistema plantio direto há seis anos aumentou a produtividade de grãos de trigo semeado sete meses após a operação de escarificação mecânica e diminuiu a densidade e a densidade relativa do solo, aumentando a porosidade total e a porosidade livre de água durante o ciclo da cultura do trigo (KLEIN et al., 2008).

A escarificação mecânica do solo, em SPD, no Cerrado Sul-Matogrossense pode ser uma alternativa viável para minimizar as limitações físicas nas camadas superficiais do solo ao crescimento das plantas. Alguns trabalhos têm demonstrado aumentos significativos na produtividade das culturas em solos sob SPD escarificado (CAMARA; KLEIN, 2005; VIEIRA, 2006). Essa prática aumenta a porosidade e reduz a densidade do solo (REICHERT et al., 2009b), ao mesmo tempo rompe as camadas compactadas, até a profundidade de 0,30 m. Em razão disso, a escarificação eleva a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água. Contudo, nada impede que o solo descompactado mecanicamente volte a ser utilizado no SPD, desde que o processo de descompactação seja adequadamente

efetuado com equipamentos (escarificadores e hastes escarificadoras) bem regulados, com hastes finas e ponteiros estreitas, de tal forma que revolvam o mínimo possível, procurando romper o solo no seu plano natural de ruptura e mantendo a maior parte dos restos vegetais sobre a superfície do solo (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Nicosolo et al. (2008) verificaram que a escarificação biológica foi eficiente em aumentar a macroporosidade do solo, diminuir a resistência do solo à penetração e melhorar a infiltração de água em um Latossolo inicialmente compactado. O efeito da escarificação mecânica no Latossolo de textura muito argilosa, em época de elevada precipitação, foi temporário, não constando melhoria nas condições físicas nove meses após a operação. A escarificação biológica aumentou a persistência da melhoria das condições físicas do solo induzidas pela escarificação mecânica. As maiores produtividade de grãos de soja foram observados após a escarificação biológica do solo isolada ou associada ao uso do escarificador.

Kamimura et al. (2009), avaliando as atributos físicos do solo manejado com grade, escarificador e SPD, indicaram que a macroporosidade e a porosidade total do solo em SPD apresentaram menores valores, além de maior resistência à penetração e densidade do solo nos primeiros 0,10 m do solo, o que muitas vezes interfere negativamente no desenvolvimento do sistema radicular do arroz, levando à menor produtividade de grãos.

A escarificação diminui a densidade do solo na camada de 0,00-0,20 m, aumentando o intervalo hídrico ótimo (IHO) por meio da redução da umidade do solo em que a resistência à penetração atinge 2,0 MPa; esse efeito manteve-se até o terceiro ano após a escarificação, podendo chegar a até 0,40 m de profundidade (CALONEGO; ROSOLEM, 2011).

O aumento da densidade do solo em SPD é devido à movimentação das máquinas e dos implementos agrícolas usados nas várias etapas do processo produtivo e podem comprometer a produtividade do arroz. Segundo Guimarães, Stone e Castro (2006), o mecanismo de distribuição do fertilizante das semeadoras do SPD é uma alternativa possível para romper parte e da camada compactada e induzir o aprofundamento do sistema radicular do arroz de terras altas.

Se a compactação for realmente o fator limitante à produtividade e se o agricultor conduz o SPD de forma correta, ou seja, se a rotação de culturas (envolvendo culturas com sistema radicular agressivo, pivotante e abundante) não resolve o problema, existem outras alternativas como exemplo a utilização de semeadoras dotadas de facões dispostos imediatamente após os discos de corte que fazem a descompactação do solo somente na linha de semeadura, utilização de escarificadores cujo formato das hastes permita que a camada

compactada seja rompida sem afetar o nivelamento do terreno e utilizar veículos e equipamentos menos pesados, com rodados mais largos, trafegando apenas com solo tendendo a seco ou com a umidade abaixo da correspondente à do solo friável, em locais previamente definidos e controlados (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Arf et al. (2008), avaliando o efeito de mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em SPD, concluíram que o uso da haste escarificadora, como mecanismo de abertura do sulco para deposição do fertilizante proporciona efeitos positivos para o cultivo do feijoeiro “de inverno”.

Câmara; Klein (2005), por sua vez, mostraram que a escarificação de um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso que estava sendo cultivado no sistema plantio direto reduziu a densidade, mas a produtividade da soja não diferiu do plantio direto não escarificado. Resultados semelhantes foram observados na cultura do feijão em Argissolo Vermelho distrófico arênico (COLLARES et al., 2006). Isso sugere que o grau de compactação não havia alcançado um estado crítico que reduzisse o crescimento e a produtividade das culturas, ou que, embora compactado, o plantio direto apresenta propriedades que compensam a compactação, como, por exemplo, poros contínuos formados pelos cultivos anteriores, conforme discutido em Bouma (1991).

A escarificação mecânica do solo em SPD implantado ainda é considerada efêmera, pela não persistência desses efeitos, porém tem sido questionada por Prando et al. (2010), Silva et al. (2012), Silveira Junior et al. (2012) e Klein et al. (2008). De acordo com Colonego; Rosolem (2008, 2010), os efeitos da escarificação sobre os atributos físicos do solo não persistem por mais de três anos. Esse efeito transitório da escarificação do solo sob plantio direto, na região subtropical úmida do Brasil, também foi mencionado por Da Rosa et al. (2008) e Silveira Junior et al. (2012) e, segundo os autores, está relacionado à ausência de cobertura adequada do solo, ao tipo de manejo adotado e ao regime de chuvas. Em anos chuvosos, o solo tende a se reacomodar rapidamente, com menor persistência dos efeitos da escarificação mecânica (NICOLOSO et al., 2008; SILVA et al., 2012).

Entretanto, Secco; Reinert (1997) observaram aumento da produtividade de grãos de milho no solo escarificado em relação ao SPD. Ferreras et al. (2001) obtiveram produtividade de soja 47,88 % inferior no SPD em relação ao SPD com escarificação mecânica e atribuíram essa redução ao menor desenvolvimento radicular em função da resistência mecânica que afeta a absorção de água e nutrientes. Klein et al. (2004) obtiveram produtividade do milho em SPD com escarificação mecânica do solo superior em 805 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao SPD.



Esses dados corroboram os resultados de Erickson (1982) e Stepniewski, Glinski e Ball (1994) de que o manejo do solo é capaz de melhorar a difusão de gases no solo. Nesse caso, a escarificação mecânica do solo, após seis anos sob SPD, foi capaz de melhorar as condições físico-hídricas do solo para o desenvolvimento das plantas. Entretanto, Klein et al. (2008), avaliando a porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e produtividade de trigo em SPD escarificado, concluíram que escarificação mecânica do solo sob sistema plantio direto há seis anos aumentou a produtividade de grãos de trigo semeado sete meses após a escarificação e diminuiu a densidade e a densidade relativa do solo, aumentando a porosidade total e a porosidade livre de água durante o ciclo da cultura do trigo.

Para Secco et al. (2004), a escarificação anual ou a cada três anos não altera a produtividade da soja e do milho em SPD. Klein; Camara (2007) também relataram que a escarificação de um Latossolo Vermelho, embora melhore a condição física do solo, não aumenta a produtividade da soja em comparação ao obtido em solo não escarificado.

No entanto, Secco et al. (2009) constataram que a escarificação mecânica aumenta o produtividade de grãos de milho e trigo em SPD, na comparação com o solo sob SPD sem escarificação. A divergência de resultados possivelmente deve-se ao fato de a produtividade das plantas não ser função apenas do solo, o que faz com que a melhor condição física do solo não resulte, necessariamente, em maior produtividade. Collares et al. (2008) verificaram que a escarificação de Latossolo Vermelho manejado sob plantio direto favoreceu o crescimento radicular e aumentou a área foliar e a altura de plantas de feijão, mas não afetou a produtividade da cultura.

Entretanto, Nunes et al. (2014) verificaram que os efeitos positivos da escarificação sobre os atributos físicos do solo e sobre o desenvolvimento radicular das plantas de milho não persistem por mais de 18 meses.

Portanto, a operação de escarificação mecânica do solo deve ser constituída e alicerçada com adoção de um planejamento da sucessão/rotação de culturas comerciais, assim como, os cultivos sucessivos de plantas de cobertura (gramíneas e leguminosas), nas diversas modalidades de cultivo como solteiras, consórcio e misturas na entressafra das culturas comerciais, contribuindo para maior persistência dos efeitos da escarificação e sustentabilidade do sistema de produção, principalmente na região do Cerrado Sul-Matogressense.

### 2.3 PLANTAS DE COBERTURA (PC) EM SPD IMPLANTADO

As palhadas de gramíneas ou poáceas são fornecedoras de nutrientes às culturas sucessoras, a médio e longo prazo, especialmente na camada superficial. Enquanto as leguminosas ou fabáceas desempenham papel fundamental como fornecedoras de nutrientes, quando o SPD está estabilizado. O uso de leguminosas tem a vantagem de disponibilizar nutrientes para as culturas sucessoras, devido à rápida decomposição dos resíduos (FLOSS, 2000).

Assim, para o sucesso do sistema plantio direto um dos requisitos indispensáveis é a boa formação da palhada na superfície do solo. A correta escolha da espécie vegetal a ser utilizada é extremamente importante, uma vez que devem ser considerados os fatores climáticos característicos de cada região e classe de solo (KLIEMANN et al., 2006). Várias culturas têm sido utilizadas e pesquisadas para cobertura de solo e rotação, e entre as mais promissoras estão o milho, o milheto, o sorgo granífero e o forrageiro, o nabo forrageiro e as gramíneas forrageiras tropicais, consorciadas ou não, sobretudo as dos gêneros *Urochloa* (MACEDO, 2009).

No Cerrado, o clima é caracterizado por inverno seco, altas temperaturas no decorrer do ano e estação seca prolongada, o que dificulta a implantação de plantas de cobertura e, principalmente, a permanência da palhada sobre a superfície do solo, sendo esse, um dos maiores entraves na manutenção do SPD (PACHECO et al., 2008). Nessa região, as taxas de decomposição podem situar-se entre cinco até dez vezes superiores às taxas de regiões de clima temperado. Portanto, manter nessa região uma camada de cobertura do solo por longo tempo torna-se atividade bastante complexa, necessitando de conhecimento e experiência prática de quem adota o SPD.

O cultivo de espécies forrageiras, como as do gênero *Urochloa*, para a formação de palha vem despertando o interesse de muitos agricultores e pesquisadores (TORRES, 2003; KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003; ANDRIOLI, 2004; PARIZ et al., 2010; PARIZ et al., 2011; COSTA et al. 2012). Essas gramíneas são de grande potencial na manutenção da palha sobre o solo devido à sua alta relação C/N e lignina/N total, o que retarda sua decomposição e aumenta a possibilidade de utilização em regiões mais quentes, como o Cerrado brasileiro. Essas espécies se destacam ainda pela adaptação a solos de baixa fertilidade, facilidade de estabelecimento e considerável produção de biomassa, o que proporciona excelente cobertura vegetal do solo.

Assim, a utilização de espécies com relação lignina/N mais alta, como é o caso de gramíneas, proporciona decomposição mais lenta da palhada depositada sobre a superfície do

solo, e processos como a imobilização, mineralização e lixiviação são alterados. Produtividades médias de MS de 12 Mg ha<sup>-1</sup> são frequentemente obtidas e proporcionam plena cobertura do solo, com boa espessura de palhada (CRUSCIOL et al., 2009).

A compactação que afeta negativamente a produtividade sempre deve ser evitada. Segundo Salton; Hernani e Fontes (1998), a melhor forma de atuar preventivamente ou desfazer os possíveis adensamentos não é por meios mecânicos, mas por meios biológicos. É a presença de sistemas radiculares agressivos, pivotantes e abundantes em processo de crescimento ou desenvolvimento que ativam os microrganismos, criam espaços entre as partículas, produzem agregados porosos, transformam-se em caminhos preferenciais de outros sistemas radiculares, e funcionam como amortecedores aos processos geradores de adensamento, melhorando a dinâmica do ar e da água, no solo.

Entre as alternativas para minimizar os efeitos do adensamento das partículas do solo, torna-se imprescindível o uso de culturas descompactadoras com sistema radicular abundante e vigoroso, que proporcionam o rompimento mais eficiente da camada compactada, conferindo melhoria à estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, aumento da porosidade do solo (VILLAMIL et al., 2006). Essas espécies promovem, ainda, a retirada de nutrientes das camadas subsuperficiais, liberando-os gradualmente nas camadas superficiais durante o processo de decomposição (FAGERIA; BALIGAR; BAILEY 2005).

Com menor relação C/N comparativamente às poáceas e à sua capacidade de fixação simbiótica do N<sub>2</sub>, as fabáceas aumentam a disponibilidade de N no solo, a absorção de N pela planta e a produtividade de milho (OHLAND et al., 2005), podendo contribuir na redução de aplicação de N mineral. As poáceas contribuem na manutenção de níveis maiores de matéria orgânica do solo, comparadas às fabáceas, em razão da sua alta relação C/N e do alto teor de lignina na sua composição, formando húmus de maior estabilidade, porém, podem apresentar problemas em relação à disponibilidade de N.

Dentre as espécies de plantas descompactadoras, o feijão guandu (*Cajanus cajan* L. Millps.) se destaca por apresentar sistema radicular profundo, capaz de se desenvolver em solos com tendência em formar crosta na superfície (BRAZACA et al., 1996), com bom potencial na absorção de água e possibilidade de reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas (ALVARENGA et al., 1995).

De acordo com Pavinato; Rosolem (2008), tem ocorrido acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais do solo em SPD. Os ácidos orgânicos provenientes de plantas podem interagir com a fase sólida e ocupar os sítios de adsorção de nutrientes, competindo diretamente com eles e aumentando sua disponibilidade no solo. A adição de resíduos

vegetais pode promover, antes da humificação, a elevação do pH, por promover a complexação de H e Al com compostos do resíduo vegetal, deixando Ca, Mg e K mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC por esses cátions de reação básica. Esses compostos também aumentam a mobilidade no perfil do solo dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície. Também é normal constatar o aumento da disponibilidade de P no solo, com a adição de resíduos vegetais, tanto pelo P presente no resíduo como por competição de compostos orgânicos dos resíduos pelos sítios de troca no solo.

Em relação aos atributos físicos do solo, as plantas de cobertura e o seu tempo de utilização apresentam melhoria da estrutura do solo (WENDLING et al., 2005), a qual, segundo Letey (1985), exerce grande influência na movimentação e infiltração de água, transferência de calor e aeração. Por sua vez, a melhor qualidade estrutural do solo coincide com maior agregação.

Atualmente existem experimentos mostrando que para evitar a compactação devem-se utilizar espécies anuais e semiperenes, forrageiras ou não. Porém, não se deve esperar que essas plantas resolvam todos os problemas sozinhas. É preciso complementar sua ação com outras práticas. As espécies que apresentam potencial de uso para descompactação do solo são as crotalárias em geral, o guandu, o tremoço, o nabo-forrageiro e, especialmente, as gramíneas como aveia-preta, milho e todas as forrageiras perenes, que atuam de forma especial na formação de agregados (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Sobre os atributos químicos do solo, os efeitos proporcionados pelos compostos orgânicos dos resíduos vegetais de plantas de cobertura são transientes. No entanto, podem mitigar os efeitos acidificantes causados por grupos carboxílicos e fenólicos gerados durante a decomposição de resíduos vegetais, pela reação dos adubos nitrogenados amídicos e amoniacais (processo de nitrificação) e pela exportação de bases pelas colheitas (ANGHINONI; NICOLODI, 2004).

Além do método mecânico, a alternativa é o uso de plantas de cobertura com sistema radicular pivotante e bem desenvolvido (método biológico), como o nabo-forrageiro, com capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (CUBILLA et al., 2002). No entanto, Kubota, Hoshiba e Bordon (2005), em avaliação realizada após o manejo do nabo-forrageiro, não observaram efeito imediato da cultura de cobertura em melhorar as condições físicas de um Argissolo de textura média e, ao contrário, verificaram aumento da densidade do solo na camada de 0,00–0,05 m. Esse efeito foi atribuído à pressão exercida no solo pelas raízes do nabo-forrageiro devido ao

grande diâmetro de sua raiz pivotante principal. No entanto, em avaliação realizada após a colheita da cultura da soja, esses autores observaram aumento da macroporosidade, da porosidade total e da estabilidade de agregados do solo em áreas que anteriormente receberam nabo-forrageiro no inverno em relação àquelas onde foi cultivado trigo.

A eficiência do método biológico também depende do estado inicial de compactação do solo. Mesmo espécies indicadas para esta finalidade têm o desenvolvimento de suas raízes limitado quando o solo apresenta níveis muito elevados de densidade e resistência à penetração (CUBILLA et al., 2002). Avaliando a capacidade do sistema radicular de 22 espécies em se desenvolver em um substrato que apresentava 4,2 MPa de resistência do solo à penetração, Materechera, Dexter e Alston (1991) observaram aumento do diâmetro e redução média de 90 % no comprimento das raízes em relação ao tratamento testemunha (controle). No mesmo trabalho, os autores observaram uma correlação positiva entre o diâmetro da raiz e a sua capacidade de crescimento em solo compactado. Por essa razão, concluíram que o nabo-forrageiro apresentou maior potencial em atuar como escarificador biológico do que a aveia.

Segundo Salton; Hernani e Fontes (1998), espécies vegetais capazes de romper camadas compactadas e melhorar a estrutura do solo devem compor sistemas de rotação de culturas de forma planejada e duradoura, de acordo com a recomendação para cada região, observando-se a densidade e a época de semeadura. Quando possível, pode-se adotar também os cultivos consorciados tipo milho + leguminosas (mucuna-preta, guandu, leucena, entre outras), que também apresentam os efeitos desejados.

Existe um grande número de espécies que podem ser utilizadas como plantas de cobertura. No entanto, a escolha por determinada cobertura vegetal é realizada de acordo a disponibilidade de sementes na região e o preço. As características técnicas, como capacidade de produção de palha, cobertura do solo, decomposição da palha, liberação de nutrientes, relação C/N, entre outras, são importantes, mais não decisivas na escolha da espécie que cobrirá o solo. Entre as gramíneas, o milheto tem sido utilizado na maioria das áreas em SPD. Quanto às leguminosas, a mais utilizada é o crotalária em áreas de reforma de canaviais com baixas produtividades em determinadas regiões do Estado de São Paulo (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Diante disso, verifica-se a importância do desenvolvimento e aperfeiçoamento de práticas que visem combater a degradação do solo e que, ao mesmo tempo, busquem a manutenção dos benefícios gerados pela adoção do SPD. A escarificação pode ser descrita como a ação de uma ferramenta estreita que rompe camadas adensadas e compactadas, com o objetivo de diminuir sua resistência à penetração de raízes e aumentar a aeração e a drenagem

interna do solo, de modo a diminuir o escoamento superficial e o tempo de enchimento (TAYLOR; BELTRAME, 1980). Além da escarificação mecânica, a descompactação biológica inclui o cultivo de plantas que tenham sistema radicular pivotante, capaz de crescer em camadas de solo compactado (ABREU; REICHERT; REINERT, 2004; MAGALHÃES et al., 2009), como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), de formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (CUBILLA et al., 2002). Contudo, dependendo do manejo realizado após a escarificação, como a escolha das culturas no esquema de rotação e o tráfego, seus efeitos sobre os atributos físicos do solo podem ter duração de seis meses a três anos (FRANCHINI; DEBIASI, 2009).

## 2.4 SUCESSÃO DE CULTURAS EM SPD IMPLANTADO

O arroz e o feijão apresentam importância econômica, social e alimentar, devido ao hábito diário de consumo. O consumo anual *per capita* de arroz no Brasil oscila entre 25 e 50 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (FAO, 2011), sendo uma excelente fonte de carboidratos, na sua forma natural, mas pode ser também uma importante fonte de proteínas, sais minerais (principalmente fósforo, ferro e cálcio) e vitaminas do complexo B, como a B<sub>1</sub> (tiamina), B<sub>2</sub> (riboflavina) e B<sub>3</sub> (niacina). Já o feijão, de cada dez brasileiros, sete o consomem diariamente e o grão, além de ser típico da culinária do País, é fonte de proteína vegetal, vitaminas do complexo B, sais minerais, ferro, cálcio e fósforo (BRASIL, 2013). Para a safra brasileira de arroz e feijão total em 2014/15 foi estimada uma área total cultivada de 2,4 e 3,2 milhões de hectares, produção nacional de 12,2 e 3,3 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 5.182 e 1.044 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, segundo Conab (2015).

São muitos os efeitos que os sistemas de sucessão/rotação de culturas provocam nas estruturas física, química e biologia do solo em SPD, ou seja, com o acúmulo de resíduos sobre a superfície do solo aumenta o seu teor de matéria orgânica, alterando sua estrutura, aumentando a porosidade e a agregação, melhorando a infiltração, o armazenamento de água, a aeração e o desenvolvimento das raízes e das plantas. Na camada superficial do solo, também aumentam os teores e a disponibilidade de nutrientes e de água, que se tornam mais equilibrados em função do desenvolvimento de diferentes espécies, com habilidades diferenciadas para extrair, reciclar, fixar e exportar nutrientes. Também a biologia do solo (macro, meso e microfauna e flora) é incrementada em razão das condições ambientais favoráveis, proporcionando melhor desenvolvimento dos cultivos (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

O cultivo de plantas de cobertura do solo com sistemas radiculares que exploram diferentes volumes de solo proporciona ciclagem de nutrientes (BOER et al., 2007). Com a decomposição dos resíduos vegetais dessas plantas são liberados nutrientes que contribuem para aumentos na produtividade do milho (LARA CABEZAS et al., 2004) e da soja (CARVALHO et al., 2004) ou manutenção da produtividade dessas culturas (ANDRIOLI, 2004; BERTIN; ANDRIOLI; CENTURION, 2005). Segundo Tanaka et al. (1992), a utilização de mucuna-preta, crotalária e lablab como adubos verdes possibilitou aumentos significativos na produtividade de feijão e da soja em sucessão.

Genro Junior et al. (2009), avaliando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação, concluíram que a produtividade das culturas foi influenciada positivamente na rotação com crotalária, enquanto os demais sistemas de produção não diferiram da sucessão de culturas.

Silveira et al. (2008), estudando sobre os efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo, verificaram que os sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas afetaram a densidade, a microporosidade, a macroporosidade e a porosidade total do solo. O plantio direto contínuo apresentou valores de densidade do solo mais elevados e menores valores de macroporosidade e de porosidade total em relação aos demais tratamentos. A densidade do solo no plantio direto contínuo tendeu a diminuir com o passar do tempo. Nesse sistema, a rotação de culturas que envolveu mais plantios de soja no verão apresentou menor densidade e maior porosidade total do solo em relação a rotação que envolveu milheto e milho.

A temperatura do solo é um fator que influencia na germinação das sementes, no enraizamento de estacas, no crescimento das raízes, na atividade de microrganismos, na disponibilidade e absorção de nutrientes da solução do solo, no teor de água e nas reações de formação do solo (MALAVOTA, 2006). Contudo, conhecer a condutividade térmica, principalmente nas camadas superficiais do solo nos diversos estádios fenológicos da cultura comercial é fundamental, podendo-se prever se o calor afetou o crescimento e aprofundamento das raízes e a absorção de nutrientes, com reflexos em incrementos de produtividades na sucessão/rotação de culturas comerciais em diversos sistemas de produção no Cerrado devido suas condições climáticas.

Montanari et al. (2010), verificaram que a produtividade média de grãos de feijão não atingiu seu maior potencial de produtividade. Isso porque o estado de compactação presente no solo sob o SPD provavelmente desencadeou redução de 26,6 % nessa

produtividade. Os valores médios da densidade do solo de 1,36 a 1,41 Mg m<sup>-3</sup> proporcionaram substancial queda da produtividade de grãos de feijão.

Almeida et al. (2008), em Latossolo Vermelho de Cerrado, verificaram que os sistemas de rotação de culturas, plantas de cobertura e manejos do solo influenciaram os atributos físicos e químicos do solo, bem como a produtividade das culturas de feijão, milho e soja. Além disso, verificaram que o SPD, após três anos de instalada a rotação, degradou mais os atributos físicos do solo na camada superficial. Por outro lado, nesse sistema e camada de solo, notou-se acréscimo no teor de matéria orgânica e no pH, bem como produtividade do milho superior à do sistema de preparo convencional. O feijão em rotação à soja, no SPD, foi a melhor opção quanto ao desempenho de produtividade.

Uma sucessão adequada de culturas pode trazer benefícios não apenas em termos de aumento de produtividade de grãos da cultura mais importante que a constitui como também traz benefícios a todo o ambiente. Isto porque permite aumento da cobertura e proteção do solo (portanto maior controle da erosão), melhor equilíbrio das características físicas, químicas e biológicas do solo (equilíbrio entre os nutrientes, melhor estruturação do solo, aumento da população de minhocas entre outros organismos) e, com a variação de produtos e dosagens (inseticidas, herbicidas) promove redução e maior eficiência no controle de pragas e plantas daninhas (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Stone; Silveira (2001), em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram que as rotações soja/trigo, soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão e arroz/feijão proporcionaram maior densidade na camada de 0,00-0,10 m. Contudo, os tratamentos com rotação trienal foram semelhantes aos sistemas de sucessão milho/feijão e arroz consorciado com calopogônio/feijão.

Para preservar a qualidade do solo e eliminar a necessidade de mobilizações no SPD é recomendado o uso da sucessão ou rotação de culturas, a qual diminui a densidade e aumenta a porosidade, a condutividade hidráulica saturada e a estabilidade de agregados do solo, conforme constatado por Albuquerque et al. (1995) e Campos et al. (1995), em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, e por Wohlenberg et al. (2004), em Argissolo Vermelho-Amarelo. Em Latossolo Vermelho distroférico, cultivado sob sistema plantio direto e rotação de culturas, Secco et al. (2004) observaram que níveis elevados de compactação prejudicaram os atributos físicos do solo, mas não a produtividade da soja.

Assim, estudos multidisciplinares (manejos conservacionistas, atributos físicos e químicos do solo), envolvendo o uso de plantas de cobertura na entressafra com sistema radicular pivotante, abundante e profundo e/ou descompactação mecânica, com escarificador combinado com uma sucessão de culturas adequadas para um SPD implantado, podem



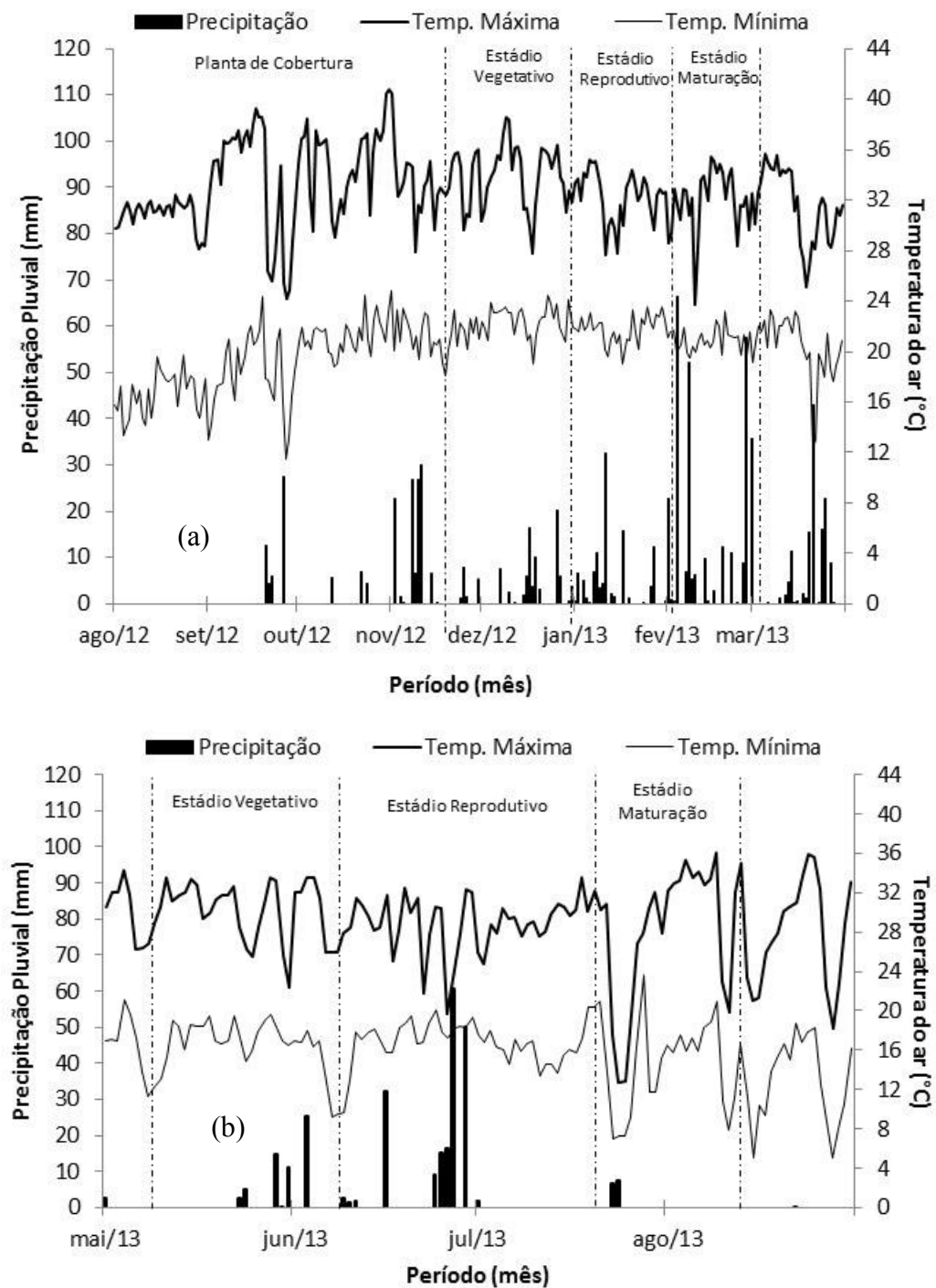
proporcionar melhorias e/ou manutenção do sistema de produção. Essas práticas agrícolas proporcionarão alterações positivas e duradouras nos atributos químicos e físicos do solo, podendo também levar ao aumento da produtividade de biomassa, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, romper camadas compactadas, exploração alternada de diferentes profundidades do solo, manutenção ou aumento dos teores da matéria orgânica e melhorar o equilíbrio e a disponibilidade de nutrientes no solo. Além disso, poderão ocorrer incrementos e estabilização na produtividade do arroz e feijão em sucessão na região de Cerrado de baixa altitude, particularmente no Cerrado Sul-Matogrossense.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi desenvolvido em 2012/13 e 2013/14, no município de Selvíria (MS), em Cerrado Sul-Matogrossense, na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, situada a 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich, 20° 22' de Latitude Sul e altitude de 335 metros aproximadamente. O solo local é do tipo Latossolo Vermelho, epi-eutrófico álico, textura argilosa (DEMATTE, 1980; EMBRAPA, 2006). A precipitação média anual é de 1.370 mm, a temperatura média anual é de 23,5°C e a umidade relativa do ar entre 70 e 80% (média anual). De acordo com Köppen, o tipo climático é Aw, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

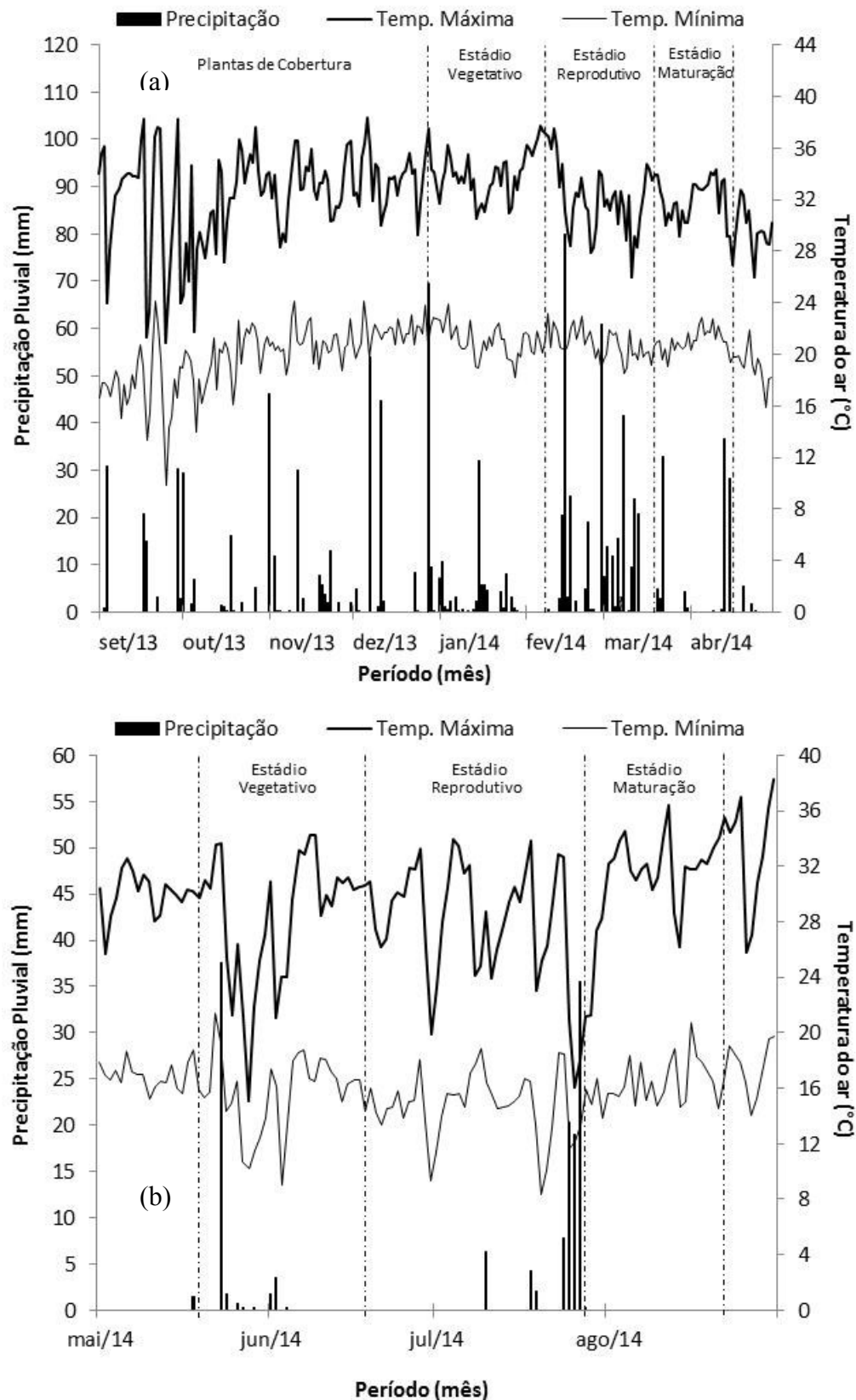
Os dados climáticos registrados durante a condução do experimento das plantas de cobertura (PC), arroz e feijão constam nas Figuras 1 e 2, em que estão apresentados os dados de precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima, registrados na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental da UNESP – Ilha Solteira. O fornecimento de água foi efetuado de três em três dias, ou quando necessário, por aspersão, por meio de um sistema fixo de irrigação do tipo pivô central. A lâmina de água em cada irrigação foi de 14 mm.

**Figura 1** - Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), em Selvíria, MS, durante a condução dos experimentos de plantas de cobertura e arroz de terras altas em 2012/13 (a) e o feijão “de inverno” em 2013 (b).



Fonte: UNESP (2015).

**Figura 2** - Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), em Selvíria, MS, durante a condução dos experimentos de plantas de cobertura e arroz de terras altas em 2013/14 (a) e o feijão “de inverno” em 2014 (b).



Fonte: UNESP (2015).

A área experimental vinha sendo utilizada há 12 anos em sistema plantio direto (SPD), sendo cultivada em 2009/10, 2010/11 e 2011/12 com as culturas do milho (verão) e feijão (inverno), exceto no inverno de 2011/12 que foi mantida em pousio. Em 2012/13 e 2013/14 foi realizado o manejo com descompactação mecânica do solo em 09/08/2012, seguida de cultivos sucessivos durante os dois anos de plantas de cobertura e arroz de terras altas e feijão “de inverno” em sucessão (Tabela 1).

Antes da instalação do experimento foi realizada a caracterização química e física do solo em 14/06/2012. Após o diagnóstico dos atributos químicos e físicos do solo (Tabela 2), aplicou-se em 10/07/2012, em toda área experimental conforme recomendação de Raij et al. (1997), 1.600 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 85%, usando equipamento com distribuidor a lanço. Foram realizados os cálculos de necessidade de calagem preconizada para o estado de São Paulo, com metas de saturação por bases para a calagem de 70% para o cultivo do feijão “de inverno”, principalmente, em sucessão ao arroz de terras altas (RAIJ et al. 1997).

**Tabela 1** - Histórico da área experimental nos últimos cinco anos agrícolas, Selvíria, 2014.

| Ano Agrícola      |                 | Estação           |                    |                     |
|-------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|                   |                 | Primavera         | Verão              | Inverno             |
|                   | agosto          | setembro-novembro | novembro-março     | maio-agosto         |
| 2009/10           |                 | Pousio            | Milho              | Feijão              |
| 2010/11           |                 | Pousio            | Milho              | Feijão              |
| 2011/12           |                 | Pousio            | Milho              | Pousio              |
| 2012/13 (Projeto) | DM <sup>1</sup> | PC <sup>2</sup>   | Arroz <sup>3</sup> | Feijão <sup>3</sup> |
| 2013/14 (Projeto) |                 | PC                | Arroz <sup>3</sup> | Feijão <sup>3</sup> |

Nota: <sup>1</sup>DM: Escarificação mecânica do solo na profundidade de 0,30 m; <sup>2</sup>PC: Plantas de cobertura; <sup>3</sup>Amostragem física e química do solo, após cultivo do arroz e do feijão;

Fonte: Elaboração do autor.

### 3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO

#### 3.1.1 Época 1 - Caracterização inicial

##### 3.1.1.1 Atributos químicos do solo

Antes da escarificação mecânica do solo e da semeadura das plantas de cobertura foi realizada a coleta de uma amostra composta, originada de 20 amostras simples deformadas do

solo em toda área experimental, nas camadas estratificadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m em 14/06/2012, com resultados médios apresentados na Tabela 2.

### 3.1.1.2 Atributos físicos do solo

#### 3.1.1.2.1 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Antes da escarificação mecânica do solo e da semeadura das PC foram retiradas amostras indeformadas de solo em 10 pontos aleatórios em toda área experimental, nas camadas citadas, por meio de anéis volumétricos com volume de  $10^{-4} \text{ m}^3$  em 14/06/2012, com resultados médios apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos do solo da área experimental, antes da instalação do experimento, nas camadas estudadas. Selvíria, MS, 2012.

|           | P                      | M.O.               | pH                | K   | Ca | Mg | H+Al                               | Al | SB   | CTC  | S                      | V  | m  |
|-----------|------------------------|--------------------|-------------------|-----|----|----|------------------------------------|----|------|------|------------------------|----|----|
| Prof. (m) | mg<br>dm <sup>-3</sup> | g dm <sup>-3</sup> | CaCl <sub>2</sub> |     |    |    | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |    |      |      | mg<br>dm <sup>-3</sup> | %  | %  |
| 0,00-0,05 | 29                     | 24                 | 5,9               | 3,5 | 41 | 25 | 19                                 | 0  | 69,5 | 88,5 | 3                      | 79 | 0  |
| 0,05-0,10 | 6                      | 17                 | 4,9               | 1,8 | 17 | 12 | 33                                 | 2  | 30,8 | 63,8 | 6                      | 48 | 6  |
| 0,10-0,20 | 38                     | 15                 | 4,5               | 1,3 | 10 | 7  | 38                                 | 6  | 18,3 | 56,3 | 13                     | 33 | 25 |
| 0,20-0,40 | 7                      | 13                 | 4,8               | 1,4 | 10 | 8  | 29                                 | 2  | 19,4 | 48,4 | 43                     | 40 | 9  |

| Prof. (m) | Textura do solo    |                    |                    | Atributos físicos do solo      |                                |                                |                    |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
|           | Areia              | Silte              | Argila             | Macro                          | Micro                          | P. Total                       | Ds                 |
|           | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> | Mg m <sup>-3</sup> |
| 0,00-0,05 | 403                | 157                | 440                | 0,08                           | 0,36                           | 0,44                           | 1,49               |
| 0,05-0,10 | 389                | 127                | 484                | 0,06                           | 0,35                           | 0,41                           | 1,56               |
| 0,10-0,20 | 385                | 120                | 495                | 0,07                           | 0,35                           | 0,42                           | 1,54               |
| 0,20-0,40 | 352                | 121                | 527                | 0,10                           | 0,36                           | 0,46                           | 1,42               |

Prof.(m): profundidade do solo (metro); P: fósforo disponível(resina); M.O.: Matéria orgânica; K, Ca, Mg e Al trocáveis; S-SO<sub>4</sub>: Enxofre; H+Al: Acidez potencial; SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de troca de cations; V(%): saturação por bases; m(%): saturação por alumínio; P. total: porosidade total; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; Ds: Densidade do solo;

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, dispostos em um esquema fatorial 5x2, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco plantas de cobertura (pousio (controle), *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*) com e sem escarificação mecânica do solo. Nos pousios (controle) com e sem escarificação do solo, permitiu-se o desenvolvimento da vegetação espontânea de plantas, com predominância das espécies *Ipomoea purpurea*, *Bidens pilosa*, *Leonotis nepetaefolia*, *Conyza bonariensis*, *Commelia benghalensis* e tigueria de *Zea mays*. Cada parcela tinha dimensões de 12 m de comprimento por 7 m de largura.

As plantas de cobertura foram implantadas utilizando-se espaçamento e densidade recomendada e apresentam as seguintes características, segundo Wutke, Calegari e Wildner (2014):

**Guandu** (*Cajanus cajan*): é uma planta anual ou semiperene, arbustiva, de crescimento determinado ou indeterminado, sendo uma leguminosa capaz de fixar nitrogênio ( $41$  até  $280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e solubilizar e disponibilizar o fósforo combinado com o ferro (Fe) em solos onde o elemento encontra-se indisponível, e atua como “protetora”, “recuperadora” e “mobilizadora” de nutrientes em áreas degradadas. Adaptada a regiões tropicais e subtropicais, tolerante à seca e à baixa fertilidade do solo, porém não tolera umidade excessiva. Essa espécie é considerada má hospedeira de nematóides de cistos. Desenvolve-se bem em solos de textura argilosa ou arenosa, com potencial de produção de biomassa seca ( $5$  a  $18 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em situações de precipitação pluvial entre  $200$  e  $400 \text{ mm}$ . O sistema radicular é vigoroso, bem desenvolvido em profundidade (maior tolerância à seca) e tem capacidade para ser “subsolador biológico”, ou seja, atua no rompimento de camadas compactadas do solo, com formação de pé-de-grade ou pé-de-arado.

**Crotalária** (*Crotalaria juncea*): espécie originária da Índia, com ampla adaptação às regiões tropicais. As plantas são anuais, arbustivas, de crescimento ereto e determinado, produzem fibras e celulose de alta qualidade, próprias para a indústria de papel e outros fins. Recomendada para adubação verde, em cultivo isolado, intercaladas em culturas perenes, na reforma de canavial ou em rotação com culturas graminíferas, é uma das espécies leguminosas de mais rápido crescimento inicial, atingindo, em estação normal de crescimento  $3,0$  a  $3,5 \text{ m}$  de altura. São muito bem adaptadas a solos de textura arenosa e reduzida fertilidade, podendo ser obtidos aumentos de até  $100\%$  no rendimento das culturas em sucessão. A produtividade de biomassa seca é variável, sendo de  $4$  a  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Seu sistema radicular é pivotante e profundo, com contribuição na melhoria da infiltração de água, da capacidade de fixação biológica de N ( $150$  a  $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), mais há registro de até  $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N, e da ciclagem de vários nutrientes no perfil do solo, como N, P, Ca e Mg.

**Milheto** (*Pennisetum glaucum*): é uma forrageira de clima tropical, anual, de hábito ereto, com porte alto, desenvolvimento uniforme, bom perfilhamento, fácil manejo e dessecação simples, com baixas dosagens de herbicidas. Essa gramínea desenvolve-se bem em solos arenosos e pouco compactados (FRIBOURG, 1995). Nessa classe de solo, pode produzir maior quantidade de biomassa seca do que sorgo, em torno de  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Apresenta alta tolerância à seca, podendo ser usado com sucesso para cobertura de solo em SPD, na

região do Cerrado. Apresenta sistema de raízes abundante e agressivo, que rompe camadas compactadas, além de melhorar a estrutura e a reciclagem de nutrientes no perfil do solo.

*Urochloa ruziziensis*: as gramíneas do gênero *Urochloa* (*Brachiaria*) e/ou braquiária-peluda, têm plantas semieretas, em toceiras, não tolerantes ao encharcamento do solo e com altura entre 0,9 a 1,3 m. Produz em média de 10 a 14 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa seca. São muito utilizadas na formação de pastagens por apresentarem boa adaptação às mais variadas condições de clima e solo, e para produção de biomassa em SPD, ocupando cada vez mais espaço em todo o território do Brasil. De acordo com Soares Filho (1994), as gramíneas desse gênero apresentam boa produção de forragem em solos com baixa e média fertilidade. Atualmente, pode-se dizer que é uma das principais gramíneas utilizadas no sistema de integração lavoura-pecuária em consórcio com o milho, milheto, sorgo e arroz, sem prejuízos a produtividade dessas culturas devido à reduzida competição em cobertura foliar. As gramíneas forrageiras são também consideradas adubos verdes/plantas de cobertura do solo, tanto em rotação com culturas anuais como em consórcio com perenes.

Foram desenvolvidos na área experimental seis cultivos, sendo dois no período de primavera (plantas de cobertura), dois no período de verão (arroz de terras altas) e dois no período inverno (feijão “de inverno”) em sistema de sucessão de culturas no SPD no Cerrado Sul-Matogrossense, distribuídos nos seguintes subprojetos:

### 3.2 ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE COBERTURA EM SPD EM ÁREAS COMPACTADAS (SUBPROJETO 1)

A escarificação mecânica do solo em parte da área experimental foi realizada em 09/08/2012, antes da semeadura das plantas de cobertura na primavera utilizando um escarificador Jumbo Matic acoplado na barra de tração do trator. O escarificador possui sete hastes (três na barra dianteira e quatro na traseira) de formato inclinado e ponteira em cinzel, com espaçamento entre hastes de 300 mm e ângulo de ataque de 22°, e rolo destorreador. O ajuste de profundidade de trabalho média foi de 0,30 m e largura da faixa de corte de 2,10 m. A operação foi realizada quando o solo encontrava-se com teor de umidade próximo ao do ponto de friabilidade. Na sequência, nas partes escarificadas realizou-se uma operação com grade leve.

Todas as plantas de cobertura foram semeadas manualmente na primavera (14/08/2012 e 05/09/2013), com uso de matraca, sem fertilizante mineral, com espaçamento entrelinha de 0,45 m. As densidades de semeadura utilizadas para o guandu anão foram de 60



kg ha<sup>-1</sup>, crotalaria e milho de 30 kg ha<sup>-1</sup> e para *Urochloa ruziziensis* de 12 kg ha<sup>-1</sup>. Foi realizada aplicação de defensivos agrícolas específicos nas sementes e durante o desenvolvimento das plantas de cobertura de *Crotalaria juncea* e guandú devido à ocorrência de doenças fúngica do solo (*Fusarium* spp. e *Macrophomina* spp.) com maior incidência e severidade na *Crotalaria juncea*, causando sintomas de tombamento e secagem de algumas plantas, sendo também realizado o replantio aos 10 dias após emergência das PC nas parcelas danificadas com auxílio de matracas com sementes tratadas com fungicida e inseticida específico, nos dois anos de cultivo, procurando manter a população adequada e conforme as condições fitossanitárias no momento da dessecação das PC.

Todas as plantas de cobertura e os pousios foram dessecadas em 22/10/2012 e 08/11/2013, aos 68 dias após semeadura (DAS) e aos 63 DAS, respectivamente, com os herbicidas glyphosate (1.440 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) + 2,4-D (670 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). Os herbicidas foram aplicados com pulverizador tratorizado de barras regulado para 200 L ha<sup>-1</sup> de calda. O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente com auxílio de enxada no intuito de manter a cultura livre da competição com plantas daninhas durante o cultivo das plantas de cobertura.

Após 10 dias da dessecação das plantas de cobertura e pousios, procedeu-se a operação com triturador horizontal de palha mecânico com o objetivo de facilitar a semeadura do arroz e a demarcação das parcelas experimentais, em todas as plantas de cobertura e pousios em 01/11/2012 (1º ano) e 21/11/2013 (2º ano), com altura de corte de 0,10 m, acima do nível do solo, nos dois anos de cultivo, em seguida foram realizadas as seguintes avaliações por tratamento:

### **3.2.1 Produtividade de matéria seca (MS) da parte aérea**

Após o manejo das plantas de cobertura com triturador mecânico, foram realizadas as avaliações da MS da parte aérea em 05/11/2012 e 25/11/2013. Foram realizadas amostragens ao acaso com quadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 x 0,5 m) em quatro pontos representativos de cada parcela. Posteriormente, o material fragmentado coletado foi submetido à secagem em estufa de renovação e circulação forçada de ar na temperatura de 65°C, até atingir massa constante. A MS na parte aérea foi obtida, dessa maneira, pela média aritmética entre os quatro pontos amostrados, com os valores médios transformados para Mg ha<sup>-1</sup>. Após a pesagem, o material foi devolvido para a área de coleta.

### 3.2.2 Acúmulo de nutrientes na parte aérea

Os teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas plantas de cobertura foram determinados após a avaliação de MS da parte aérea, coletando-se uma subamostra de 30 g de cada parcela. As determinações de tais nutrientes foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP – Campus de Ilha Solteira, conforme metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os teores de macrocrescuentes foram expressos em g kg<sup>-1</sup> de MS. Os teores de macronutrientes acumulados pelas plantas de cobertura foram obtidos pelo produto da concentração dos respectivos nutrientes determinados nas subamostras (g kg<sup>-1</sup>) e a MS da parte aérea das plantas de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>) e pousios, com os resultados estimados em kg ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.3 Persistência dos resíduos vegetais no SPD

No SPD foi mensurada a persistência dos resíduos vegetais deixados sobre a superfície do solo. A avaliação foi realizada pelo método do ponto quadrado (SPEEDING; LARGE, 1957) constituído de um quadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 x 0,5 m) com linhas fixadas a cada 5 cm em todos os lados, formando uma grade de 100 pontos nos locais de intersecção das linhas. Foram amostrados dois pontos representativos em cada parcela a cada 30 dias, no período correspondente entre a semeadura e a colheita do arroz de terras altas (30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura), sendo realizadas em 18/12/2012, 10/01/2013, 15/02/2013 e 15/03/2013 (1º ano) e em 27/01/2014, 25/02/2014, 24/03/2014 e 25/04/2014 (2º ano), respectivamente. Dessa maneira, a persistência dos resíduos vegetais foi obtida pela média aritmética entre os dois pontos amostrados, com os valores médios expressos em porcentagem (%).

## 3.3 ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS IRRIGADO POR ASPERSÃO (SUBPROJETO 2).

Após operação com triturador mecânico, foram realizadas as semeaduras mecânica do arroz de terras altas em 13 de novembro de 2012 e 21 de dezembro de 2013, sendo conduzida de novembro/dezembro a março/abril, sob irrigação por aspersão, seguindo o mesmo delineamento experimental e os tratamentos adotados, em ambos os anos de cultivo. As parcelas do arroz foram constituídas de 20 linhas de 12 m de comprimento espaçadas 0,35 m

entre si, sendo consideradas como área útil as 18 linhas centrais, desprezando-se 0,5 metros, em ambas as extremidades de cada linha. A adubação básica nos sulcos de semeadura foi calculada de acordo com as características químicas do solo e levando-se em consideração as recomendações de Cantarella; Furlani (1996) e foi constituída de 250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 06-30-10 (2012/13) e 280 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 04-14-08 (2013/14).

Utilizou-se os cultivares de arroz IAC 203 e IAC 202 na safra 2012/13 e 2013/14, respectivamente, que apresentam arquitetura moderna com folhas eretas e porte baixo (média 0,96 m), resistentes ao acamamento, com ciclo médio de 112 dias e floração de 50% aos 69 dias (REGITANO NETO, 2013). Foi utilizado número de sementes certificadas, nos dois anos de cultivo, necessário para obter uma população de 180 plantas m<sup>-2</sup>. O tratamento de sementes foi realizado com piraclostrobina + tiofanato-metílico + fipronil (5 g + 45 g + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes), nos dois anos de cultivo do arroz.

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada 30 dias após a emergência (DAE) das plântulas na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, em 18/12/2013 e 22/01/2014, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio, nos dois anos de cultivo, seguindo recomendações de Cantarella; Furlani (1996).

O controle de plantas daninhas foi realizado com a utilização de herbicidas aplicados por pulverizador tratorizado regulado para 200 L ha<sup>-1</sup> de taxa de aplicação. Após a semeadura aplicou-se o herbicida pendimethalin (1.400 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), nos dois anos de cultivo. Aos 15 e aos 24 DAE das plantas foi utilizado em pós-emergência os herbicidas metsulfuron methyl (2 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e o bentazon (720 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), respectivamente, no primeiro ano de cultivo. No segundo ano de cultivo, aplicou-se somente aos 13 DAE das plantas em pós-emergência o herbicida bentazon (720 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). As demais plantas daninhas não controladas pelos herbicidas foram eliminadas manualmente com auxílio de enxada, em ambos os anos de cultivo.

Foi realizado controle preventivo de brusone com o uso de um fungicida a base de trifloxistrobina (75 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) + tebuconazole (150 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), nos dois anos de cultivo, sendo realizada uma aplicação aos 58 DAE e outra aos 79 DAE das plantas, no primeiro ano de cultivo e aos 60 DAE e outra aos 82 DAE das plantas, no segundo ano de cultivo. No segundo ano de cultivo do arroz, devido ocorrência de ataque intenso de adultos e ninfas (3º estágio) de percevejo do colmo, foi necessária a aplicação de inseticida a base tiametoxam (500 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). Foi realizada uma aplicação aos 82 DAE (associada a 2ª aplicação do fungicida) e outra aos 91 DAE das plantas do arroz. Nas aplicações de fungicidas e inseticidas foi utilizado pulverizador tratorizado regulado para 200 L ha<sup>-1</sup> de taxa de aplicação.

Os demais tratos culturais e fitossanitários foram os normalmente recomendados à cultura do arroz de terras altas para a região, em ambos os anos de cultivo. As colheitas semi-mecanizadas do arroz foram realizadas em 04/03/2013 e 10/04/2014.

Foram realizadas as seguintes avaliações, nos dois anos de cultivos:

### **3.3.1 Emergência das plântulas**

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a semeadura e a emergência da maioria das plântulas (ponto de agulhamento).

### **3.3.2 Floração**

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a floração de 50% das plantas das parcelas.

### **3.3.3 Avaliação da temperatura do solo**

Foram realizadas leituras (sensores *iButton ThermoChron*<sup>®</sup>), no primeiro (15 de janeiro de 2013 a 25 de fevereiro de 2013) e segundo (21 de fevereiro a 03 de abril de 2014) ano de cultivo, sendo as leituras realizadas entre um período compreendido entre os 20 dias antes e 20 dias após o momento do florescimento pleno do arroz de terras altas, correspondendo a um período total de 40 dias aproximadamente.

### **3.3.4 Maturação**

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a maturação de 90% das panículas da parcela.

### **3.3.5 Altura de plantas (m)**

Durante o estágio de grãos na forma pastosa foi determinada em 10 plantas ao acaso, na área útil de cada parcela a distância média compreendida desde a superfície do solo até a extremidade superior da panícula mais alta.

### **3.3.6 Acamamento**

Foi determinado por observações visuais na fase de maturação, utilizando-se a seguinte escala de notas: 0 – sem acamamento; 1 – até 5% de plantas acamadas; 2 – 5 a 25%, 3 – 25 a 50%; 4 – 50 a 75% e 5 – 75 a 100% de plantas acamadas.

### **3.3.7 Número de panículas por metro quadrado**

Foi realizada a contagem do número de panículas em 1,0 m de fileira de plantas na área útil das parcelas e posteriormente calculado por metro quadrado.

### **3.3.8 Número total de grãos por panícula**

Foi realizada a contagem do número de grãos de 20 panículas coletadas ao acaso no momento da colheita, em cada parcela.

### **3.3.9 Número de grãos granados e chochos por panícula**

Foi realizada a contagem do número de grãos granados e chochos de 20 panículas após separação dos mesmos através de fluxo de ar.

### **3.3.10 Massa de 100 grãos**

Foi avaliada pela coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos de cada parcela (13% base úmida).

### **3.3.11 Produtividade de grãos**

Foi determinada pela pesagem dos grãos, provenientes da área útil das parcelas, colhidas manualmente em três linhas uniformes, corrigindo-se a umidade para 13% e convertendo em kg ha<sup>-1</sup>.

### **3.3.12 Massa hectolétrica**

Foi avaliada em balança para massa hectolétrica de 250 g, com teor de água nos grãos corrigidos para 13 % (base úmida), utilizando-se duas amostras por parcela.

### **3.3.13 Rendimento de engenho**

Foi retirada uma amostra de 100 g de grãos de arroz de cada parcela e a mesma foi processada em engenho de prova, por 1 minuto e, em seguida, os grãos brunidos (polidos) foram pesados, sendo que o valor encontrado foi considerado como rendimento de benefício. Posteriormente, os grãos brunidos foram colocados no “Trieur” número 1 por 30 segundos, para separação dos grãos inteiros e quebrados. Os grãos que permanecerem no “Trieur” foram pesados, obtendo-se o rendimento de inteiros e os demais, grãos quebrados. Todos os resultados expressos em porcentagens (%).

### 3.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

#### 3.4.1 Época 2 - Após cultivo do arroz de terras altas

Foram coletadas amostras compostas de solo, com auxílio de um trado. Cada amostra composta foi originada de dez pontos (amostras simples deformadas) por parcela, por camada após a colheita do arroz de terras, nas camadas supracitadas, sendo realizadas quatro repetições por tratamento. As mesmas foram realizadas entre os dias 19 a 22/03/2013 no primeiro ano de cultivo e entre 06 a 07/05/2014 no segundo ano de cultivo.

### 3.5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

#### 3.5.1 Época 2 - Após cultivo do arroz de terras altas

##### *3.5.1.1 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total*

Foram retiradas amostras indeformadas de solo em três pontos aleatórios dentro de cada parcela, por camada, após a colheita do arroz de terras, nas camadas supracitadas, sendo realizadas quatro repetições por tratamento. As mesmas foram realizadas entre o período de 19 a 22/03/2013 no primeiro ano de cultivo e entre 06 a 07/05/2014 no segundo ano de cultivo.

#### 3.5.2 Época 2 - Resistência do solo à penetração (RSP)

A RSP foi realizada nos mesmos períodos das avaliações químicas e físicas do solo, após a colheita do arroz de terras altas, em três pontos aleatórios dentro de cada parcela, nos dois anos de cultivo, utilizando-se um penetrômetro modelo Falker (PenetroLOG), nas camadas estratificadas supracitadas. Nas mesmas camadas foram coletadas três amostras para a determinação da umidade do solo, no momento da avaliação de RSP.

### 3.6 ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO “DE INVERNO” IRRIGADO EM SUCESSÃO A CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS (SUBPROJETO 3).

A semeadura mecânica do feijão foi realizada em 03/05/2013 e 13/05/2014, utilizando-se o cultivar Pérola que apresenta plantas do tipo III e grãos do tipo carioca. As sementes foram tratadas pouco antes da semeadura com carboxina + tiram (50 + 50 g de i.a. por 100 kg de sementes) + inoculante turfoso contendo *Rhizobium tropici*, nos dois anos de cultivo. A cultura foi conduzida de maio a agosto, sob irrigação por aspersão, seguindo o mesmo delineamento experimental e os tratamentos adotados, em ambos os anos cultivados.

As parcelas foram constituídas por 14 linhas de 12 m de comprimento, sendo consideradas como área útil as 12 linhas centrais, desprezando-se 0,5 m, em ambas as extremidades de cada linha. O espaçamento foi de 0,45 m entrelinhas com distribuição de sementes que permitia a obtenção de 12 plantas por metro.

A adubação básica nos sulcos de semeadura foi constituída de 250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 04-30-10 + 0,3% de Zn na safra 2012/13 e 220 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 08-28-16 na safra 2013/14, seguindo recomendações de Ambrosano et al. (1997) para os dois anos de cultivo. A adubação nitrogenada (N) em cobertura foi realizada aos 19 dias após emergência (DAE) das plântulas (18/05/2013) na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando como fonte o sulfato de amônio na safra 2012/13. Na safra 2013/14 a adubação N em cobertura foi realizada aos 21 DAE das plântulas (09/06/2014) na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando como fonte a uréia.

O controle de plantas daninhas foi realizado com a utilização de herbicidas aplicados por pulverizador tratorizado regulado para 200 L ha<sup>-1</sup> de calda. Em 26/04/2013, antes da semeadura do feijão aplicou-se o herbicida glyphosate (1.440 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e aos 12 DAE das plantas foi utilizado em pós-emergência o herbicida bentazon (720 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no primeiro ano de cultivo. Já no segundo ano de cultivo em 29/04/2014, antes da semeadura do feijão aplicou-se o herbicida glyphosate (1.440 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) + carfentrazona-etílica (20 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e aos 15 e 23 DAE das plantas foi utilizado em pós-emergência o herbicida fenoxaprope-P-etílico (83 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e o bentazon (720 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), respectivamente.

Os demais tratos culturais e fitossanitários foram os normalmente recomendados à cultura do feijão para a região. As colheitas semi-mecanizadas do feijão foram realizadas em 15/08/2013 e 22/08/2014.



Foram realizadas as seguintes avaliações, nos dois anos de cultivo:

### **3.6.1 População inicial e final de plantas**

Aproximadamente oito dias após a emergência das plantas e durante o momento da colheita foi avaliado, em duas linhas, na área útil das parcelas, o número de plantas com o objetivo de se calcular a população inicial e a população final de plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

### **3.6.2 Avaliação da temperatura do solo**

Foram realizadas leituras (sensores *iButton Thermochron*<sup>®</sup>), no primeiro (28 de maio à 02 de julho de 2013) e segundo (12 de junho à 24 de julho de 2014) ano de cultivo, sendo que as leituras foram realizadas entre um período compreendido entre os 20 dias antes e 20 dias após o momento do florescimento pleno do feijão “de inverno”, correspondendo a um período total de 40 dias aproximadamente em ambos os anos de cultivo.

Foram obtidas no solo dos tratamentos tanto para o arroz e o feijão, com de sensores instalados na profundidade de 0,05 m abaixo do nível da superfície do solo, e programados para realizarem leituras a cada 8 horas, sendo às 6h00, 14h00 e 22h00 do dia. Foi utilizado um sensor por tratamento, instalados nas 40 parcelas da área experimental. Os valores lidos pelos sensores foram gravados em bloco de notas e importados para Excel para apresentação dos dados obtidos e confecção de gráficos.

### **3.6.3 Matéria seca de plantas**

Por ocasião do florescimento pleno das plantas, foram coletadas 10 plantas em local pré-determinado na área útil, que foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 60-70°C até atingir massa em equilíbrio. Posteriormente, as amostras foram pesadas e os valores convertidos em  $\text{g planta}^{-1}$ .

### 3.6.4 Nitrogênio Foliar:

As folhas das plantas coletadas para avaliação anterior, na fase de desenvolvimento R<sub>6</sub> (florescimento pleno), foram moídas em moinho tipo Wiley em seguida foram submetidas à digestão sulfúrica, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

### 3.6.5 Componentes da produção:

Foram coletadas, por ocasião da colheita, 10 plantas na área útil das parcelas para a avaliação de: **número de vagens por planta:** foi determinado por meio da relação do número total de vagens/número de plantas; **número de grãos por planta:** foi obtido da relação do número total de grãos/número de plantas; **número médio de grãos por vagem:** foi calculado através da relação do número total de grãos/número total de vagens; **massa de 100 grãos:** foi obtido por meio da coleta ao acaso e pesagem de 2 amostras de 100 grãos por parcela;

### 3.6.6 Produtividade de grãos:

As plantas três linhas da área útil de cada parcela foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, as mesmas foram submetidas a trilha mecânica, os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha<sup>-1</sup> (13 % base úmida);

### 3.6.7 Ciclo:

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a colheita.

## 3.7 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

### 3.7.1 Época 3 - Após cultivo do feijão “de inverno”

Após cultivo do feijão, tanto no primeiro (26 a 28 de agosto de 2013) e segundo (28 a 29 de agosto de 2014) ano de cultivo, foram coletadas amostras compostas deformadas de solo, com auxílio de um trado de rosca. Cada amostra composta foi originada de 10 pontos (amostras simples) por parcela nas camadas supracitadas.

As amostras compostas coletadas nas épocas de caracterização inicial (1), após cultivo do arroz de terras altas (2) e após cultivo do feijão “de inverno” (3) para análises dos atributos químicos do solo, foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e levadas ao laboratório para análise, sendo realizadas quatro repetições por tratamento. No laboratório de fertilidade do solo as amostras compostas coletadas foram secas e peneiradas (malha 2 mm). Posteriormente foram submetidas à análise para determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, matéria orgânica, K, Ca e Mg trocáveis e P disponível foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons, conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculados os valores da soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e percentagem de saturação por bases do solo (V).

### **3.7.2 Estoque de carbono no solo**

Os teores de carbono (C) no solo foram determinados ao final dos subprojetos 2 e 3 (após cultivo do arroz e feijão), sendo estimado pelos resultados das análises dos atributos químicos e físicos do solo nas quatro épocas de coleta. Os estoques de carbono (EC) foram calculados a partir dos valores de C e dos valores da densidade do solo nas camadas estratificadas supracitadas e foi estimado a partir da expressão  $EC = (C \times Ds \times e) / 10$ , onde o EC representa o carbono acumulado (t ha<sup>-1</sup>); C, indica o teor de carbono orgânico na camada estudada (g kg<sup>-1</sup>); Ds, a densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>) e “e” a espessura da camada analisada em cm (FREIXO et al., 2002).

## **3.8 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

### **3.8.1 Época 3 - Após cultivo do feijão “de inverno”**

#### ***3.8.1.1 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total***

Após cultivo do feijão, tanto no primeiro (26 a 28 de agosto de 2013) e segundo (28 a 29 de agosto de 2014) ano de cultivo, foram coletadas amostras indeformadas de solo em 3 pontos aleatórios dentro de cada parcela, por camada, após a colheita do feijão, nas camadas supracitadas, sendo realizadas quatro repetições por tratamento.

Os atributos físicos do solo avaliados nas épocas 1, 2 e 3 foram analisados levando-se em consideração ambas as fontes de variação (descompactação mecânica e plantas de cobertura), e foram realizadas da seguinte forma: microporosidade pelo método da mesa de tensão, com coluna de água de 0,60 m, e a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Já porosidade total (pela saturação do volume da amostra) e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. Todas as avaliações supracitadas foram realizadas de acordo com Embrapa (1997).

### **3.8.2 Época 3 - Resistência do solo à penetração (RSP) e umidade gravimétrica (Ug)**

Após cultivo do feijão, tanto no primeiro (26 a 28 de agosto de 2013) e segundo (28 a 29 de agosto de 2014) ano de cultivo, a RSP foi realizada em três pontos aleatórios dentro de cada parcela, utilizando-se um penetrômetro modelo Falker (PenetroLOG), nas camadas estratificadas supracitadas. Foi realizada em 3 pontos aleatórios dentro de cada parcela e nas mesmas camadas a Ug do solo no momento da avaliação de RSP.

## **3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Na análise estatística de acamamento do arroz de terras altas e teor de alumínio do solo, os dados foram transformados em raiz quadrada de  $x + 0,5$ , para atenderem aos pressupostos básicos da análise de variância. Para as demais características avaliadas os dados não foram transformados. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para DM e PC. Quando constatada interação significativa entre as fontes de variação (DM vs PC), procedeu-se o desdobramento, comparando as médias pelo teste de Tukey, adotando-se nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ), de acordo com Pimentel Gomes; Garcia (2002). As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2000).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA ÁREA EM JUNHO DE 2012

O solo da pesquisa encontrava-se com sua estrutura degradada, baixa fertilidade natural, devido à elevada acidez, à escassez de bases trocáveis (Ca, Mg e K) e baixo teor de fósforo disponível (Tabela 2), além disso, apresentou uma zona de compactação na camada superficial até à profundidade de 0,20 m (macroporos, 0,06 a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e densidade do solo (Ds) de 1,42 a 1,56 Mg m<sup>-3</sup>, acidez alta (4,5 a 4,9) e V baixa (33 a 48%), com baixo teor de matéria orgânica e K nas diferentes camadas estudadas. Notou-se que, com o aumento da profundidade, ocorreu decréscimo dos valores de M.O., pH, K, Ca, Mg, S (lixiviação intensa), SB, CTC e V e aumento dos teores de Al e H+Al. O solo da área de pesquisa apresenta textura argilosa (440 a 527 g kg<sup>-1</sup>) e a Ds (1,17 a 1,28 Mg m<sup>-3</sup>) sob vegetação de Cerrado natural (SOUZA; ALVES, 2003a), podendo causar prejuízos ao desenvolvimento e penetração do sistema radicular do arroz de terras altas, principalmente e do feijão “de inverno” em sucessão em SPD, induzido pelo manejo inadequado do solo, proporcionando redução da porosidade e maior densidade, assim como, menor disponibilidade de água e nutrientes, principalmente até 0,20 m de profundidade.

### 4.2 ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE COBERTURA (PC) EM SPD EM ÁREAS COMPACTADAS (SUBPROJETO 1)

#### 4.2.1 Avaliações de produtividade de matéria seca (MS) e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de cobertura em 2012 e 2013

A produtividade de MS da parte aérea foi superior a 7,99 e 2,53 Mg ha<sup>-1</sup>, independente do solo escarificado em SPD (Tabela 3), em 2012 e 2013, respectivamente, além disso, houve acentuada redução da produtividade de MS da parte aérea em todos os tratamentos adotados de 2012 para 2013, devido ao histórico anterior da área experimental que vinha sendo utilizada há 12 anos em SPD, sendo cultivadas em 2009/10, 2010/11 e 2011/12 as culturas do milho (verão) e feijão (inverno), exceto no inverno de 2011/12 que foi mantida em pousio, com superior produtividade de MS da parte aérea dos tratamentos estudados em 2012,

provavelmente devido à adição de resíduos vegetais deixados na superfície do solo da cultura do milho em 2011/12.

Houve interações significativas para produtividade MS na parte aérea das plantas de cobertura, nas safras 2012 e 2013 (Tabela 3).

Analisando o desdobramento da interação plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para produtividade de MS na parte aérea na safra 2012 (Figura 3), verificou-se que as duas espécies de gramíneas e o feijão guandu anão com escarificação e crotalária em SPD apresentaram maior produtividade de MS na parte aérea. Segundo Abreu, Reichert e Reinert (2004), a “escarificação biológica” com crotalária considerando a condutividade hidráulica do solo saturado, em médio prazo, mostrou-se mais eficaz na ruptura da camada compactada e estabelecimento de poros condutores de água do que a escarificação mecânica do solo, portanto, isto explica a maior produtividade da crotalária em SPD. Corroborando os resultados obtidos por Vieira (2006), que verificou que a escarificação do solo em SPD tem se apresentado como alternativa viável para minimizar as limitações físicas ao crescimento das plantas. Em relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, constatou-se que o solo sob milheto, independente do solo escarificado, assim como sob crotalária em SPD proporcionaram maior produtividade de MS. No entanto, Bertin, Andrioli e Centurion (2005) não verificaram diferença entre a produtividade de MS na parte aérea do milheto e da *Crotalaria juncea*. Foram constatadas nesta pesquisa taxas diárias estimadas de acúmulo de matéria seca na parte aérea (68 DAS) das plantas de cobertura para o milheto de 193 kg ha<sup>-1</sup>, *Urochloa* de 154 kg ha<sup>-1</sup>, guandu e crotalária de 143 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2012.

Com relação ao desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para produtividade de MS na parte aérea na safra 2013 (Figura 3), merece destaque a pré-safra de milheto com (10,34 Mg ha<sup>-1</sup>) e sem (11,34 Mg ha<sup>-1</sup>) escarificação que promoveram incrementos na produtividade de MS na parte aérea. Resultado semelhante ao constatado por Francisco et al. (2011), em Cerrado, que avaliaram coberturas vegetais antecedendo o cultivo do milho em Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa e observaram maior quantidade de MS na parte aérea também para o milheto em relação à crotalária. Porém, tais pesquisadores utilizaram a *Crotalaria ochroleuca*. Foram estimadas nesta pesquisa taxas diárias de acúmulo de massa seca na parte aérea (63 DAS) das plantas de cobertura para o milheto de 172 kg ha<sup>-1</sup>, *Urochloa* de 79 kg ha<sup>-1</sup>, guandu e crotalária de 95 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2013.

**Tabela 3** - Produtividade e quantidades de macronutrientes acumulados na matéria seca (MS) na parte aérea das plantas de cobertura, após descompactação mecânica do solo em SPD no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, safra 2012 e 2013.

| Safra 2012 (68 Dias Após Semeadura - DAS) |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Acúmulo de nutrientes na parte aérea      |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
|                                           | MS                  | N                      | P                  | K                  | Ca                 | Mg                 | S                  |
|                                           | Mg ha <sup>-1</sup> | (kg ha <sup>-1</sup> ) |                    |                    |                    |                    |                    |
| Descompactação mecânica do solo (DM)      |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| Sem                                       | 10,01               | 126,9                  | 12,2               | 72,8               | 62,2               | 31,7               | 32,2               |
| Com                                       | 10,38               | 164,6                  | 15,9               | 93,4               | 51,6               | 26,7               | 46,6               |
| Plantas de cobertura (PC)                 |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| Pousio                                    | 7,99                | 79,1                   | 8,4                | 24,9               | 55,2               | 26,4               | 25,9               |
| <i>Urochloa</i>                           | 10,55               | 148,7                  | 14,7               | 101,2              | 53,3               | 32,2               | 39,6               |
| Milheto                                   | 13,05               | 152,4                  | 13,2               | 60,6               | 51,2               | 21,2               | 28,4               |
| Crotalária                                | 9,66                | 196,3                  | 14,6               | 73,9               | 58,8               | 25,3               | 39,4               |
| Guandu                                    | 9,72                | 162,0                  | 19,5               | 149,8              | 65,9               | 40,7               | 63,8               |
| Valores de F                              |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| DM                                        | 2,69 <sup>ns</sup>  | 25,12 <sup>*</sup>     | 30,46 <sup>*</sup> | 19,79 <sup>*</sup> | 8,89 <sup>*</sup>  | 16,46 <sup>*</sup> | 53,42 <sup>*</sup> |
| PC                                        | 52,22 <sup>*</sup>  | 25,77 <sup>*</sup>     | 26,56 <sup>*</sup> | 68,31 <sup>*</sup> | 2,12 <sup>ns</sup> | 30,92 <sup>*</sup> | 46,07 <sup>*</sup> |
| DMxPC                                     | 28,46 <sup>*</sup>  | 19,73 <sup>*</sup>     | 2,83 <sup>*</sup>  | 6,66 <sup>*</sup>  | 3,22 <sup>*</sup>  | 12,45 <sup>*</sup> | 23,69 <sup>*</sup> |
| CV(%)                                     | 7,09                | 16,31                  | 15,50              | 18,64              | 19,73              | 13,22              | 15,85              |
| Safra 2013 (63 Dias Após Semeadura - DAS) |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| Descompactação mecânica do solo (DM)      |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| Sem                                       | 6,19                | 97,14                  | 12,5               | 96,19              | 38,1               | 16,5               | 24,3               |
| Com                                       | 5,94                | 90,57                  | 11,8               | 84,86              | 33,4               | 15,8               | 23,6               |
| Plantas de cobertura (PC)                 |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| Pousio                                    | 2,53                | 26,3                   | 3,48               | 15,8               | 15,4               | 4,1                | 16,4               |
| <i>Urochloa</i>                           | 5,00                | 86,9                   | 10,8               | 112,0              | 27,2               | 17,8               | 17,8               |
| Milheto                                   | 10,84               | 127,6                  | 17,7               | 173,7              | 35,8               | 29,7               | 31,2               |
| Crotalária                                | 5,96                | 105,4                  | 13,8               | 78,7               | 48,4               | 15,3               | 24,2               |
| Guandu                                    | 5,96                | 123,1                  | 15,0               | 72,4               | 51,9               | 13,6               | 30,0               |
| Valores de F                              |                     |                        |                    |                    |                    |                    |                    |
| DM                                        | 1,85 <sup>ns</sup>  | 2,48 <sup>ns</sup>     | 1,72 <sup>ns</sup> | 5,04 <sup>*</sup>  | 5,71 <sup>*</sup>  | 0,76 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup> |
| PC                                        | 219,77 <sup>*</sup> | 77,47 <sup>*</sup>     | 69,95 <sup>*</sup> | 105,4 <sup>*</sup> | 46,2 <sup>*</sup>  | 103,2 <sup>*</sup> | 8,64 <sup>*</sup>  |
| DMxPC                                     | 10,46 <sup>*</sup>  | 8,76 <sup>*</sup>      | 5,29 <sup>*</sup>  | 5,91 <sup>*</sup>  | 10,8 <sup>*</sup>  | 4,11 <sup>*</sup>  | 4,02 <sup>*</sup>  |
| CV(%)                                     | 9,49                | 14,07                  | 15,15              | 17,63              | 17,54              | 15,93              | 27,31              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificador e PC, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

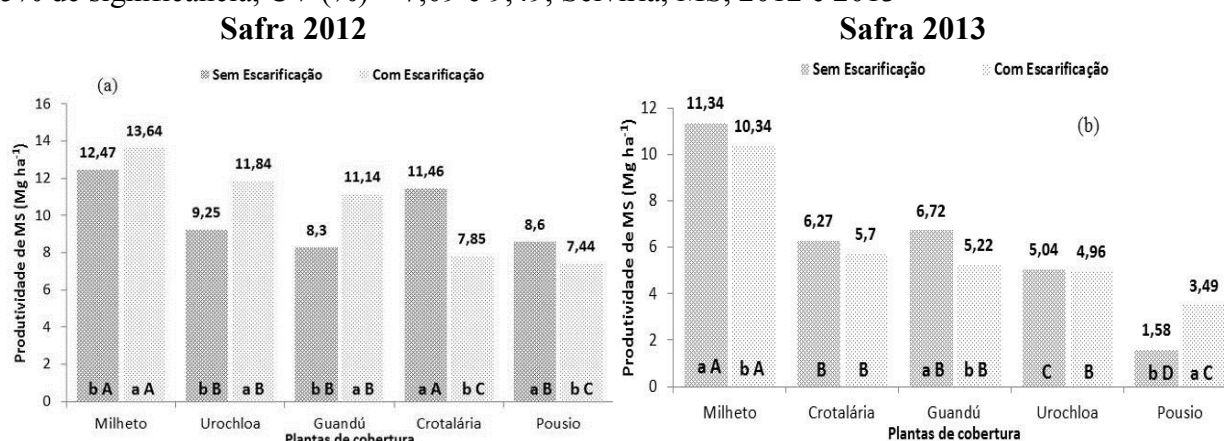
Fonte: Elaboração do autor.

Em relação ao acúmulo de nutrientes na parte aérea para PC, nas safras 2012 e 2013 (Tabela 3), houve interações significativas para todos macronutrientes estudados.

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para acúmulo de N na parte aérea na safra 2012 (Figura 4), constatou-se que o guandu (274,38 kg ha<sup>-1</sup>) e *Urochloa* (171,71 kg ha<sup>-1</sup>) com escarificação e o milho (185,81 kg ha<sup>-1</sup>) em SPD acumularam maior conteúdo de N da parte aérea, com acréscimos de 188,59;

85,92 e 113,42 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, em relação aos seus respectivos pousios (controle), independente da escarificação. Em relação à descompactação dentro de plantas de cobertura, notou-se que o cultivo antecessor de guandú com escarificação e o milho em SPD apresentaram maior acúmulo de N na parte aérea. O destaque maior foi para o cultivo anterior de guandú sob solo escarificado que acumulou 274,38 kg ha<sup>-1</sup> de N, apresentando o maior acréscimo em relação ao pousio com escarificação. Isso se deve à sua maior capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e reciclagem de N do subsolo, por ser uma leguminosa.

**Figura 3** - Desdobramento das interações referente a produção de matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura (PC), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (1,49 e 0,84 Mg ha<sup>-1</sup>) para safra 2012 e 2013, respectivamente, e maiúscula, para DM dentro de PC (1,05 e 1,19 Mg ha<sup>-1</sup>) para safra 2012 e 2013, respectivamente, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 7,09 e 9,49, Selvíria, MS, 2012 e 2013



**Fonte:** Dados do próprio autor.

Notou-se que houve redução acentuada de acúmulo de N na parte aérea na maioria das PCs, independente da escarificação, na safra 2013. Provavelmente devido à ocorrência de menor produtividade de MS na parte aérea das PCs, com reflexos em menores teores de N acumulados.

Analisando os resultados do desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para acúmulo de N na parte aérea na safra 2013 (Figura 4), merecem destaque o solo sob guandú (143,4 kg ha<sup>-1</sup>) e sob milho (142,7 kg ha<sup>-1</sup>) em SPD, que promoveram maiores acúmulo de N na parte aérea.

Para o desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para acúmulo de P na parte aérea nas safras 2012 e 2013 (Figura 4), merecem destaque os cultivos antecessores de milho (1º lugar) e guandú (2º lugar), independente da escarificação, que promoveram maiores acúmulos de P na parte



aérea. Resultado semelhante ao encontrado por Corrêa, Mauad e Rosolem (2004), que verificaram, após estudo do comportamento do P no solo, movimentação desse elemento em profundidade, com características distintas para cada espécie cultivada (milheto, aveia e sorgo-de-guiné), uma vez que na camada mais profunda (0,15 m), apenas o milheto proporcionou incremento nos teores de P. Esses autores concluíram que as espécies de cobertura também influenciaram na movimentação do P em profundidade e que o milheto foi mais eficiente na movimentação descendente do P disponível. Isto Evidencia o potencial do milheto e guandu, independente da escarificação em promoverem maior disponibilidade de P na solução do solo e, assim, o liberando para as culturas subsequentes, no caso arroz e o feijão em sucessão, nos dois anos de cultivo.

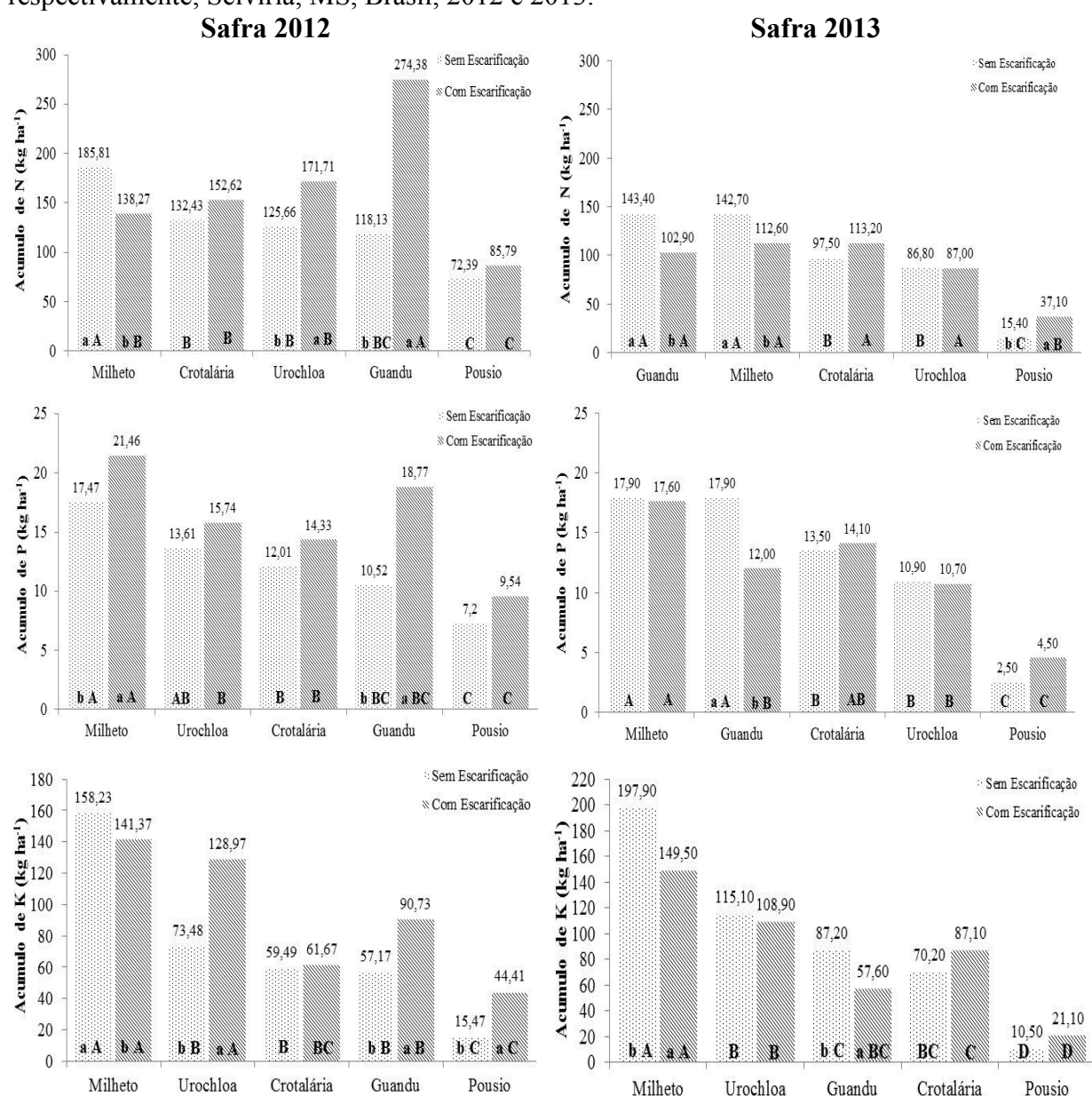
Em relação ao desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para acúmulo de K na parte aérea em 2012 e 2013 (Figura 4), notou-se que os cultivos anteriores de *Urochloa* e milheto, independente da escarificação, promoveram maiores acúmulos de K na parte aérea do que as demais PC e, principalmente, aos respectivos pousios (controle), proporcionando acréscimos de teores de K de 10 a 20 vezes.

A entressafra com guandu mostrou-se promissora, entretanto, com menor magnitude em proporcionar acúmulo de K na parte aérea. Esses resultados confirmam o potencial do milheto e *Urochloa*, independente do solo escarificado de serem plantas altamente eficientes na reciclagem e liberação do nutriente K extraído do solo, disponibilizando-o para a cultura sucessora, no caso o arroz e feijão em sucessão em SPD. Resultado semelhante ao encontrado por Raij et al. (1997), que observaram que os maiores teores K foram observados nos tratamentos *Urochloa* e milheto demonstrando, para este estudo, que a *Urochloa* foi mais eficiente em reciclar esse nutriente na camada superficial do solo, confirmando a alta eficácia da ciclagem de K pelas gramíneas. Corroborando os resultados obtidos por Pacheco et al. (2011), que verificaram elevadas taxas de liberação de  $K^+$  pelas gramíneas.

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para acúmulo de Ca na parte aérea na safra 2012 (Figura 5), constatou-se que o cultivo de milheto ( $76,09 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em SPD apresentou maior acúmulo de Ca na parte aérea. Para safra 2013, na descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, notou-se que o cultivo anterior de crotalária, independente da escarificação, promoveu maior acúmulo de Ca em relação às demais PCs e aos pousios, além disso, o solo sob guandu ( $64,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em SPD apresentou maior acúmulo de Ca, mesmo com reduções na produtividade de MS da parte aérea das PCs em 2013, não alterando o acúmulo de Ca na parte aérea, apresentaram reduções

de produtividade de MS da ordem de 45,3% e 27,4% para crotalária com e sem escarificação, respectivamente e de 19,0% para o guandu em SPD.

**Figura 4** - Desdobramento das interações para acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea das plantas de cobertura (PC) em 2012 e 2013, após descompactação mecânica (DM) do solo. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (34,48 e 19,15 kg ha<sup>-1</sup> para N, 3,16 e 2,67 kg ha<sup>-1</sup> para P, 22,47 e 23,16 kg ha<sup>-1</sup> para K), em 2012 e 2013, respectivamente, e maiúscula, na DM dentro de PC (49,09 e 27,27 kg ha<sup>-1</sup> para N, 4,05 e 3,80 kg ha<sup>-1</sup> para P, 31,99 e 32,97 kg ha<sup>-1</sup> para K), em 2012 e 2013, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, CV (%) = 13,31 e 14,07 para N, 15,50 e 15,15 para P e 18,64 e 17,63 para K, em 2012 e 2013, respectivamente, Selvíria, MS, Brasil, 2012 e 2013.



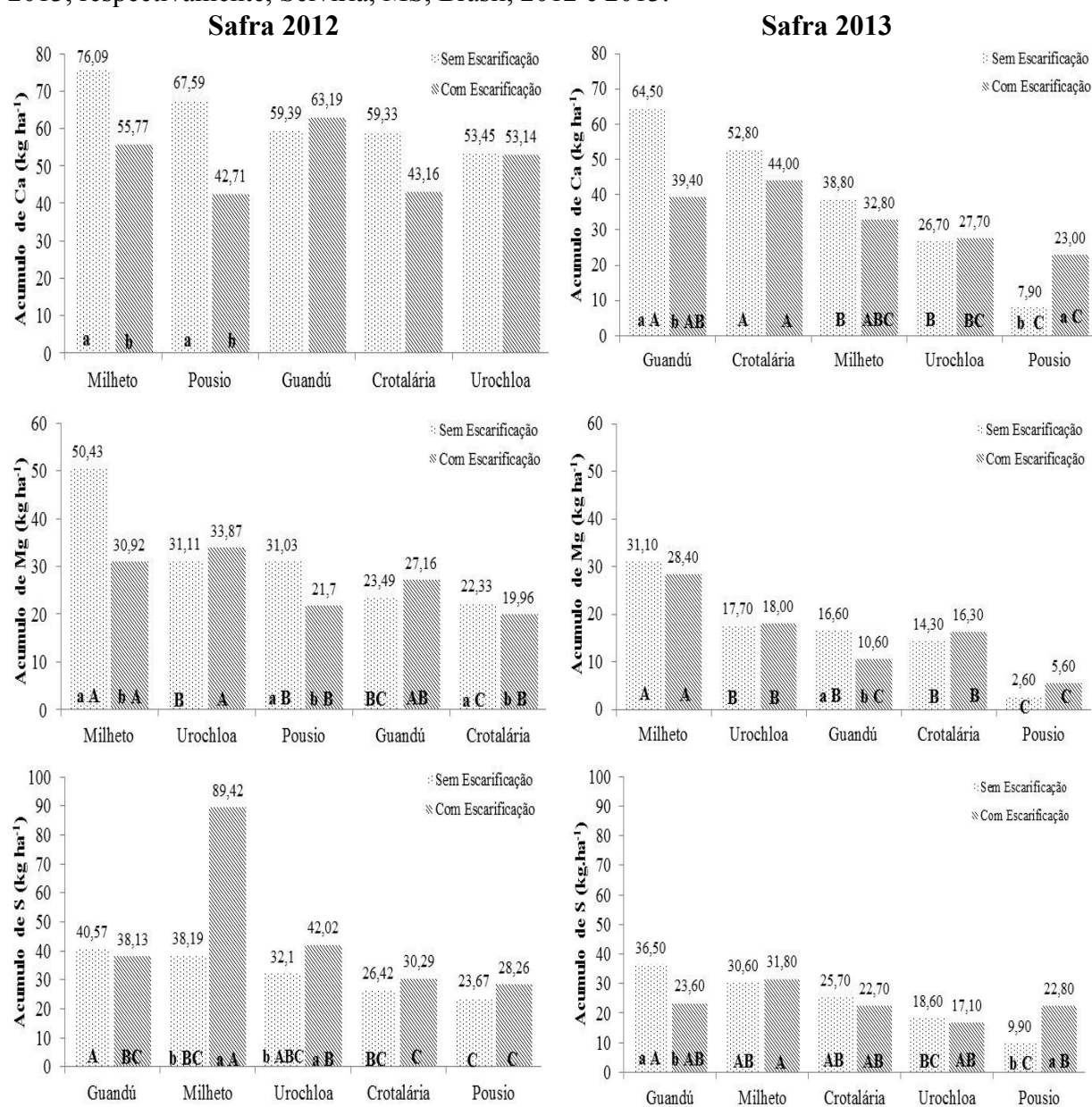
Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto ao desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para acúmulo de Mg na parte aérea nas safras 2012 e 2013 (Figura 5), observou-se que o cultivo anterior de milho, independente do solo escarificado, proporcionou maiores acúmulos de Mg na parte aérea em relação aos demais PC e aos pousios em ambos anos de cultivo.

Com relação ao desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para acúmulo de S na parte aérea em 2012 e 2013 (Figura 5), merecem destaque os cultivos anteriores de *Urochloa* (42,02 kg ha<sup>-1</sup>) e milho (89,42 kg ha<sup>-1</sup>) com escarificação na safra 2012 e o guandu (36,5 kg ha<sup>-1</sup>) em SPD na safra 2013 que apresentaram maiores acúmulos de S na parte aérea. Isto evidencia o potencial dessas duas gramíneas combinado com o solo escarificado de serem práticas de manejo do solo promissoras no sentido de proporcionar aumentos significativos na reciclagem e liberação do elemento S na solução do solo e na fase trocável do solo, aumentando a disponibilidade para as culturas subsequentes, no caso o arroz e feijão em sucessão em SPD.

Vale salientar que mesmo com reduções acentuadas e oscilações de 20% a 40% na produtividade de MS na parte aérea das PCs da safra 2013 para 2012, não houve alteração do acúmulo de alguns nutrientes na parte aérea, evidenciando o potencial das plantas de cobertura estudadas em serem adotadas nos sistemas de produção na época de primavera no Cerrado Sul-Matogrossense com baixa altitude, na entressafra da cultura principal no verão, seguido de cultura de inverno em sucessão.

**Figura 5** - Desdobramento das interações para acúmulo de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea das plantas de cobertura (PC) em 2012 e 2013, após descompactação mecânica (DM) do solo. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (16,18 e 9,10 kg ha<sup>-1</sup> para Ca, 5,60 e 3,72 kg ha<sup>-1</sup> para Mg, 9,06 e 9,48 kg ha<sup>-1</sup> para S), em 2012 e 2013, respectivamente, e maiúscula, na DM dentro de PC (12,95 kg ha<sup>-1</sup> para Ca, para 7,98 e 5,30 kg ha<sup>-1</sup> para Mg, 12,90 e 13,50 kg ha<sup>-1</sup> para S), em 2012 e 2013, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 19,73 e 17,54 para Ca, para 13,22 e 15,93 para Mg e 15,85 e 27,31 para S, em 2012 e 2013, respectivamente, Selvíria, MS, Brasil, 2012 e 2013.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

#### 4.2.2 Avaliação de persistência dos resíduos vegetais (PRV) no SPD

Houve interações significativas na persistência dos resíduos vegetais para plantas de cobertura após descompactação mecânica em SPD, nas avaliações de 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do arroz de terras altas nas safras 2012/13 e 2013/14 (Tabela 4).

**Tabela 4** - Valores médios de persistência dos resíduos vegetais (PRV) nas plantas de cobertura, após descompactação mecânica do solo em SPD no Cerrado Sul-Matogrossense nas avaliações de 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do arroz, Selvíria, MS, safra 2012/13 e 2013/14.

|                                      | PRV (%) aos DAS do arroz |                    |         |         |         |         |         |                     |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
|                                      | 30                       |                    | 60      |         | 90      |         | 120     |                     |
|                                      | 2012/13                  | 2013/14            | 2012/13 | 2013/14 | 2012/13 | 2013/14 | 2012/13 | 2013/14             |
| Descompactação mecânica do solo (DM) |                          |                    |         |         |         |         |         |                     |
| Sem                                  | 75,6                     | 30,9               | 59,4    | 25,9    | 29,0    | 21,8    | 14,7    | 10,8                |
| Com                                  | 53,5                     | 30,6               | 43,7    | 21,5    | 18,3    | 17,3    | 9,4     | 10,9                |
| Plantas de cobertura (PC)            |                          |                    |         |         |         |         |         |                     |
| Pousio                               | 48,9                     | 12,6               | 37,3    | 9,9     | 22,8    | 7,4     | 12,3    | 3,3                 |
| <i>Urochloa</i>                      | 75,8                     | 16,9               | 65,4    | 12,9    | 24,1    | 9,0     | 12,2    | 3,6                 |
| <i>Crotalaria</i>                    | 73,8                     | 22,4               | 65,7    | 12,1    | 20,3    | 8,9     | 10,0    | 5,3                 |
| Guandú                               | 47,9                     | 21,0               | 24,1    | 16,5    | 9,1     | 13,6    | 4,9     | 5,6                 |
| Milheto                              | 76,4                     | 80,8               | 65,4    | 67,0    | 42,0    | 58,8    | 20,8    | 36,4                |
| Valores de F                         |                          |                    |         |         |         |         |         |                     |
| DM                                   | 766,56*                  | 0,03 <sup>ns</sup> | 385,16* | 36,19*  | 47,42*  | 13,83*  | 41,44*  | 0,018 <sup>ns</sup> |
| PC                                   | 246,48*                  | 164,21*            | 478,89* | 906,16* | 46,33*  | 271,89* | 40,24*  | 131,31*             |
| DM x PC                              | 188,65*                  | 8,61*              | 190,89* | 70,96*  | 18,74*  | 17,09*  | 19,94*  | 0,015*              |
| CV(%)                                | 5,51                     | 20,27              | 6,96    | 9,66    | 29,49   | 19,38   | 30,15   | 32,65               |

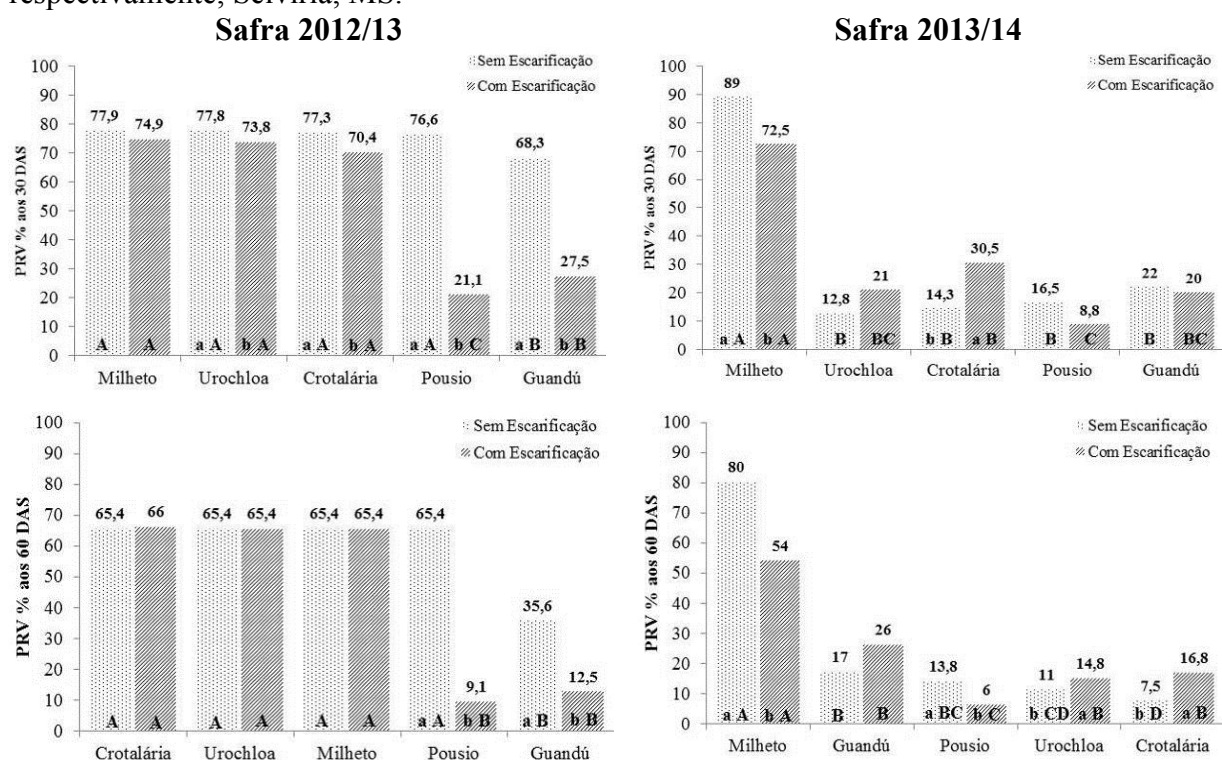
Nota: <sup>ns</sup>-não significativo e \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Elaboração do autor.

Para o desdobramento referente às interações das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para PRV nas avaliações de 30 e 60 DAS do arroz na safra 2012/13 (Figura 6), destacou-se os cultivos anteriores de crotalária, *Urochloa* e milheto, independente da escarificação, que promoveram maior PRV na superfície do solo, com valores superiores a 70,4% de PRV. A pré-safra de guandu em SPD se mostrou promissora, porém em menor proporção na PRV, principalmente quando foi realizada a escarificação mecânica do solo, antes do seu cultivo. Na safra 2013/14, em relação ao desdobramento de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura, constatou-se que o solo sob milheto com (72,5 e

54%) e sem (89 e 80%) escarificação, aos 30 e 60 DAS, respectivamente, apresentou maior PRV do que as demais PC e os pousios, porém vale salientar que a operação de escarificação mecânica do solo somente foi realizada em 2012.

**Figura 6** - Desdobramento das interações para persistência dos resíduos vegetais – PRV (%), aos 30 e 60 dias após a semeadura (DAS) do arroz, nas cinco plantas de cobertura (PC), após descompactação mecânica (DM) do solo em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (3,35 e 9,04 para os 30 DAS e 3,58 e 3,32 para os 60 DAS), em 2012/13 e 2013/14, respectivamente, e maiúscula, para DM dentro de PC (4,99 e 12,87 para os 30 DAS e 5,03 e 4,72 para os 60 DAS), em 2012/13 e 2013/14, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 5,21 e 20,27 para os 30 DAS e 6,96 e 9,66 para os 60 DAS, em 2012/13 e 2013/14, respectivamente, Selvíria, MS.

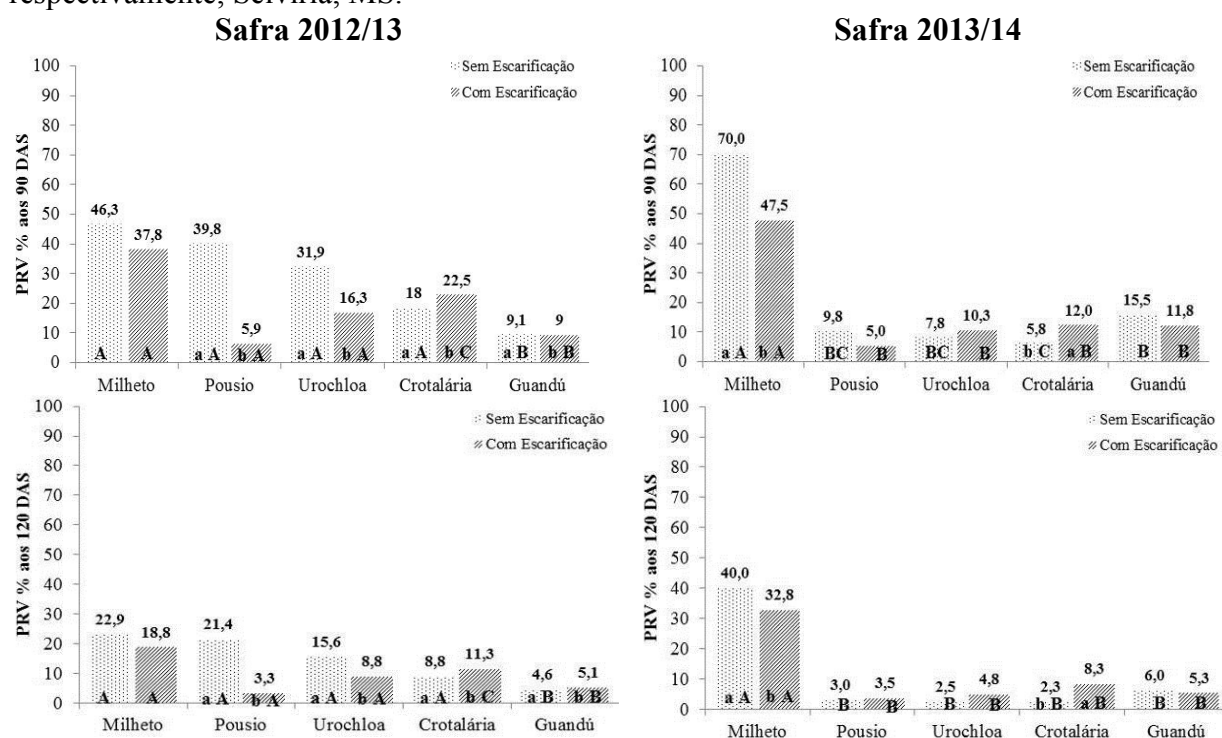


**Fonte:** Dados do próprio autor.

Em relação ao desdobramento referente às interações das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para PRV nas avaliações de 90 e 120 DAS do arroz na safra 2012/13 (Figura 7), notou-se que o solo sob *Urochloa* e milheto em SPD na safra 2012/13 e sob milheto, independente da escarificação, na safra 2013/14, apresentaram maior PRV na superfície do solo nos respectivos anos. Isso se deve ao maior potencial das gramíneas na produtividade de MS e maior capacidade de PRV em SPD devido possuir maior relação C/N e elevado teor lignina, no sentido de proporcionar maior proteção e controle de erosão do solo, além disso, reduzir a condutividade térmica do

solo, sendo excelentes opções para o SPD no Cerrado Sul-Matogrossense, com sérios problemas de erosão e degradação física e química do solo.

**Figura 7** - Desdobramento das interação para persistência dos resíduos vegetais (PRV%), aos 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do arroz em 2012/13 e 2013/14, nas cinco plantas de cobertura (PC), após descompactação mecânica (DM) do solo em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (6,65 e 5,49 para 90 DAS e 3,62 e 5,13 para 120 DAS), em 2012/13 e 2013/2014, respectivamente, e maiúscula, na DM dentro de PC (9,77 e 7,82 para 90 DAS e 5,62 e 7,30 para 120 DAS), em 2012/13 e 2013/2014, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 29,49 e 19,38 para 90 DAS e 30,15 e 32,65 para 120 DAS, em 2012/13 e 2013/2014, respectivamente, Selvíria, MS.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

Com relação à dinâmica da persistência dos resíduos vegetais (%) nas cinco plantas de cobertura (Figura 8), nas avaliações de 30, 60, 90 e 120 DAS do arroz de terras altas, merece destaque o milho, independente da escarificação, que apresentou maior PRV ao longo de todas as avaliações realizadas nas safras 2012/13 e 2013/14, seguido da *Urochloa* e da *Crotalaria juncea* somente na safra 2012/13.

No presente estudo, verificou-se acelerada decomposição da palhada nos primeiros 30-60 DAS, exceto para pré-safra de milho, com efeitos mais intensos de decomposição na safra 2013/14 (Figura 8), porém tais palhadas protegeram o solo durante grande parte do desenvolvimento da cultura do arroz em sucessão, garantindo menor variação na temperatura do solo, maior umidade e, principalmente, disponibilização de nutrientes durante o processo

de decomposição da palhada, bem como, mineralização da matéria orgânica, conforme foi observado também em trabalho realizado por Torres et al. (2005).

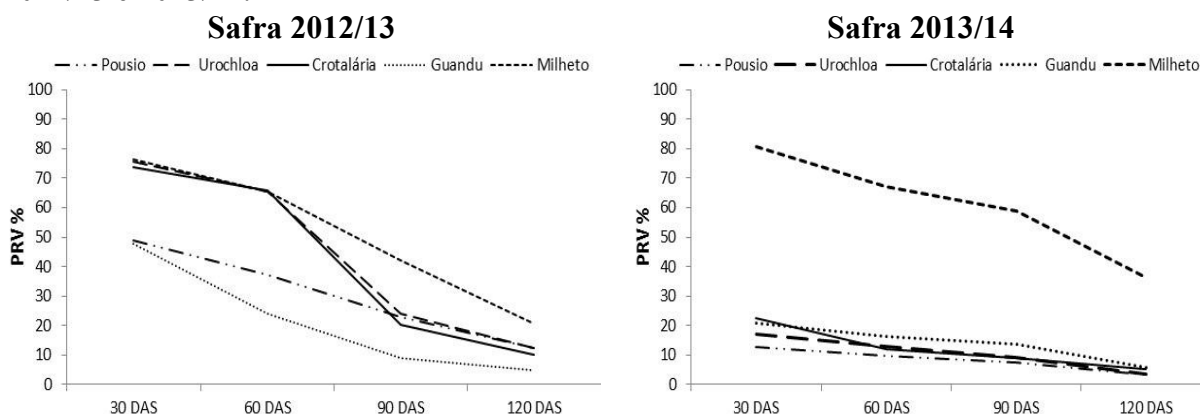
Esse comportamento se deve ao maior potencial do milheto, por ser uma espécie com alta relação C/N e elevado teor de lignina, sendo uma excelente opção de adubo verde para cultivo na época de primavera na região de Cerrado de baixa altitude, particularmente no Cerrado Sul-Matogrossense com maior dificuldade de formação e manutenção de uma camada de palhada na superfície do solo por um longo período de tempo em SPD, devido à elevada taxa de decomposição de resíduos vegetais em curto período de tempo, normalmente 30 a 40 dias após dessecação da espécie de planta de cobertura, proporcionado por suas condições climáticas, como altas temperaturas e elevado índice pluviométrico no verão.

Em condições de Cerrado, as gramíneas tem desempenhado uma importante atuação como planta de cobertura. Sua utilização se deve à tolerância ao déficit hídrico, elevada produtividade de MS e maior acúmulo de nutrientes na parte aérea, assim como, maior persistência de resíduos vegetais (Figuras 3 a 8), baseado nos resultados desta pesquisa, e também resultados obtidos por Boer et al. (2007) e Pacheco et al. (2008). A pré-safra de milheto se destacou na primavera. A maior produtividade de matéria seca de milheto na primavera, acima de  $10,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ , se deve as condições mais favoráveis de clima com elevadas temperaturas e umidade, proporcionando, assim, a manifestação de seu potencial produtivo. Outras espécies, que apresentaram potencial para produtividade de matéria seca, mas que necessitam de maiores estudos em razão do conhecimento incipiente em condições de Cerrado de baixa altitude, são crotalária e a *Urochloa*, alcançando produtividades de MS de 9,66 a  $10,55 \text{ Mg ha}^{-1}$  na safra 2012, respectivamente, e acúmulo de alguns macronutrientes na parte aérea e persistência de resíduos vegetais, entretanto, não apresentaram comportamento semelhante no segundo ano.

O milheto (*Pennisetum glaucum*) tem sido bastante utilizado, em safrinha, para a produção de palhada no SPD (BOER et al., 2007; PACHECO et al., 2008), em razão da elevada produção de matéria seca entre 60 e 110 dias após a semeadura, em período de florescimento pleno. Nesse estágio fenológico, o milheto deve ser manejado de forma mecânica ou química, iniciando-se seu processo de decomposição precoce em relação às culturas sucessoras. Ainda, necessita-se de estudos que avaliem o sincronismo entre a liberação de nutrientes por plantas de cobertura e o período de maior exigência nutricional das culturas em sucessão.



**Figura 8** - Dinâmica da persistência dos resíduos vegetais (%) - PRV das cinco plantas de cobertura aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do arroz, em Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.3 ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS IRRIGADO POR ASPERSÃO (SUBPROJETO 2).

##### 4.3.1 Efeitos no desenvolvimento e produtividade do arroz de terras altas no primeiro e segundo ano de cultivo (2012/13 e 2013/14) no Cerrado Sul-Matogrossense

A emergência das plantas do arroz nos dois anos cultivados ocorreu uniformemente no sexto dia após a semeadura (DAS). O florescimento pleno e colheita do arroz ocorreram aos 82 e 106 dias, após a emergência das plantas (DAE), respectivamente, nos dois anos cultivados. Durante o período de cultivo do arroz não houve problema com acamamento de plantas nos dois anos cultivados. Não houve restrição hídrica para o arroz nos dois anos cultivados, sendo a precipitação pluvial durante todo o ciclo fisiológico do arroz de 516,09 mm e a temperatura máxima oscilou de 27,6°C a 38,6°C e mínima de 18°C a 24,4°C e precipitação pluvial oscilaram de 0,25 a 66,25 mm no primeiro ano de cultivo (2012/13), apresentado na Figura 1. Já no segundo ano de cultivo (2013/14) a precipitação pluvial durante todo o ciclo fisiológico do arroz foi de 595,93 mm e a temperatura máxima oscilou de 26,0°C a 37,7°C, a mínima de 18,2°C a 23,9°C e a precipitação pluvial de 0,25 a 79,80 mm, apresentado na Figura 2.

A entressafra com plantas de cobertura influenciaram na altura de plantas em 2013/14 (Tabela 5), verificou-se que o cultivo anterior de *Urochloa* (1,10 m) e guandu (1,12 m) promoveram maior na altura de plantas em relação à crotalária (1,07 m).

Houve interações significativas para número de panículas  $\text{m}^{-2}$  nas safras 2012/13 e 2014, assim como, número de grãos totais, granados e chochos por panícula do arroz somente em 2013/14, apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Com relação ao desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para o número de panículas  $\text{m}^{-2}$  (Figura 9), verificou-se que os cultivos anteriores de pousio e guandu no solo escarificado em SPD promoveram maior número de panículas  $\text{m}^{-2}$ , nos dois anos cultivados, todavia em menor proporção em 2013/14. Em 2013/14, observou-se que a crotalaria (215 panículas  $\text{m}^{-2}$ ) e *Urochloa* (199 panículas  $\text{m}^{-2}$ ) no solo não escarificado em SPD, promoveram maior número de panículas  $\text{m}^{-2}$ , evidenciando serem plantas de cobertura promissoras em promover perfilhamento útil das plantas do arroz.

**Tabela 5** - Valores médios de altura de plantas e número de panículas  $\text{m}^{-2}$  do arroz de terras altas, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

|                 | Altura de plantas                           |                    | Número de panículas $\text{m}^{-2}$ |         |
|-----------------|---------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------|
|                 | 2012/13                                     | 2013/14            | 2012/13                             | 2013/14 |
|                 | ----- m -----                               |                    |                                     |         |
|                 | <b>Descompactação mecânica do solo (DM)</b> |                    |                                     |         |
| Sem             | 1,11                                        | 1,10               | 238                                 | 194     |
| Com             | 1,14                                        | 1,09               | 262                                 | 183     |
|                 | <b>Plantas de cobertura (PC)</b>            |                    |                                     |         |
| Pousio          | 1,13                                        | 1,09 ab            | 268                                 | 181     |
| <i>Urochloa</i> | 1,12                                        | 1,10 a             | 214                                 | 186     |
| Crotalaria      | 1,13                                        | 1,07 b             | 254                                 | 182     |
| Guandu          | 1,16                                        | 1,12 a             | 258                                 | 199     |
| Milheto         | 1,09                                        | 1,09 ab            | 259                                 | 193     |
|                 | <b>Valores de F</b>                         |                    |                                     |         |
| DM              | 1,98 <sup>ns</sup>                          | 0,45 <sup>ns</sup> | 35,20*                              | 8,78*   |
| PC              | 1,17 <sup>ns</sup>                          | 6,56*              | 22,52*                              | 3,29*   |
| DM x PC         | 0,69 <sup>ns</sup>                          | 1,80 <sup>ns</sup> | 9,07*                               | 17,86*  |
|                 | <b>DMS (5%)</b>                             |                    |                                     |         |
| PC              | --                                          | 0,0309             | --                                  | --      |
| <b>CV(%)</b>    | 5,25                                        | 1,94               | 5,03                                | 6,35    |

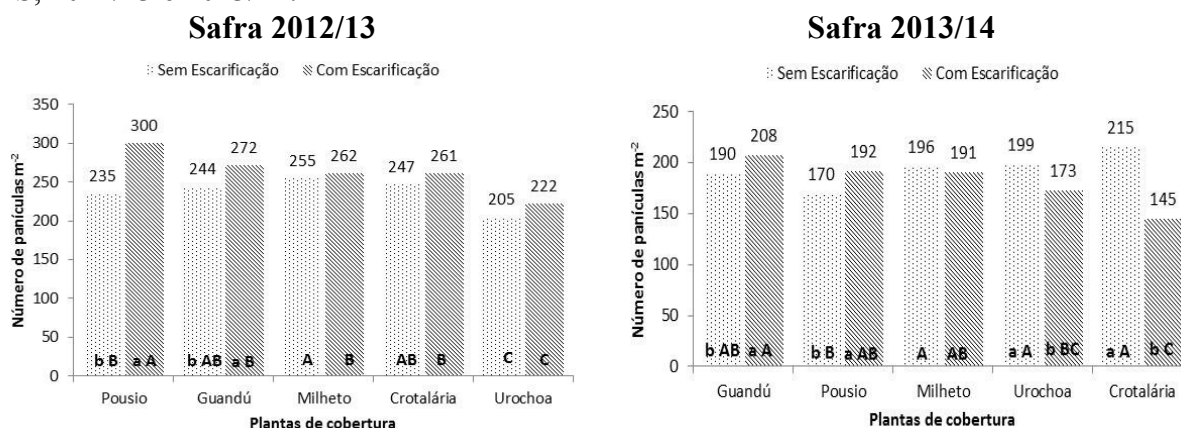
Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Elaboração do autor.

Com relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura (Figura 9), notou-se que o solo sob milheto (255 panículas  $\text{m}^{-2}$ ) em SPD e sob pousio (300 panículas  $\text{m}^{-2}$ ) no solo escarificado em SPD, foram os tratamentos que apresentaram maior número de panículas  $\text{m}^{-2}$  na safra 2012/13. Para a safra 2013/14, o solo sob crotalaria, *Urochloa* e

milheto em SPD e o guandu no solo escarificado em SPD também mostraram-se promissores, com maior número de panículas  $\text{m}^{-2}$ .

**Figura 9** - Desdobramento das interações significativas para o número de panículas  $\text{m}^{-2}$  do arroz, após descompactação mecânica (DM) do solo e cultivo de plantas de cobertura (PC) em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (18,23 e 17,35 panículas  $\text{m}^{-2}$ ), e maiúscula, na DM dentro de PC (25,96 e 24,72 panículas  $\text{m}^{-2}$ ), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, CV (%) = 5,03 e 6,35, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

Notou-se que o pousio (controle) no solo escarificado apresentou maior número de panículas  $\text{m}^{-2}$  do que as demais plantas de cobertura nos dois anos cultivados (Tabela 5 e Figura 9). É provável que a operação de escarificação mecânica do solo estimulou o crescimento e aprofundamento do sistema radicular das plantas de arroz, com reflexos em maior número de panículas  $\text{m}^{-2}$ , assim como maior exploração de maior volume de solo e maior disponibilidade de água e nutrientes com melhorias consistentes na estrutura e agregação do solo. Efeito também constatado por Vieira (2006), que verificou que a escarificação do solo sob SPD tem se apresentado como uma alternativa viável para minimizar as limitações físicas ao crescimento das plantas.

Com relação ao desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o número de grãos totais e granados por panícula (Figura 10), na safra 2013/14, notou-se que os cultivos anteriores crotalária (338 grãos totais e 309 granados  $\text{panícula}^{-1}$ ) e milheto (320 grãos totais e 288 granados  $\text{panícula}^{-1}$ ) em SPD e o pousio (312 grãos totais e 286 granados  $\text{panícula}^{-1}$ ) com escarificação proporcionaram maiores número de grãos totais e granados por panícula.

Resultados semelhantes aos obtidos por Klein et al. (2008), que verificaram que a cultura do trigo respondeu positivamente as alterações nos atributos físicos do solo,

provocadas pela escarificação mecânica, produzindo, em média, 682 kg ha<sup>-1</sup> a mais no solo escarificado em SPD, comprovando o efeito positivo da escarificação mecânica do solo sobre o desenvolvimento e o produtividade da cultura do trigo, cujo componentes produtivos foram afetados, como o número de grãos por espiguetas, número de espiguetas por espiga e a massa hectolitrica foram significativamente maiores no SPD escarificado em relação ao SPD na ausência de escarificação mecânica.

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para o número de grãos chochos por panícula (Figura 11), na safra 2013/14, observou-se que a pré-safra de guandu, *Urochloa* e milheto no solo escarificado em SPD proporcionaram redução do número de grãos chochos por panícula. Destaque maior para o cultivo anterior de milheto (19 grãos chochos panícula<sup>-1</sup>) com escarificação, que foi o que mais reduziu o número de grãos chochos panícula<sup>-1</sup>.

A entressafra com plantas de cobertura influenciou na massa de 100 grãos (Tabela 7), em 2012/13, notou-se que o cultivo anterior da crotalária (2,19 g) promoveu incremento na massa de 100 grãos em relação a *Urochloa* (2,05 g).

**Tabela 6** - Valores médios do número de grãos totais, granados e chochos por panícula do arroz de terras altas, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

|                                             | Número de grãos totais |                    | Número de grãos granados |                    | Número de grãos chochos |         |
|---------------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|---------|
|                                             | 2012/13                | 2013/14            | 2012/13                  | 2013/14            | 2012/13                 | 2013/14 |
| <b>Descompactação mecânica do solo (DM)</b> |                        |                    |                          |                    |                         |         |
| Sem                                         | 214                    | 307                | 181                      | 276                | 34                      | 31      |
| Com                                         | 217                    | 282                | 183                      | 257                | 34                      | 25      |
| <b>Plantas de cobertura (PC)</b>            |                        |                    |                          |                    |                         |         |
| Pousio                                      | 225                    | 292                | 189                      | 266                | 35                      | 26      |
| <i>Urochloa</i>                             | 223                    | 302                | 187                      | 273                | 36                      | 29      |
| Crotalaria                                  | 217                    | 298                | 183                      | 270                | 34                      | 27      |
| Guandu                                      | 196                    | 287                | 162                      | 253                | 34                      | 33      |
| Milheto                                     | 217                    | 294                | 186                      | 268                | 31                      | 26      |
| <b>Valores de F</b>                         |                        |                    |                          |                    |                         |         |
| DM                                          | 0,09 <sup>ns</sup>     | 11,51*             | 0,09 <sup>ns</sup>       | 6,07*              | 0,002 <sup>ns</sup>     | 35,36*  |
| PC                                          | 1,69 <sup>ns</sup>     | 0,49 <sup>ns</sup> | 1,75 <sup>ns</sup>       | 0,79 <sup>ns</sup> | 0,43 <sup>ns</sup>      | 7,48*   |
| DM x PC                                     | 0,91 <sup>ns</sup>     | 8,29*              | 0,47 <sup>ns</sup>       | 6,72*              | 1,31 <sup>ns</sup>      | 7,23*   |
| CV(%)                                       | 11,64                  | 7,99               | 13,01                    | 9,10               | 26,05                   | 12,00   |

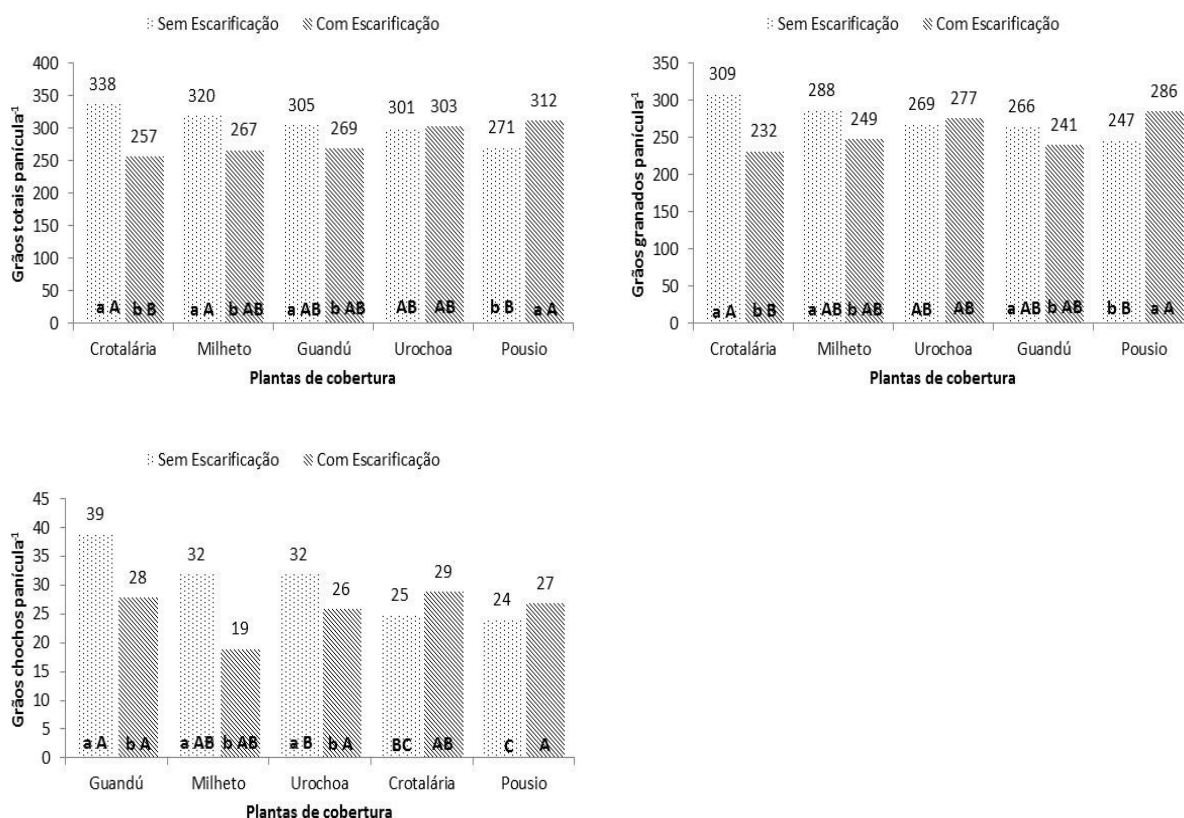
Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Elaboração do autor.

Houve interações significativas para a massa de 100 grãos e massa hectolétrica em 2013/14 (Tabela 7). Para o desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para massa de 100 grãos, no segundo ano de cultivo (Figura 11), notou-se que o cultivo anterior de guandu (2,19 g) e crotalária (2,20 g) em SPD e o milho (2,23 g) com escarificação apresentaram incrementos na massa de 100 grãos. Em relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, verificou-se que *Urochloa* (2,22 g) e o milho (2,23 g) com escarificação proporcionaram incrementos na massa de 100 grãos.

**Figura 10** - Desdobramento das interações significativas para grãos totais, granados e chochos por panícula do arroz de terras altas, após descompactação mecânica (DM) do solo e cultivo de plantas de cobertura (PC) em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (34,12, 35,15 e 4,91 por panícula), e maiúscula, na DM dentro de PC (48,58, 50,04 e 6,99 por panícula), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, CV (%) = 7,99, 9,10 e 12,00, Selvíria, MS, 2013/14.

#### Safra 2013/14



**Fonte:** Dados do próprio autor.

Analisando o desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para massa hectolétrica, no segundo ano de cultivo (Figura 11), observou-se que o cultivo antecessor de milho com escarificação promoveu incremento na massa hectolétrica do arroz. Com relação à descompactação mecânica dentro de plantas de

cobertura, notou-se que a pré-safra de *Urochloa* em SPD apresentou potencial no incremento da massa hectolétrica do arroz em sucessão na safra 2013/14. Vale salientar que a mesma apresentou bons valores médios de massa hectolétrica (47,42 a 49,06) no primeiro e (46,35 a 51,35) no segundo ano de cultivo.

O cultivo antecessor de milho com escarificação promoveu maiores incrementos na massa de 100 grãos e massa hectolétrica do arroz de terras altas, em 2013/14, correspondendo em melhorias na qualidade industrial (redimento de benefício e inteiros) do arroz nesse ano de cultivo do que o primeiro ano, todavia não influenciou na produtividade de grãos do arroz.

A escarificação mecânica do solo e o cultivo antecessor das plantas de cobertura influenciaram significativamente a produtividade do arroz (Tabela 7), na safra 2012/13. O escarificador proporcionou incremento de produtividade da ordem de 552 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao SPD. Resultado semelhante ao constatado por Camara; Klein (2005) e Vieira (2006), que verificaram que a escarificação do solo sob SPD tem se apresentado como alternativa viável para minimizar as limitações físicas ao aprofundamento do sistema radicular e ao crescimento das plantas. Esses resultados podem ser explicados pelo fato da escarificação aumentar a porosidade total e a macroporosidade, reduzir a densidade do solo e romper as camadas compactadas superficiais (VEIGA et al., 2008; REICHERT et al., 2009a). Porém esse efeito diminui com o tempo após as operações de tráfego de máquinas agrícolas em SPD, em razão da reconsolidação natural das partículas do solo.

Nas plantas de cobertura (Tabela 7), na safra 2012/13, verificou-se que o feijão guandu anão (5.614 kg ha<sup>-1</sup>) proporcionou incremento na produtividade do arroz em relação ao milho (4.154 kg ha<sup>-1</sup>) e *Urochloa* (4.284 kg ha<sup>-1</sup>). Esses resultados evidenciam o potencial do feijão guandu anão para produção de MS de 9,7 Mg ha<sup>-1</sup> e acúmulo de 196,3 kg ha<sup>-1</sup> de N na parte aérea que proporcionou reciclagem e liberação de nutrientes para a cultura em sucessão, no caso o arroz. Os valores de produtividade de arroz foram superiores aos encontrados por Pacheco et al. (2013), que verificaram que a *Urochloa ruziziensis* (1.554 kg ha<sup>-1</sup>) consistiu na melhor opção de plantas de cobertura antes do cultivo do arroz, justificando que a baixa produtividade foi devido à ocorrência de déficit hídrico (pré-florescimento), diferente do experimento em questão por ter sido irrigado. Entretanto, de acordo com Pacheco et al. (2011), as maiores produtividades de arroz sob SPD foram obtidas sobre palhadas de milho e *Urochloa ruziziensis*.

**Tabela 7** - Valores médios de massa hectolétrica, massa de cem e produtividade de grãos do arroz de terras altas, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

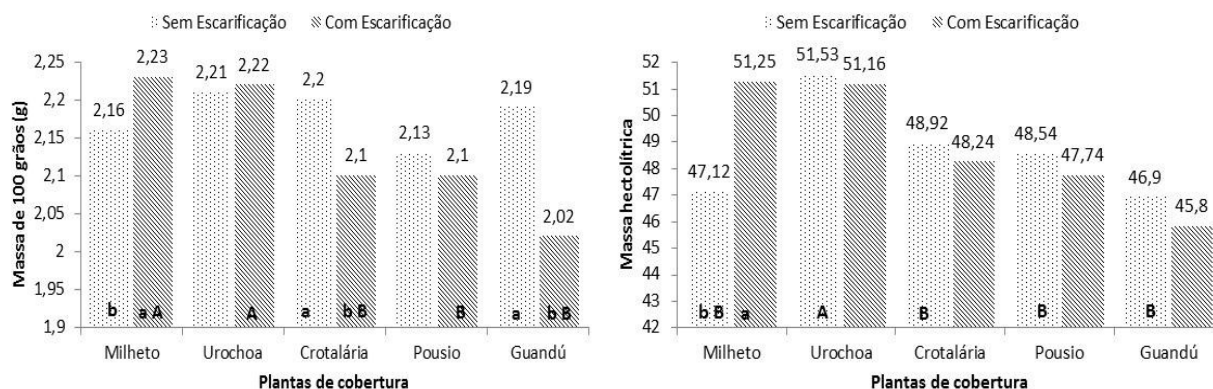
|                                             | <b>Massa de 100 grãos</b> |         | <b>Massa Hectolétrica</b> |                    | <b>Produtividade de grãos</b>   |                    |
|---------------------------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
|                                             | ----- gramas -----        |         | -----kg-----              |                    | ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |                    |
|                                             | 2012/13                   | 2013/14 | 2012/13                   | 2013/14            | 2012/13                         | 2013/14            |
| <b>Descompactação mecânica do solo (DM)</b> |                           |         |                           |                    |                                 |                    |
| Sem                                         | 2,11                      | 2,18    | 47,62                     | 48,60              | 4.539 b                         | 4.078              |
| Com                                         | 2,14                      | 2,13    | 48,69                     | 48,84              | 5.091 a                         | 4.196              |
| <b>Plantas de cobertura (PC)</b>            |                           |         |                           |                    |                                 |                    |
| Pousio                                      | 2,13 ab                   | 2,11    | 49,06                     | 48,14              | 5.000 b                         | 3.873              |
| <i>Urochloa</i>                             | 2,05 b                    | 2,21    | 48,17                     | 51,35              | 4.284 c                         | 4.155              |
| <i>Crotalaria</i>                           | 2,19 a                    | 2,15    | 48,53                     | 48,58              | 5.024 b                         | 4.204              |
| Guandu                                      | 2,16 ab                   | 2,11    | 47,42                     | 46,35              | 5.614 a                         | 4.143              |
| Milheto                                     | 2,09 ab                   | 2,19    | 47,61                     | 49,19              | 4.154 c                         | 4.309              |
| <b>Valores de F</b>                         |                           |         |                           |                    |                                 |                    |
| DM                                          | 0,64 <sup>ns</sup>        | 7,17*   | 3,79 <sup>ns</sup>        | 0,35 <sup>ns</sup> | 22,86*                          | 1,51 <sup>ns</sup> |
| PC                                          | 2,85*                     | 7,36*   | 1,19 <sup>ns</sup>        | 16,44*             | 21,58*                          | 2,26 <sup>ns</sup> |
| DM x PC                                     | 1,24 <sup>ns</sup>        | 7,51*   | 1,68 <sup>ns</sup>        | 6,04*              | 2,04 <sup>ns</sup>              | 1,87 <sup>ns</sup> |
| <b>DMS (5%)</b>                             |                           |         |                           |                    |                                 |                    |
| DM                                          | --                        | --      | --                        | --                 | 236,56                          | --                 |
| PC                                          | 0,03                      | --      | --                        | --                 | 532,60                          | --                 |
| <b>CV(%)</b>                                | 4,47                      | 2,27    | 3,95                      | 2,59               | 7,57                            | 7,35               |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 11** - Desdobramento das interações significativas para a massa de 100 grãos e massa hectolétrica do arroz de terras altas, após descompactação mecânica (DM) do solo e cultivo de plantas de cobertura (PC) em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (0,071 g e 1,83 Kg 100 L<sup>-1</sup>), e maiúscula, na DM dentro de PC (0,101 g e 2,61 Kg 100 L<sup>-1</sup>), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, CV (%) = 2,27 e 2,59, Selvíria, MS, 2013/14.

#### Safra 2013/14



Fonte: Dados do próprio autor.

Não houve diferenças significativas para descompactação mecânica do solo e para o cultivo em pré-safra de plantas de cobertura sobre a produtividade de grãos do arroz de terras altas em 2013/14 (Tabela 7), todavia os cultivos anteriores de plantas de cobertura apresentaram excelentes produtividades de grãos com variação entre 4.309 e 4.143 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao pousio (controle) com 3.873 kg ha<sup>-1</sup>, considerando-se a região de Cerrado Sul-Matogrossense que possui baixa altitude (335 metros acima do nível do mar), e apresenta condições de temperaturas elevadas e altas precipitações no verão, com presença de veranicos. Contrário aos resultados obtidos por Kamimura et al. (2009), que avaliando os atributos físicos do solo manejado com grade, escarificador e SPD, na mesma condição climática e em um Latossolo Vermelho de Cerrado Sul-Matogrossense, concluíram que a macroporosidade e a porosidade total do solo em SPD apresentou menores valores, além de maior resistência à penetração e densidade do solo nos primeiros 0,10 m do solo, o que muitas vezes interfere negativamente no desenvolvimento do sistema radicular do arroz, levando à menor produtividade de grãos.

O aumento da densidade do solo em SPD é devido à movimentação das máquinas e dos implementos agrícolas usados nas várias etapas do processo produtivo e podem comprometer a produtividade do arroz, segundo Guimarães, Stone e Castro (2006), o mecanismo de distribuição do fertilizante das semeadoras do SPD podem contribuir favoravelmente rompendo parte da camada compactada e induzir o aprofundamento do sistema radicular do arroz de terras altas.

Em relação ao rendimento de engenho, inteiros e quebrados, nos dois anos de cultivo, houve efeito significativo somente para rendimento de benefício, na safra 2012/13 (Tabela 7). Observou-se que a operação de escarificação mecânica do solo proporcionou melhorias no rendimento benefício (68,6%) em relação ao SPD, e embora não apresentando efeitos significativos para rendimento inteiros e quebrados nos dois anos de cultivo. Vale salientar que os valores obtidos para grãos inteiros foram excelentes e oscilaram de 57,3 a 59,7% no primeiro ano e de 69,5 a 70,5% no segundo ano de cultivo, evidenciando uma evolução da qualidade industrial do arroz de terras altas. Além disso, houve uma redução do rendimento de quebrados do primeiro para o segundo ano de cultivo do arroz de terras altas. Provavelmente o manejo do solo com escarificação mecânica do solo e o cultivo de PCs na primavera, seguida do cultivo de arroz de terras altas e feijão “de inverno” em sucessão no Cerrado de baixa altitude sob irrigação por aspersão, são alternativas promissoras no sentido de melhorar a produtividade e qualidade industrial dos grãos do arroz em um sistema de produção sustentável, pensado em longo médio e prazo no planejamento da rotação de culturas



em sistema de plantio direto implantado com problemas de camadas superficiais compactadas.

**Tabela 8** - Valores médios do rendimento de benefício, inteiros e grãos quebrados do arroz de terras altas, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

|                   | Rendimento de benefício              |                    | Rendimento de inteiros |                    | Grãos quebrados    |                    |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                   | ----- % -----                        |                    |                        |                    |                    |                    |
|                   | 2012/13                              | 2013/14            | 2012/13                | 2013/14            | 2012/13            | 2013/14            |
|                   | Descompactação mecânica do solo (DM) |                    |                        |                    |                    |                    |
| Sem               | 67,4 b                               | 74,0               | 57,8                   | 69,8               | 9,5                | 4,2                |
| Com               | 68,6 a                               | 74,2               | 58,9                   | 70,1               | 9,6                | 4,1                |
|                   | Plantas de cobertura (PC)            |                    |                        |                    |                    |                    |
| Pousio            | 69,3                                 | 73,4               | 59,7                   | 69,5               | 9,4                | 4,2                |
| <i>Urochloa</i>   | 67,8                                 | 74,4               | 58,9                   | 70,5               | 8,9                | 3,9                |
| <i>Crotalaria</i> | 67,7                                 | 73,9               | 57,3                   | 69,5               | 10,3               | 4,3                |
| Guandu            | 67,9                                 | 74,3               | 57,9                   | 70,2               | 9,9                | 4,1                |
| Milheto           | 67,3                                 | 74,1               | 57,8                   | 70,0               | 9,4                | 4,1                |
|                   | Valores de F                         |                    |                        |                    |                    |                    |
| DM                | 6,09*                                | 0,43 <sup>ns</sup> | 1,89 <sup>ns</sup>     | 0,42 <sup>ns</sup> | 0,04 <sup>ns</sup> | 0,35 <sup>ns</sup> |
| PC                | 1,96 <sup>ns</sup>                   | 0,49 <sup>ns</sup> | 1,33 <sup>ns</sup>     | 0,63 <sup>ns</sup> | 0,95 <sup>ns</sup> | 0,57 <sup>ns</sup> |
| DM x PC           | 0,47 <sup>ns</sup>                   | 1,29 <sup>ns</sup> | 0,69 <sup>ns</sup>     | 0,49 <sup>ns</sup> | 0,65 <sup>ns</sup> | 0,42 <sup>ns</sup> |
|                   | DMS (5%)                             |                    |                        |                    |                    |                    |
| DM                | 0,98                                 | --                 | --                     | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)             | 2,23                                 | 1,63               | 4,11                   | 2,30               | 16,30              | 14,79              |

Nota: <sup>ns</sup>não significativo e \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.4 ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO “DE INVERNO” IRRIGADO EM SUCESSÃO A CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS (SUBPROJETO 3)

##### 4.4.1 Efeitos no crescimento e produtividade do feijão “de inverno” no primeiro e segundo ano de cultivo (2013 e 2014) no Cerrado Sul-Matogrossense

A emergência das plantas do feijão nos dois anos cultivados ocorreu uniformemente no sexto dia após a semeadura (DAS). O florescimento pleno e colheita das parcelas do feijão

ocorreram aos 40 e 42 DAE e aos 96 e 94 DAE, no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente. Durante o cultivo do feijão ocorreu ataque generalizado em toda área experimental das lagartas *Helicoverpa armigera* e enroladeira-da-folhas, causando danos severos nas vagens e grãos e reduzindo a produtividade de grãos, mesmo com a adoção de medidas recomendadas de controle, em 2013. Em 2014 ocorreu pequenas reboleiras de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em toda área experimental, entretanto, sem ocorrência de danos econômicos expressivos na produtividade de grãos do feijão. Não houve restrição hídrica para o feijão durante os dois anos cultivados, com precipitação pluvial total em todo o ciclo fisiológico do feijão de 266,10 mm em 2013 (Figura 1). A precipitação pluvial oscilou entre 1,5 a 60,8 mm, a temperatura máxima variou de 12,7°C e 32,0°C e a mínima de 5,0°C a 23,6°C, na safra 2013. Para a safra 2014, a precipitação pluvial total durante todo o ciclo fisiológico do feijão foi de 143,50 mm (Figura 2) e oscilou entre 0,25 a 37,59 mm. A temperatura máxima variou de 15,0°C a 38,3°C e a mínima de 8,40°C a 21,4°C.

Houve diferença significativa para a interação de população inicial de plantas (Tabela 9) verificou-se que o cultivo anterior da crotalária (226 mil plantas ha<sup>-1</sup>) apresentou maior população inicial de plantas em relação ao milheto (210 mil plantas ha<sup>-1</sup>). De maneira geral, a população inicial de plantas foi excelente para uma boa condução do experimento, não justificando o desdobramento e discussão dos dados da interação dessa variável. Não houve diferenças significativas para a população inicial e final de plantas de feijão no segundo ano de cultivo. Nota-se que as populações inicial e final do segundo ano foram superior em relação ao primeiro ano de cultivo, e oscilaram entre 210 a 253 mil plantas ha<sup>-1</sup>, porém ambas excelentes para uma boa condução dos experimentos nos dois anos de cultivo.

Houve interações significativas para a matéria seca de plantas de feijão, teor de nitrogênio foliar, número de vagens planta<sup>-1</sup> e produtividade de grãos do feijão nas safras 2013 e 2014, assim como, para número de grãos planta<sup>-1</sup> em 2013 e número de grãos vagem<sup>-1</sup> na safra 2014, apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11.

**Tabela 9** - Valores médios de população inicial e final de plantas, matéria seca (MS) de plantas e teor de nitrogênio (N) foliar do feijão “de inverno”, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz-feijão no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013 e 2014.

|                                             | População de plantas            |                    |                    |                    | MS de plantas                  |        | Teor de N                   |                    |
|---------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------------------|
|                                             | Inicial                         |                    | Final              |                    |                                |        | Foliar                      |                    |
|                                             | (Estádio V <sub>2</sub> )       |                    | (Colheita)         |                    |                                |        |                             |                    |
|                                             | plantas ha <sup>-1</sup> x 1000 |                    |                    |                    | --- g planta <sup>-1</sup> --- |        | ---- g kg <sup>-1</sup> --- |                    |
|                                             | 2013                            | 2014               | 2013               | 2014               | 2013                           | 2014   | 2013                        | 2014               |
| <b>Descompactação mecânica do solo (DM)</b> |                                 |                    |                    |                    |                                |        |                             |                    |
| Sem                                         | 219                             | 238                | 127                | 161                | 9,9                            | 11,10  | 37,27                       | 44,25              |
| Com                                         | 219                             | 245                | 131                | 155                | 10,5                           | 12,90  | 39,69                       | 42,83              |
| <b>Plantas de cobertura (PC)</b>            |                                 |                    |                    |                    |                                |        |                             |                    |
| Pousio                                      | 221 b                           | 238                | 136                | 164                | 9,5                            | 11,71  | 38,88                       | 41,72              |
| <i>Urochloa</i>                             | 217 b                           | 244                | 131                | 155                | 10,8                           | 13,74  | 37,40                       | 44,18              |
| Crotalaria                                  | 226 a                           | 231                | 130                | 164                | 10,9                           | 12,19  | 38,11                       | 44,18              |
| Guandu                                      | 221 b                           | 242                | 121                | 145                | 9,2                            | 12,19  | 40,16                       | 44,80              |
| Milheto                                     | 210 c                           | 253                | 128                | 163                | 10,8                           | 10,18  | 37,84                       | 41,28              |
| <b>Valores de F</b>                         |                                 |                    |                    |                    |                                |        |                             |                    |
| DM                                          | 0,02 <sup>ns</sup>              | 1,29 <sup>ns</sup> | 1,64 <sup>ns</sup> | 1,62 <sup>ns</sup> | 5,85*                          | 24,99* | 18,49*                      | 4,06 <sup>ns</sup> |
| PC                                          | 22,33*                          | 1,22 <sup>ns</sup> | 2,15 <sup>ns</sup> | 2,20 <sup>ns</sup> | 7,86*                          | 9,97*  | 2,98*                       | 3,38 <sup>ns</sup> |
| DM x PC                                     | 10,53*                          | 0,35 <sup>ns</sup> | 0,19 <sup>ns</sup> | 1,22 <sup>ns</sup> | 7,98*                          | 6,40*  | 2,52*                       | 3,65*              |
| <b>DMS (5%)</b>                             |                                 |                    |                    |                    |                                |        |                             |                    |
| PC                                          | 5110,51                         | --                 | --                 | --                 | --                             | --     | --                          | --                 |
| <b>CV(%)</b>                                | 1,60                            | 8,72               | 8,50               | 10,17              | 8,02                           | 9,50   | 4,62                        | 5,10               |

Nota: <sup>n</sup> - não significativo e \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

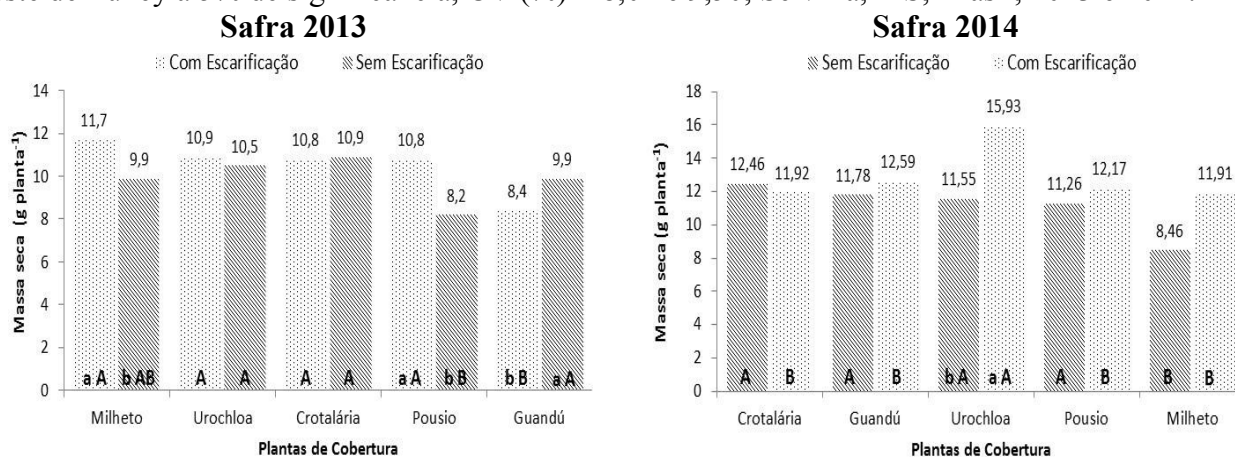
Fonte: Elaboração do autor.

Com relação ao desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para MS da planta de feijão (Figura 12) na safra 2013, verificou-se que o solo sob milheto (11,7 g planta<sup>-1</sup>) e pousio (10,8 g planta<sup>-1</sup>) com escarificação e guandu (9,9 g planta<sup>-1</sup>) em SPD apresentaram maior MS de planta de feijão. Em relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, constatou-se que o cultivo anterior de guandu (8,4 g planta<sup>-1</sup>) com escarificação e pousio (8,2 g planta<sup>-1</sup>) em SPD proporcionaram redução da MS das plantas de feijão. A pré-safra de milheto com escarificação promoveu maior incremento de MS das plantas de feijão.

No desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para MS das plantas de feijão (Figura 12) na safra 2014, observou-se que o cultivo anterior de *Urochloa* (15,9 g planta<sup>-1</sup>) com escarificação apresentou maior MS das plantas de feijão, além disso, constatou-se que o milheto (8,5 g

planta<sup>-1</sup>) em SPD apresentou menor redução da MS das plantas de feijão. Entretanto Collares et al. (2008), que verificaram a escarificação de Latossolo Vermelho manejado sob SPD favoreceu o crescimento radicular e aumentou a área foliar e a altura de plantas de feijão, mas não influencia a produtividade da cultura, entretanto, tal fato não ocorreu, pois os cultivos antecessores de crotalária e milho com escarificação resultaram em maiores incrementos de produtividade do feijão nos dois anos de condução.

**Figura 12** - Desdobramento da interação para a matéria seca (MS) de plantas do feijão em 2013 e 2014, após descompactação mecânica (DM) do solo, cultivo de plantas de cobertura (PC) e arroz em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (1,19 e 1,65 g planta<sup>-1</sup>), e maiúscula, para DM dentro de PC (1,69 e 2,36 g planta<sup>-1</sup>), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 8,02 e 9,50, Selvíria, MS, Brasil, 2013 e 2014.



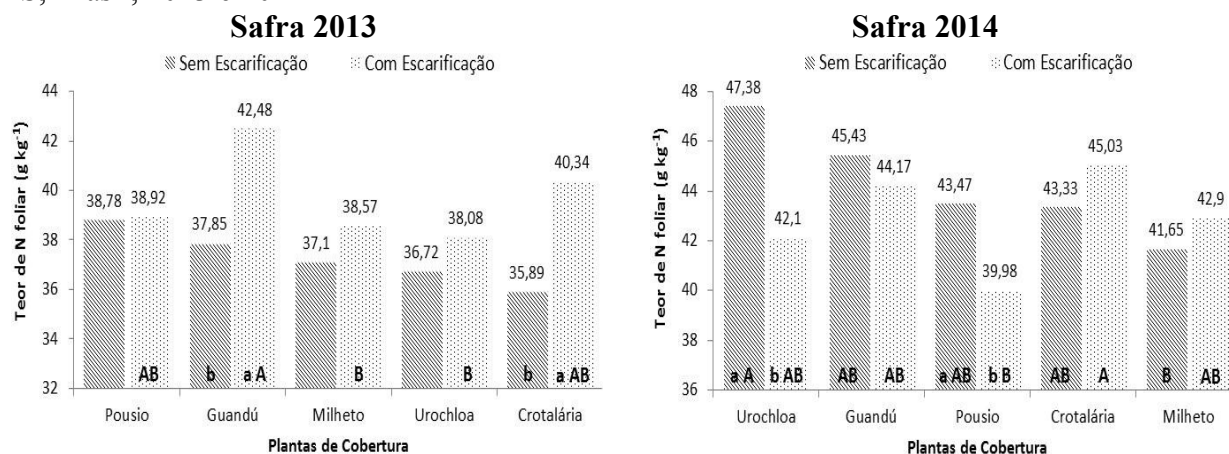
Fonte: Dados do próprio autor.

Analisando o desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de nitrogênio (N) foliar (Figura 13) em 2013, verificou-se que o solo sob crotalária (40,34 g kg<sup>-1</sup>) e guandu (42,48 g kg<sup>-1</sup>) com escarificação proporcionaram maior teor de N foliar do que a *Urochloa* (38,08 g kg<sup>-1</sup>) e milho (38,57 g kg<sup>-1</sup>) com escarificação. Isso se deve ao potencial dessas duas leguminosas na fixação biológica do nitrogênio (FBN) da atmosfera do solo e a mineralização da matéria orgânica do solo, disponibilizando rapidamente o N devido à baixa relação C/N, na forma amoniacal ou nítrica para a cultura do arroz e do feijão “de inverno” em sucessão em SPD. Outra hipótese seria da própria FBN do feijão, pois o mesmo foi inoculado no momento da semeadura, ou também via adubação de cobertura realizada aos 19 DAE, com dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para o desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para o teor de N foliar (Figura 13) em 2014, observou-se que os cultivos

antecessores de *Urochloa* (47,38 g kg<sup>-1</sup>) e guandu (45,43 g kg<sup>-1</sup>) em SPD promoveram maior teor de N foliar. Com relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, notou-se que a *Urochloa* em SPD e crotalaria com escarificação apresentaram maiores teores de N foliar. Destaque maior foi para *Urochloa* em SPD, que proporcionou maior teor de N foliar. Embora distintos, os teores estão dentro da faixa adequada (30-50 g kg<sup>-1</sup> de N) para um bom desenvolvimento das plantas de feijão, conforme Ambrosano et al. (1997), nos dois anos de cultivo.

**Figura 13** - Desdobramento da interação para o teor de nitrogênio foliar do feijão em 2013 e 2014, após descompactação mecânica (DM) do solo, cultivo de plantas de cobertura (PC) e arroz em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (2,5813 e 3,2224 g kg<sup>-1</sup>), e maiúscula, para DM dentro de PC (3,6755 e 4,5883 g kg<sup>-1</sup>), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 4,02 e 5,10, Selvíria, MS, Brasil, 2013 e 2014



Fonte: Dados do próprio autor.

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para número de vagens planta<sup>-1</sup> em 2013 (Figura 14), constatou-se que os cultivos anteriores de *Urochloa* (12,03 vagens planta<sup>-1</sup>) com escarificação e guandu (12,54 vagens planta<sup>-1</sup>) em SPD apresentaram maior número de vagens planta<sup>-1</sup>. Em relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, notou-se que o solo sob crotalária (12,83 vagens planta<sup>-1</sup>) e sob milheto (12,50 vagens planta<sup>-1</sup>) com escarificação apresentaram maiores número de vagens planta<sup>-1</sup>.

Analisando o desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para número de vagens planta<sup>-1</sup> na safra 2014 (Figura 14), verificou-se que o cultivo anterior de *Urochloa* e guandu com escarificação e o pousio em SPD proporcionaram maiores número de vagens planta<sup>-1</sup>. Com relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, constatou-se que o solo sob crotalária com

escarificação e sob milheto e pousio em SPD proporcionaram maior número de vagens planta<sup>-1</sup>. Merecem destaques os cultivos anteriores e sucessivos da *Urochloa* (12,03 e 14,05 vagens planta<sup>-1</sup>) e crotalária (12,83 e 14,13 vagens planta<sup>-1</sup>) com escarificação, nas safras 2013 e 2014, respectivamente, que mostraram excelente potencial para manutenção e incremento do número de vagens planta<sup>-1</sup> em ambos os anos cultivados.

**Tabela 10** - Valores médios do número de vagens e grãos planta<sup>-1</sup>, e número de grãos vagem<sup>-1</sup> do feijão “de inverno”, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz-feijão no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013 e 2014.

|                                             | Número de vagens<br>planta <sup>-1</sup> |                    | Número de Grãos<br>planta <sup>-1</sup> |                    | Número de grãos<br>vagem <sup>-1</sup> |                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|--------------------|
|                                             | 2013                                     | 2014               | 2013                                    | 2014               | 2013                                   | 2014               |
| <b>Descompactação mecânica do solo (DM)</b> |                                          |                    |                                         |                    |                                        |                    |
| Sem                                         | 10,66                                    | 12,07              | 52,19                                   | 66,56              | 4,67                                   | 5,58               |
| Com                                         | 11,06                                    | 12,18              | 51,02                                   | 71,45              | 4,75                                   | 6,04               |
| <b>Plantas de cobertura (PC)</b>            |                                          |                    |                                         |                    |                                        |                    |
| Pousio                                      | 10,33                                    | 12,87              | 52,17                                   | 75,40              | 4,86                                   | 6,00               |
| <i>Urochloa</i>                             | 10,50                                    | 12,86              | 51,01                                   | 59,53              | 4,55                                   | 4,70               |
| Crotalária                                  | 11,43                                    | 13,08              | 47,53                                   | 69,10              | 4,71                                   | 5,28               |
| Guandu                                      | 10,28                                    | 10,13              | 53,21                                   | 64,24              | 4,83                                   | 6,38               |
| Milheto                                     | 11,77                                    | 11,68              | 54,08                                   | 76,76              | 4,59                                   | 6,69               |
| <b>Valores de F</b>                         |                                          |                    |                                         |                    |                                        |                    |
| DM                                          | 0,39 <sup>ns</sup>                       | 0,04 <sup>ns</sup> | 0,25 <sup>ns</sup>                      | 1,66 <sup>ns</sup> | 0,33 <sup>ns</sup>                     | 2,55 <sup>ns</sup> |
| PC                                          | 0,93 <sup>ns</sup>                       | 4,76*              | 0,96 <sup>ns</sup>                      | 2,96 <sup>ns</sup> | 0,77 <sup>ns</sup>                     | 6,58*              |
| DM x PC                                     | 4,83*                                    | 7,47*              | 7,99*                                   | 0,97 <sup>ns</sup> | 0,22 <sup>ns</sup>                     | 3,30*              |
| <b>CV(%)</b>                                | 18,66                                    | 13,30              | 14,28                                   | 17,42              | 9,14                                   | 15,45              |

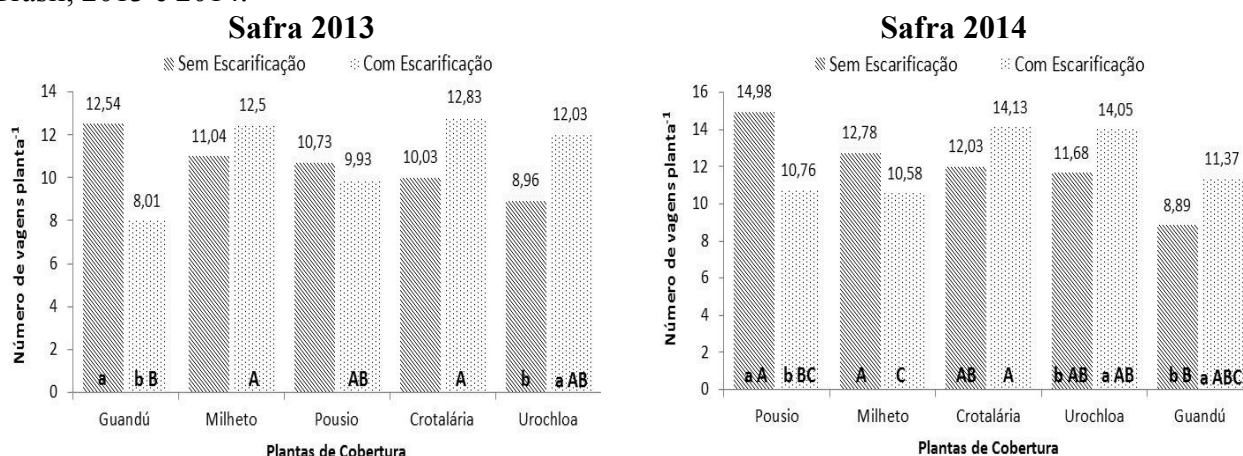
Nota: <sup>ns</sup>-não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Elaboração do autor.

Houve incremento da massa de 100 grãos (26,42 g) pela escarificação mecânica do solo em SPD na safra 2014 (Tabela 45). Evidencia-se o potencial dessa prática de manejo do solo em romper camadas superficiais compactadas e melhorar a qualidade física no perfil do solo em SPD implantado no primeiro momento, proporcionando maior desenvolvimento e aprofundamento do sistema radicular das plantas de cobertura e culturas anuais (arroz e feijão) em sucessão no sistema de produção proposto, após 24 meses da operação, assim, promovendo melhorias na formação de macroagregados e estruturação do solo, com reflexos positivos nas melhorias das características agrônômicas e produtivas das culturas anuais comerciais em sucessão no SPD implantado em Cerrado de baixa altitude. Nota-se que a massa de 100 grãos em 2013 foi superior em relação a 2014 em todos os tratamentos estudados, entretanto com menores produtividades em 2013 do que 2014.

Com relação aos resultados do desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica para número de grãos planta<sup>-1</sup>, em 2013 (Figura 48), observou-se que o solo sob crotalária com escarificação e sob guandu em SPD apresentaram maior número de grãos planta<sup>-1</sup>. Em relação à descompactação mecânica dentro de plantas de cobertura, notou-se que o solo sob milho com escarificação e guandu em SPD proporcionaram incrementos no número de grãos planta<sup>-1</sup>. Merece destaque o cultivo anterior de guandu em SPD que promoveu maior do número de grãos planta<sup>-1</sup> e o segundo lugar em número de vagens planta<sup>-1</sup> em relação às demais plantas de cobertura estudadas.

**Figura 14** - Desdobramento da interação para o número de vagens planta<sup>-1</sup> do feijão em 2013 e 2014, após descompactação mecânica (DM) do solo, cultivo de plantas de cobertura (PC) e arroz em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (2,9405 e 3,3392 grãos planta<sup>-1</sup>), e maiúscula, para DM dentro de PC (4,1869 e 3,3307 grãos planta<sup>-1</sup>), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 18,66 e 13,30, Selvíria, MS, Brasil, 2013 e 2014.



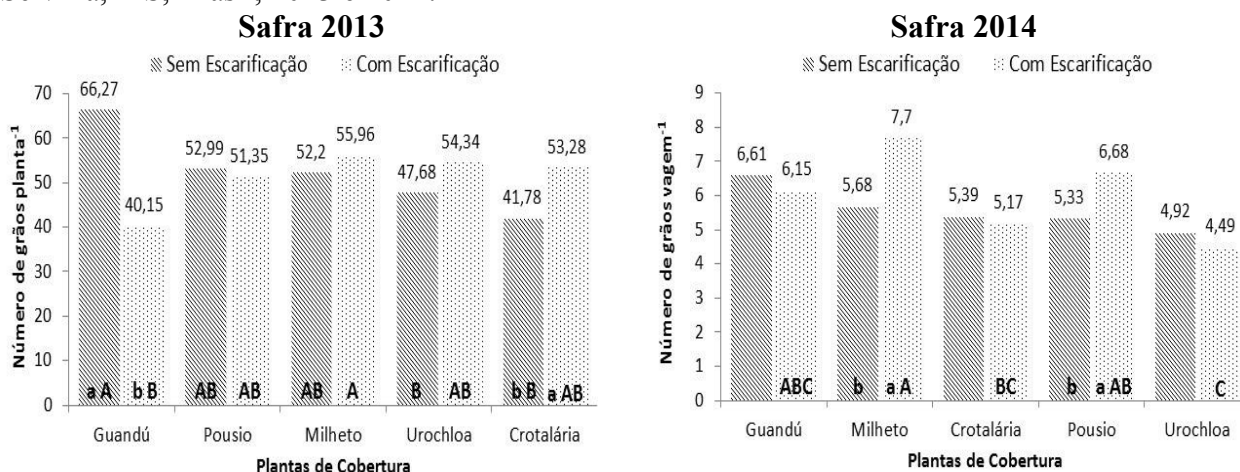
Fonte: Dados do próprio autor.

Com relação ao desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para número de grãos vagem<sup>-1</sup> na safra 2014 (Figura 15), verificou-se que os cultivos anteriores de milho (7,7 grãos vagem<sup>-1</sup>) e o pousio (6,68 grãos vagem<sup>-1</sup>) com escarificação promoveram maior do número de grãos vagem<sup>-1</sup> em relação à *Urochloa* (4,49 grãos vagem<sup>-1</sup>) com escarificação.

Para o desdobramento das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta dentro de plantas de cobertura para produtividade do feijão (Figura 16), verificou-se que os cultivos anteriores de crotalária (2.381 e 2.343 kg ha<sup>-1</sup>) e milho (2.158 e 2.714 kg ha<sup>-1</sup>) com escarificação, em 2013 e 2014, respectivamente, promoveram incrementos na produtividade de grãos, evidenciando que o solo sob crotalária e o milho associado à escarificação interagiram positivamente, proporcionando aumentos significativos na

produtividade do feijão. Resultado contrário ao apresentado por Collares et al. (2008), ao verificarem que a escarificação do solo não promoveu o aumento da produtividade do feijoeiro e tampouco melhorou suas variáveis de crescimento, mas foi eficaz em diminuir os efeitos da compactação, principalmente na redução da resistência à penetração. Entretanto, Almeida et al. (2008) verificaram que ocorreu maior produtividade de grãos do feijão, após cultivo anterior de crotalária em relação ao milho em um Latossolo Vermelho distrófico e na mesma condição climática. Isso ocorreu, possivelmente em virtude da crotalária ter gerado ambiente mais favorável à nodulação do feijão, proporcionando maior produtividade de grãos.

**Figura 15** - Desdobramento da interação para o número de grãos planta<sup>-1</sup> (NGP) em 2013 e o número de grãos vagem<sup>-1</sup> (NGV) em 2014 do feijão, após descompactação mecânica (DM) do solo, cultivo de plantas de cobertura (PC) e arroz em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (2,9405 grãos planta<sup>-1</sup>) e (1,3023 grãos vagem<sup>-1</sup>), e maiúscula, para DM dentro de PC (4,1869 grãos planta<sup>-1</sup>) e (1,8543 grãos vagem<sup>-1</sup>), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 14,28 e 15,45, Selvíria, MS, Brasil, 2013 e 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

Santos et al. (2010) também constataram incremento de 52% na produtividade do milho cultivado em sucessão à *Crotalaria juncea*, em relação à área de pousio, sem a presença da adubação nitrogenada em cobertura. Carvalho et al. (2004) verificaram incremento de 18% na produtividade do milho cultivado sob resíduos de *Crotalaria juncea* em relação ao tratamento pousio. Com estes resultados, fica nítido o benefício da crotalária como cultura antecessora ao milho, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, como visto no presente trabalho (SOUSA; LOBATO, 2004b).

O cultivo de crotalária, na ausência da aplicação de nitrogênio em cobertura, incrementou a produtividade de milho em 41%, comparativamente ao milheto, fato que



demonstra novamente, o maior aporte de nitrogênio no solo propiciado pela crotalária por meio da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011).

Confirmando o estudo de Oliveira, Carvalho e Moraes (2002), em que os autores verificaram que a produtividade de grãos do feijoeiro no SPD é influenciada positivamente pelas diferentes palhadas das plantas de cobertura. Além disso, a cultura mantém o solo coberto na entressafra e aproveita nutrientes da biomassa antecessora, como neste caso.

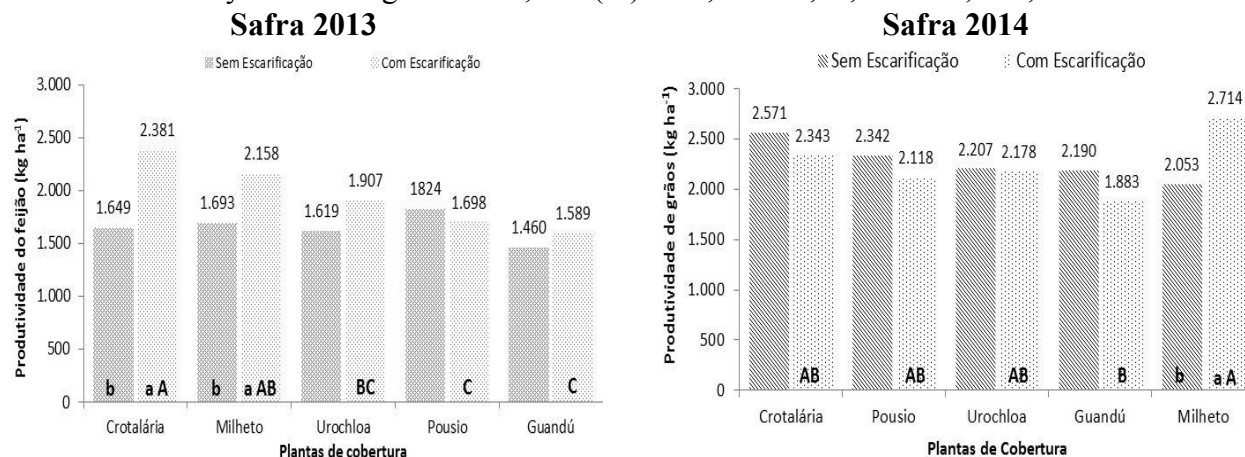
**Tabela 11** - Valores médios da massa de cem e produtividade de grãos do feijão “de inverno”, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz-feijão no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013 e 2014.

|                 | Massa de 100 grãos                   |                    | Produtividade de grãos          |                    |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
|                 | 2013                                 | 2014               | 2013                            | 2014               |
|                 | ----- g -----                        |                    | ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |                    |
|                 | Descompactação mecânica do solo (DM) |                    |                                 |                    |
| Sem             | 28,69                                | 25,27 b            | 1.649                           | 2.273              |
| Com             | 29,28                                | 26,42 a            | 1.947                           | 2.247              |
|                 | Plantas de cobertura (PC)            |                    |                                 |                    |
| Pousio          | 28,85                                | 24,99              | 1.761                           | 2.230              |
| <i>Urochloa</i> | 29,53                                | 25,99              | 1.763                           | 2.192              |
| Crotalária      | 29,17                                | 26,76              | 2.015                           | 2.456              |
| Guandu          | 28,20                                | 26,23              | 1.525                           | 2.037              |
| Milheto         | 29,19                                | 25,26              | 1.925                           | 2.383              |
|                 | Valores de F                         |                    |                                 |                    |
| DM              | 1,78 <sup>ns</sup>                   | 7,90*              | 18,97*                          | 0,08 <sup>ns</sup> |
| PC              | 1,08 <sup>ns</sup>                   | 2,47 <sup>ns</sup> | 6,02*                           | 2,58 <sup>ns</sup> |
| DM x PC         | 2,59 <sup>ns</sup>                   | 1,78 <sup>ns</sup> | 4,56*                           | 3,74*              |
|                 | DMS (5%)                             |                    |                                 |                    |
| DM              | --                                   | 0,819              | --                              | --                 |
| CV(%)           | 4,43                                 | 7,10               | 12,01                           | 12,86              |

Nota: <sup>ns</sup>-não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra, para escarificação e PC, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 16.** Desdobramento da interação para a produtividade de grãos (PG) do feijão em 2013 e 2014, após descompactação mecânica (DM) do solo, cultivo de plantas de cobertura (PC) e arroz em SPD. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM (313,31 e 421,71 kg ha<sup>-1</sup>), e maiúscula, para DM dentro de PC (416,12 e 600,47 kg ha<sup>-1</sup>), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, CV (%) = 12,01 e 12,86, Selvíria, MS, 2013 e 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.4.2 Dinâmica da temperatura do solo (TS) nos cultivos do arroz as 06h00, 14h00 e 22h00, na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo nas safras 2012/13 e 2013/14

A palhada de milheto, independente da descompactação mecânica, na entressafra do arroz resultou em baixa condutividade térmica (Tabela 12 e Figura 17), com maior variação de TS, consequentemente, as TS são mais baixas em profundidade exercendo um excelente efeito de isolante térmico, desenvolvendo perfis de TS mais amenos em profundidade, embora, na cobertura a variação possa ser grande. Provavelmente, devido à maior produtividade de matéria seca (MS) da parte aérea do milheto com (13,40 Mg ha<sup>-1</sup>) e sem (12,47 Mg ha<sup>-1</sup>) escarificação, favorecendo baixa condutividade térmica. Resultado semelhante ao encontrado por Lier (2010), que verificou maior variação de TS próximo da superfície (ainda que o coeficiente de reflexão seja alto) por que a condutividade térmica é baixa.

A palhada de guandú, independente da escarificação, na entressafra do arroz, proporcionou alta condutividade térmica com leve variação na cobertura, em decorrência de uma mais eficiente transmissão de calor nessa camada (Tabela 12 e Figura 17 e 18). Como consequência, abaixo dela, as temperaturas são mais elevadas. Provavelmente, devido à baixa produtividade de MS da parte aérea (8,30 Mg ha<sup>-1</sup>), favorecendo a alta condutividade térmica.

Em resultados obtidos por Pereira et al. (2004), que observaram, sob sistema plantio direto, as maiores diferenças entre o solo coberto e o descoberto ocorreram na profundidade

de 0,10 m, em que a cobertura do solo propiciou a obtenção de temperaturas mais elevadas às 9 horas e menores às 15 horas. Isso acontece porque à noite a cobertura morta funciona como isolante térmico, impedindo, devido ao balanço negativo da radiação, que o fluxo de calor no solo em direção à superfície seja intensificado (PEZZOPANE et al., 1996).

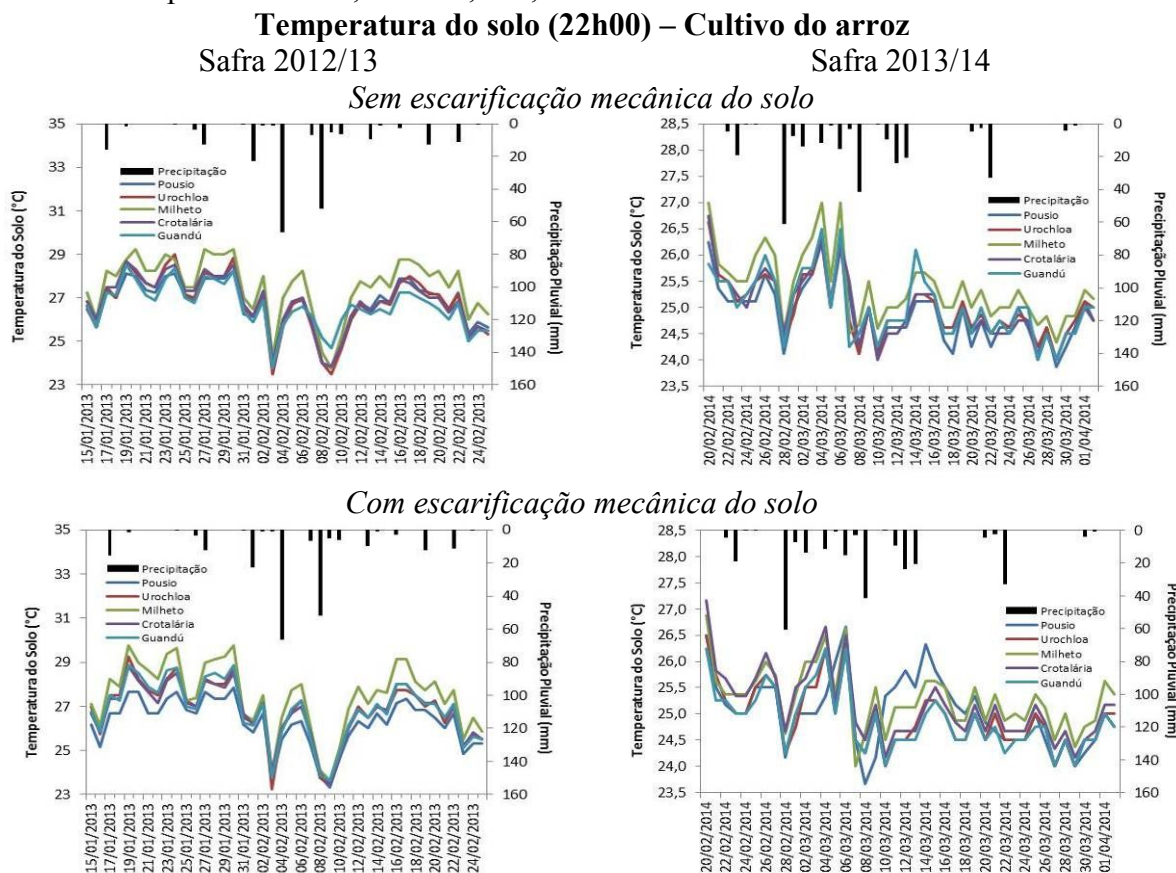
**Tabela 12** - Temperatura máxima, mínima e amplitude térmica do solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| PC                                               | DM  | T máxima                                         |       |       | T mínima |       |       | Amplitude |       |       |
|--------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                                                  |     | Cultivo do arroz de terras altas – Safra 2012/13 |       |       |          |       |       |           |       |       |
|                                                  |     | 06h00                                            | 14h00 | 22h00 | 06h00    | 14h00 | 22h00 | 06h00     | 14h00 | 22h00 |
| °C                                               |     |                                                  |       |       |          |       |       |           |       |       |
| Pousio                                           | Sem | 26,5                                             | 31,1  | 27,8  | 22,5     | 23,6  | 23,3  | 4,0       | 7,5   | 4,5   |
|                                                  | Com | 25,8                                             | 30,0  | 27,3  | 22,3     | 23,5  | 22,8  | 3,5       | 6,5   | 4,5   |
| Urochloa                                         | Sem | 26,7                                             | 31,7  | 28,5  | 22,5     | 23,5  | 23,0  | 4,2       | 8,2   | 5,5   |
|                                                  | Com | 26,5                                             | 31,0  | 28,8  | 21,8     | 23,3  | 22,8  | 4,7       | 7,7   | 6,0   |
| Crotalaria                                       | Sem | 26,3                                             | 30,7  | 28,2  | 22,5     | 23,5  | 23,3  | 3,8       | 7,2   | 4,9   |
|                                                  | Com | 26,3                                             | 31,2  | 28,3  | 22,3     | 23,5  | 23,1  | 4,0       | 7,7   | 5,2   |
| Guandu                                           | Sem | 26,3                                             | 31,3  | 28,0  | 23,3     | 23,3  | 23,3  | 3,0       | 8,0   | 4,7   |
|                                                  | Com | 26,4                                             | 32,8  | 28,4  | 22,4     | 23,5  | 23,1  | 4,0       | 9,3   | 5,3   |
| Milheto                                          | Sem | 26,8                                             | 33,5  | 28,8  | 22,8     | 24,0  | 23,3  | 4,0       | 9,5   | 5,5   |
|                                                  | Com | 26,6                                             | 34,1  | 29,3  | 22,6     | 23,9  | 23,1  | 4,0       | 7,2   | 6,2   |
| Cultivo do arroz de terras altas – Safra 2013/14 |     |                                                  |       |       |          |       |       |           |       |       |
| Pousio                                           | Sem | 25,4                                             | 28,3  | 26,3  | 22,8     | 24,3  | 23,9  | 2,6       | 3,9   | 2,4   |
|                                                  | Com | 26,0                                             | 28,2  | 26,7  | 22,8     | 24,3  | 23,7  | 3,2       | 3,8   | 3,0   |
| Urochloa                                         | Sem | 25,1                                             | 28,1  | 26,3  | 23,1     | 24,8  | 24,0  | 2,0       | 3,4   | 2,3   |
|                                                  | Com | 25,8                                             | 28,0  | 26,5  | 22,8     | 24,5  | 24,0  | 3,0       | 3,5   | 2,5   |
| Crotalaria                                       | Sem | 25,5                                             | 28,0  | 26,8  | 23,0     | 24,5  | 24,0  | 2,5       | 3,5   | 2,8   |
|                                                  | Com | 25,8                                             | 28,2  | 27,2  | 23,2     | 24,8  | 24,2  | 2,7       | 3,3   | 3,0   |
| Guandu                                           | Sem | 25,3                                             | 28,6  | 26,5  | 23,0     | 24,8  | 24,0  | 2,3       | 3,8   | 2,5   |
|                                                  | Com | 25,3                                             | 28,3  | 26,3  | 23,0     | 24,8  | 24,0  | 2,3       | 3,5   | 2,3   |
| Milheto                                          | Sem | 25,5                                             | 29,3  | 27,0  | 23,2     | 25,0  | 24,3  | 2,3       | 4,3   | 2,7   |
|                                                  | Com | 25,4                                             | 28,6  | 26,9  | 23,4     | 25,1  | 24,0  | 2,0       | 3,5   | 2,9   |

Fonte: Dados do próprio autor.

**Fonte:** Dados do próprio autor.

**Figura 18.** Comportamento das médias da temperatura de solo, 4 repetições, do sensor instalado na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo, as 22h00 nas 5 PCs em ausência e presença da DM do solo (°C), durante o período de 20 dias antes e 20 dias após o florescimento pleno do arroz, Selvíria, MS, safra 2012/13 e 2013/14.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

#### 4.4.3 Dinâmica da temperatura do solo (TS) nos cultivos do feijão as 06h00, 14h00 e 22h00 na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo nas safras 2013 e 2014

As condições climáticas do Cerrado Sul-Matogrossense alteraram a dinâmica da temperatura do solo na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo, proporcionando rápida decomposição da palhada produzida e deixada na superfície do solo pelas plantas de cobertura na entressafra do arroz no primeiro (60 DAS) e segundo (30 DAS) ano de cultivo, conferindo comportamento térmico semelhante entre as palhadas das plantas de cobertura na camada superficial do solo para o cultivo do feijão nos dois anos. Isso devido o Cerrado apresentar altas temperaturas e elevado índice pluviométrico no verão fazendo com que a taxa de decomposição seja rápida e ocorra menor persistência de resíduos vegetais na superfície do solo, mesmo quando a palhada é basicamente constituída de gramíneas com alta relação C/N e elevado teor de lignina. Dessa forma, manter nessa região uma camada de cobertura do solo

por longo tempo torna-se atividade bastante complexa, necessitando de conhecimento e experiência prática de quem adota o SPD (LANDERS, 1995; AVARENGA et al. 2001; ANDREOTTI, 2012), assim como no caso desta pesquisa.

Merece destaque a palhada de milho na ausência de escarificação do solo, na entressafra do feijão em sucessão ao arroz que proporcionou baixa condutividade térmica (Tabela 13 e Figura 19), com maior variação de TS as 14h00, nas safras 2013 e 2014, exercendo um excelente efeito de “isolante térmico”, resultando em perfis de TS mais amenos em profundidade, embora, na cobertura a variação possa ser grande. Isso se deve à elevada produtividade de MS na parte aérea do milho, na ausência (12,47 e 11,34 Mg ha<sup>-1</sup>) de escarificação na safra 2013 e 2014, respectivamente. Resultado semelhante ao encontrado por Lier (2010), e também observados no cultivo do arroz nas duas safras anteriores. Além disso, a palhada de guandu com escarificação no mesmo horário, entretanto, na safra 2013, proporcionou alta variação da amplitude térmica e picos elevados de TS, assim, proporcionou baixa condutividade térmica (Tabela 13 e Figuras 19 e 20). Como consequência, abaixo dela, as temperaturas são mais baixas, devido principalmente uma intermediária produtividade de MS na parte aérea (8,30 Mg ha<sup>-1</sup>), porém não influenciou na dinâmica da TS na safra 2014. Nas demais épocas o comportamento da TS foi semelhante (Figura 19 e 20).

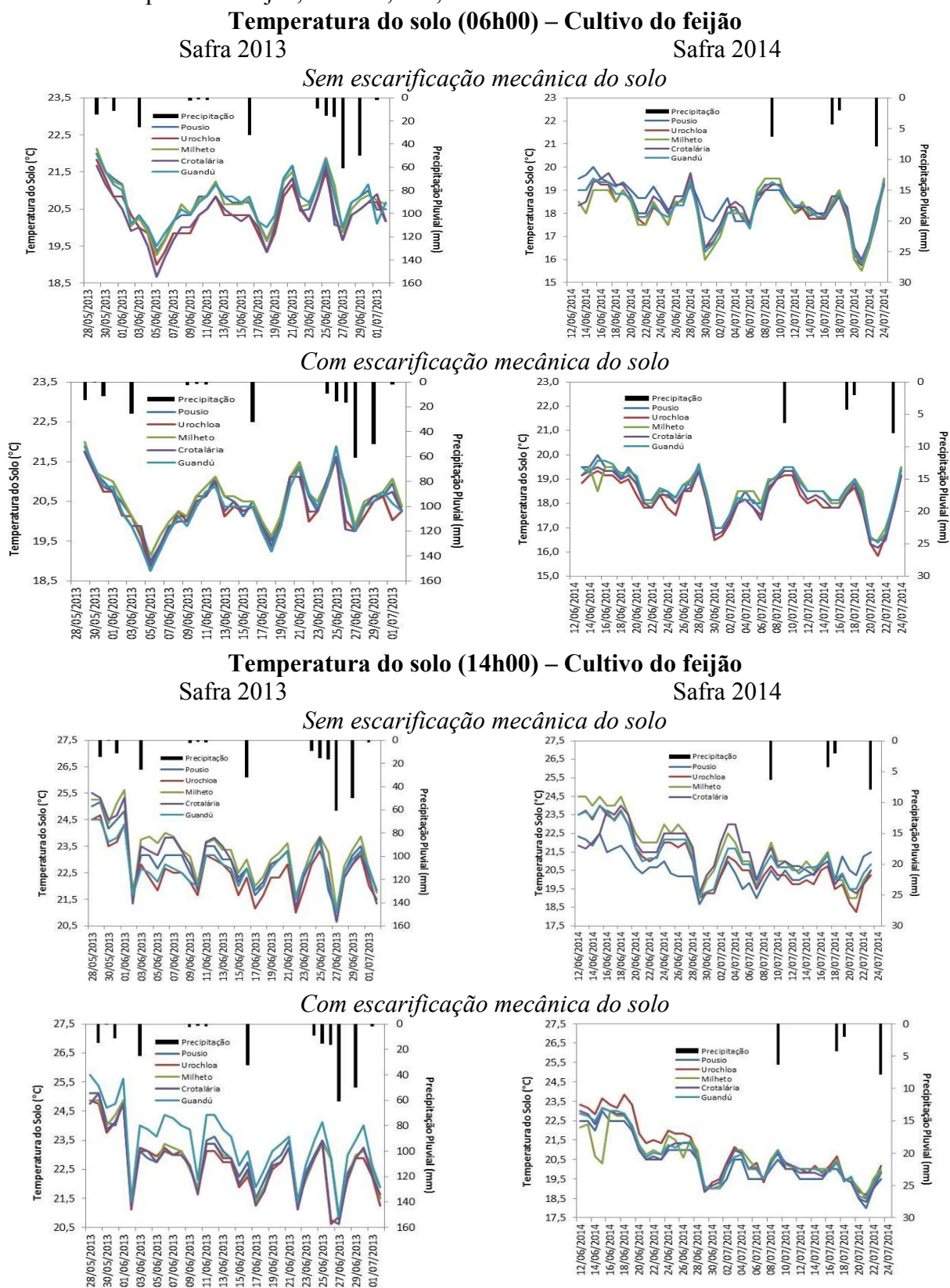


**Tabela 13** - Temperatura (T) máxima, mínima e amplitude térmica do solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-**feijão (12 meses)**-PC-arroz (21 meses)-**feijão (24 meses)** no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, safras 2013 e 2014.

| PC                                          | DM  | T máxima                                    |       |       | T mínima |       |       | Amplitude |       |       |
|---------------------------------------------|-----|---------------------------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                                             |     | Cultivo do feijão “de inverno” – Safra 2013 |       |       |          |       |       |           |       |       |
|                                             |     | 06h00                                       | 14h00 | 22h00 | 06h00    | 14h00 | 22h00 | 06h00     | 14h00 | 22h00 |
| ----- °C -----                              |     |                                             |       |       |          |       |       |           |       |       |
| Pousio                                      | Sem | 22,0                                        | 25,2  | 23,2  | 19,3     | 21,0  | 20,7  | 2,7       | 4,2   | 2,5   |
|                                             | Com | 21,8                                        | 25,1  | 23,1  | 19,0     | 20,8  | 20,5  | 2,8       | 4,3   | 2,6   |
| Urochloa                                    | Sem | 21,8                                        | 24,7  | 22,7  | 19,0     | 20,7  | 20,3  | 2,8       | 4,0   | 2,4   |
|                                             | Com | 21,8                                        | 24,9  | 23,0  | 18,8     | 20,6  | 20,0  | 3,0       | 4,3   | 3,0   |
| Crotalaria                                  | Sem | 21,7                                        | 25,5  | 23,0  | 18,7     | 20,7  | 20,2  | 3,0       | 4,8   | 2,8   |
|                                             | Com | 21,8                                        | 25,1  | 22,8  | 18,9     | 20,6  | 20,0  | 2,9       | 4,5   | 2,8   |
| Guandu                                      | Sem | 22,0                                        | 24,5  | 23,0  | 19,5     | 21,0  | 20,7  | 2,5       | 3,5   | 2,3   |
|                                             | Com | 21,9                                        | 25,8  | 22,9  | 18,8     | 20,9  | 20,4  | 3,1       | 4,9   | 2,5   |
| Milheto                                     | Sem | 22,1                                        | 25,6  | 23,1  | 19,3     | 21,1  | 20,6  | 2,8       | 4,5   | 2,5   |
|                                             | Com | 22,0                                        | 24,9  | 23,0  | 19,1     | 20,9  | 20,4  | 2,9       | 4,0   | 2,6   |
| Cultivo do feijão “de inverno” – Safra 2014 |     |                                             |       |       |          |       |       |           |       |       |
| Pousio                                      | Sem | 20,0                                        | 22,5  | 21,2  | 15,8     | 18,7  | 17,8  | 4,3       | 3,8   | 3,4   |
|                                             | Com | 20,0                                        | 23,0  | 21,0  | 16,5     | 18,0  | 17,5  | 3,5       | 5,0   | 3,5   |
| Urochloa                                    | Sem | 19,5                                        | 24,0  | 21,0  | 15,8     | 18,3  | 17,3  | 3,8       | 5,8   | 3,8   |
|                                             | Com | 19,3                                        | 23,8  | 20,8  | 15,8     | 18,7  | 17,5  | 3,5       | 5,2   | 3,3   |
| Crotalaria                                  | Sem | 19,8                                        | 24,0  | 21,3  | 16,0     | 19,3  | 17,8  | 3,8       | 4,8   | 3,5   |
|                                             | Com | 19,5                                        | 23,2  | 21,2  | 16,2     | 18,3  | 17,5  | 3,3       | 4,8   | 3,7   |
| Guandu                                      | Sem | 19,5                                        | 24,0  | 21,4  | 15,8     | 19,2  | 17,8  | 3,7       | 4,8   | 3,6   |
|                                             | Com | 19,8                                        | 23,1  | 21,4  | 16,4     | 18,5  | 17,8  | 3,4       | 4,6   | 3,6   |
| Milheto                                     | Sem | 19,5                                        | 24,5  | 21,0  | 15,5     | 19,0  | 17,5  | 4,0       | 5,5   | 3,5   |
|                                             | Com | 19,5                                        | 23,0  | 21,3  | 16,5     | 18,5  | 18,0  | 3,0       | 4,5   | 3,3   |

Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 19** - Comportamento das médias da temperatura de solo, 4 repetições, do sensor instalado na profundidade de 0,05 m abaixo do nível do solo, as 06h00 e 14h00 nas 5 PCs em ausência e presença da DM do solo (°C), durante o período de 20 dias antes e 20 dias após o florescimento pleno do feijão, Selvíria, MS, safra 2013 e 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.





#### 4.5 DINÂMICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, APÓS DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA, SEGUIDA DE CULTIVO DO ARROZ E FEIJÃO EM SUCESSÃO NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE

##### 4.5.1 Dinâmica da matéria orgânica (M.O.) no perfil do solo durante dois anos

Maior taxa de adição M.O. ocorreu em SPD aos 12 meses, entretanto, a partir dessa época apresentou comportamento semelhante com leve redução do conteúdo de MOS até 24 meses na primeira camada do solo. Comportamentos semelhantes ocorreram na segunda, terceira e quarta camada do solo, todavia com maior conteúdo de M.O. com escarificação aos 12 meses na segunda camada do solo, assim como, maior conteúdo de MOS em SPD aos 21 meses na terceira camada do solo. Não houve diferenças nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 21).

O conteúdo de M.O. apresentou incrementos crescentes após cultivo de plantas de cobertura até cerca de 12 meses. A partir dessa época constatou-se pequena queda e/ou manutenção nos conteúdos de M.O. em todas as plantas de cobertura nas quatro camadas do solo. A entressafra com milho resultou em maior adição M.O. aos 21 meses somente na primeira camada do solo (Figura 21). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo. Todavia houve incremento crescente nos conteúdos de M.O. após manejo do solo adotado e ressalva-se que o conteúdo de M.O. foi inferior ao considerado adequado para um solo de textura argilosa (30 a 60 mg dm<sup>-3</sup>) de acordo com Raij et al. (1997).

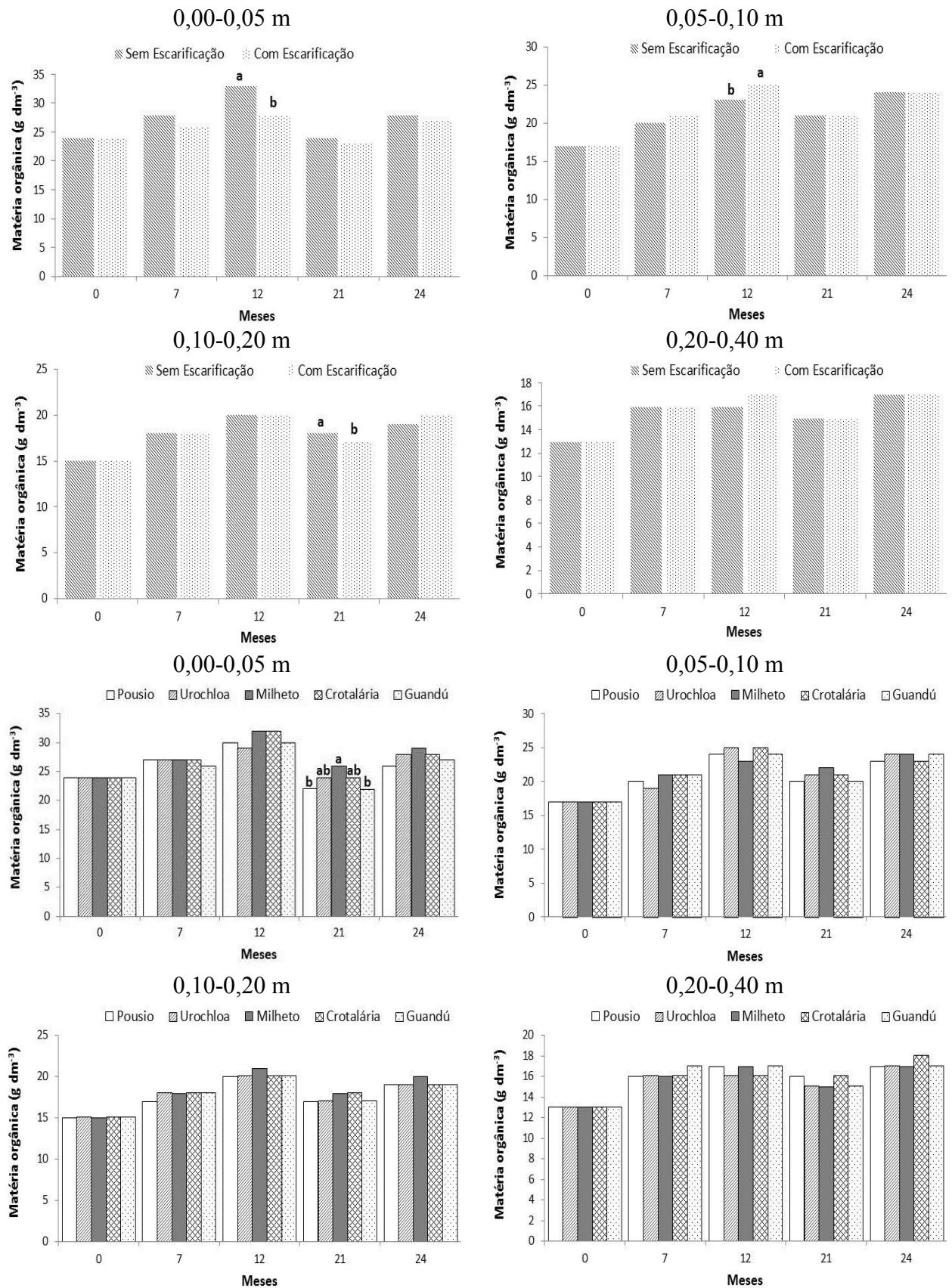
Baseado nos resultados desta pesquisa, o sistema de produção pode ser uma excelente opção para o Cerrado Sul-Matogrossense, preconizando-se minimizar problemas de degradação física e química devido ao intenso uso e manejo inadequado, ocasionado pela maior frequência de erosão de diversos tipos, redução da fertilidade e do teor de matéria orgânica e, principalmente, formação de camadas compactadas. Essa compactação advém de substancial alteração da sua estrutura, desencadeada pela reorganização das partículas e de seus agregados, podendo reduzir a infiltração e redistribuição de água, as trocas gasosas, e também limitar a absorção e a disponibilidade de nutrientes ao crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas, resultando no decréscimo da produtividade das culturas (ROQUE et al., 2008). O manejo do solo inadequado promove sua desagregação e acelera a decomposição da matéria orgânica do solo (SOUZA; ALVES, 2003b; BAYER et al., 2004),

principal responsável pela CTC dos solos das regiões tropicais e subtropicais (RAIJ, 1991; SOUSA; LOBATO, 2004a), não se aplicando neste sistema de produção adotado.

São muitos os efeitos que os sistemas de sucessão/rotação de culturas provocam nas estruturas físicas, químicas e biológicas do solo, ou seja, com o acúmulo de resíduos sobre a superfície do solo aumenta o seu teor de matéria orgânica, alterando sua estrutura, aumentando a porosidade e a agregação, melhorando a infiltração, o armazenamento de água, a aeração e o desenvolvimento das raízes e das plantas. Na camada superficial do solo, também aumentam os teores e a disponibilidade de nutrientes e de água, que se tornam mais equilibrados em função do desenvolvimento de diferentes espécies, com habilidades diferenciadas para extrair, reciclar, fixar e exportar nutrientes. Também a biologia do solo (macro, meso e microfauna e flora) é incrementada em razão das condições ambientais favoráveis, proporcionando melhor desenvolvimento dos cultivos (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Almeida et al. 2008, em Latossolo Vermelho de Cerrado, verificaram que os sistemas de rotação de culturas, plantas de cobertura e manejos do solo influenciaram os atributos físicos e químicos do solo, bem como a produtividade das culturas de feijão, milho e soja. Além disso, verificaram que o SPD, após três anos de instalado a rotação, degradou mais os atributos físicos do solo na camada superficial. Por outro lado, nesse sistema e camada de solo, notou-se acréscimo no teor de matéria orgânica e no pH, bem como produtividade do milho superior à do sistema de preparo convencional. O feijão em rotação à soja, no SPD, foi a melhor opção quanto ao desempenho de produtividade.

**Figura 21** - Dinâmica da matéria orgânica (M.O.) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 14** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da matéria orgânica do solo (M.O.), após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica da matéria orgânica do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|----------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                         |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                          | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- g dm <sup>-3</sup> -----                           |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 3,83 <sup>ns</sup> | 34,43 <sup>*</sup> | 1,70 <sup>ns</sup> | 0,47 <sup>ns</sup> | --                               | 0,82 <sup>ns</sup> | 6,34 <sup>*</sup>  | 0,01 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup> |
| PC                                                       | -- | 0,36 <sup>ns</sup> | 1,64 <sup>ns</sup> | 4,81 <sup>*</sup>  | 2,13 <sup>ns</sup> | --                               | 2,38 <sup>ns</sup> | 1,52 <sup>ns</sup> | 1,94 <sup>ns</sup> | 0,62 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                    | -- | 0,59 <sup>ns</sup> | 2,52 <sup>ns</sup> | 1,68 <sup>ns</sup> | 0,96 <sup>ns</sup> | --                               | 0,88 <sup>ns</sup> | 1,49 <sup>ns</sup> | 0,53 <sup>ns</sup> | 0,06 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | --                 | 1,70               | --                 | --                 | --                               | --                 | 1,34               | --                 | --                 |
| PC                                                       | -- | --                 | --                 | 3,19               | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | 8,74               | 8,59               | 9,26               | 8,38               | --                               | 8,64               | 8,60               | 8,03               | 7,88               |
| 0,10-0,20 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 0,01 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup> | 4,58 <sup>*</sup>  | 0,33 <sup>ns</sup> | --                               | 0,52 <sup>ns</sup> | 1,24 <sup>ns</sup> | 1,20 <sup>ns</sup> | 0,37 <sup>ns</sup> |
| PC                                                       | -- | 0,29 <sup>ns</sup> | 0,84 <sup>ns</sup> | 2,68 <sup>ns</sup> | 0,48 <sup>ns</sup> | --                               | 1,58 <sup>ns</sup> | 0,97 <sup>ns</sup> | 0,51 <sup>ns</sup> | 0,50 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                    | -- | 0,98 <sup>ns</sup> | 1,35 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup> | 0,82 <sup>ns</sup> | --                               | 1,26 <sup>ns</sup> | 1,18 <sup>ns</sup> | 1,01 <sup>ns</sup> | 0,93 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | --                 | -                  | 1,62               | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | 6,60               | 7,35               | 6,04               | 7,13               | --                               | 5,52               | 11,11              | 7,02               | 7,62               |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.5.2 Dinâmica da capacidade troca de cátions (CTC) no perfil do solo durante dois anos

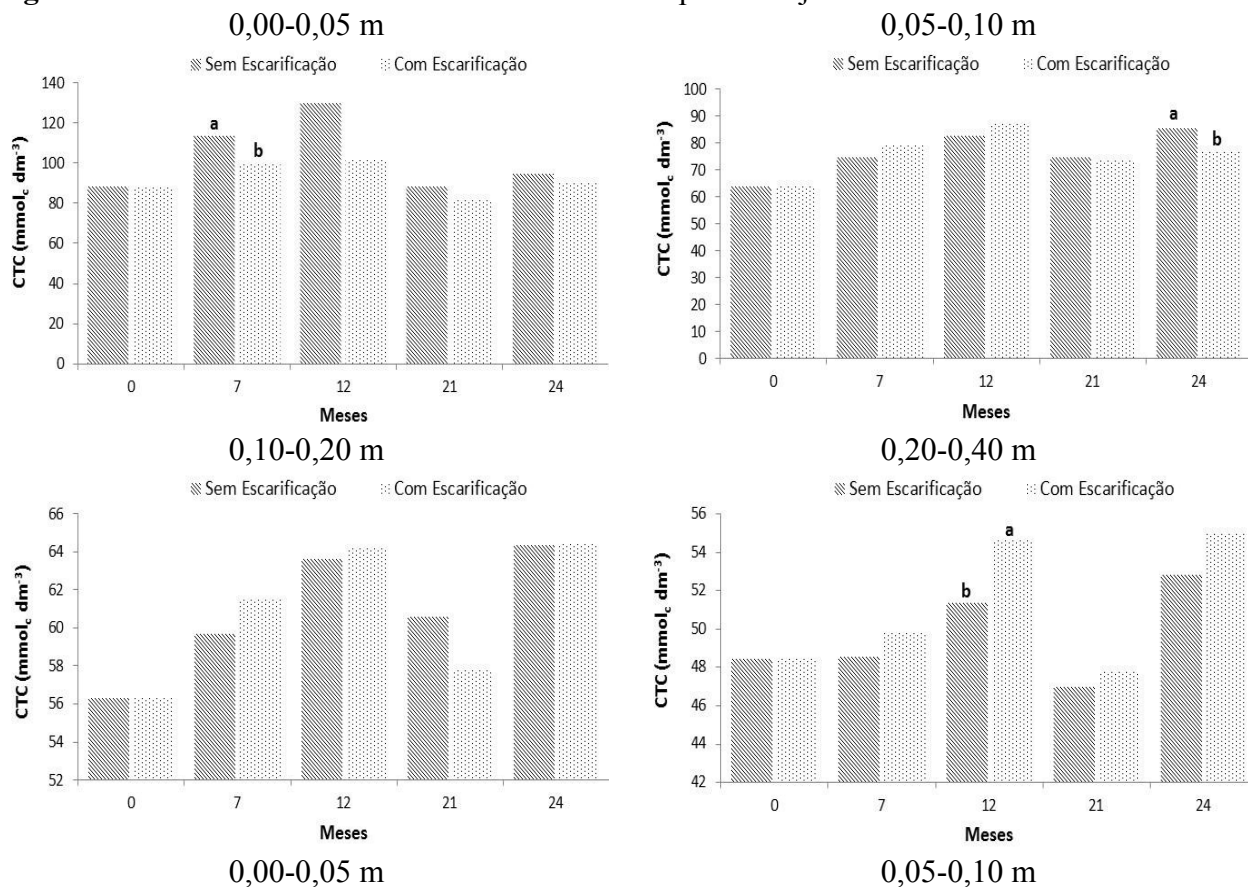
Observou-se elevado incremento de CTC no SPD até aproximadamente 12 meses para descompactação mecânica do solo, seguido de decréscimo nas referidas quantidades até aos 21 meses. A partir dessa época foi observado leve acréscimo na quantidade da CTC tanto sem e com escarificação do solo, destacando-se também que a CTC se encontrou em maior proporção nas avaliações de 7 e 24 meses (Figura 22), principalmente em SPD na primeira e segunda camada do solo, respectivamente.

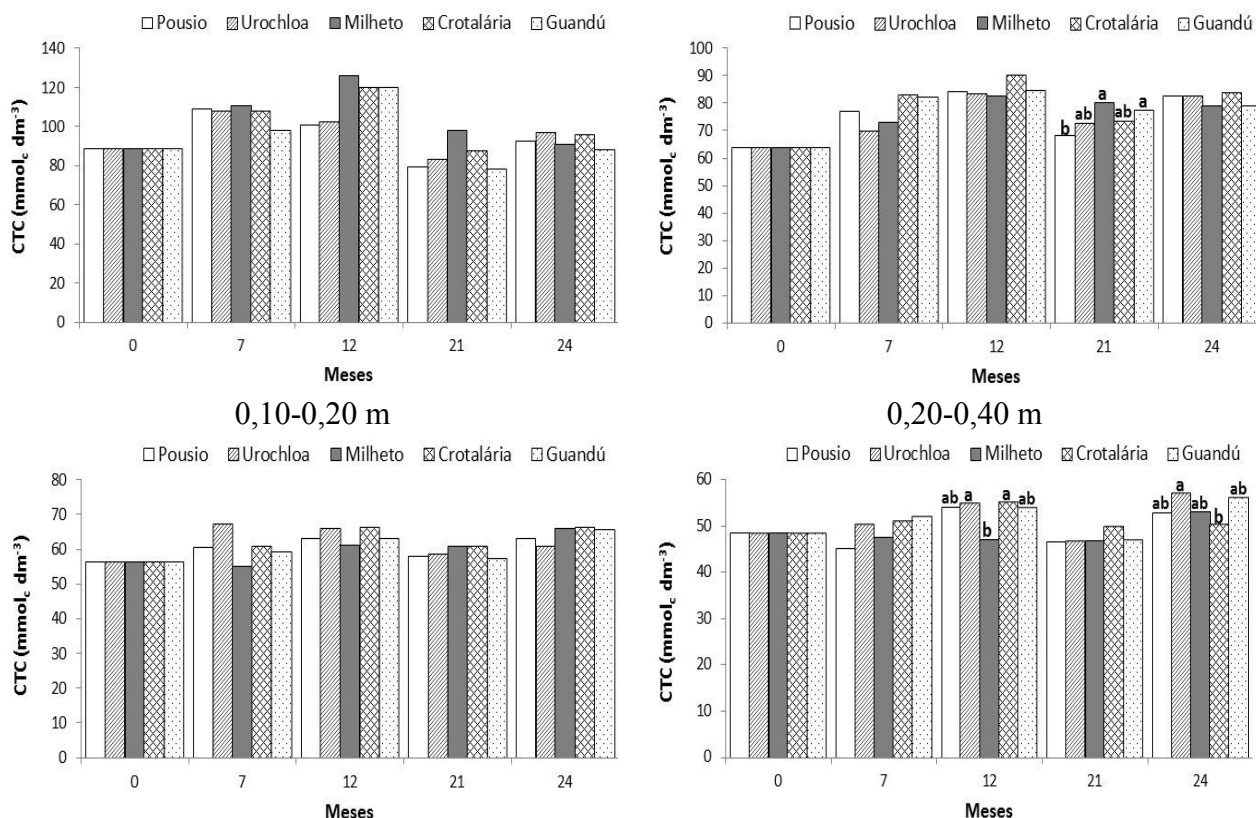
Houve crescente incremento da CTC até 12 meses, seguido de leve decréscimo e/ou manutenção desta aos 21 e 24 meses após cultivo de plantas de cobertura na primeira e segunda camada do solo. As quantidades de CTC se estabilizaram após cultivos de plantas de cobertura na terceira e quarta camada do solo, entretanto, destacando-se a pré-safra de *Urochloa* que resultou em maior incremento nos valores de CTC aos 12 e 24 meses na quarta

camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 22).

Com relação aos desdobramentos referentes das interações das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para CTC do solo nas avaliações de 21 meses na primeira camada e aos 7 e 12 meses na terceira camada do solo houve comportamento semelhante em todos os tratamentos (Figura 23, a, b e c). No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para CTC do solo aos 21 meses na terceira camada do solo (Figura 23, d), notou-se que a entressafr de *Urochloa* e milho em SPD resultaram em maiores valores de CTC do solo. A descompactação mecânica e biológica do solo, seguida da sucessão de culturas (arroz e feijão), resultaram em incrementos na CTC que é fundamental para estabilidade do sistema de produção, assim, proporcionando aumento das cargas negativas do solo por intermédio da maior produtividade de biomassa e incremento da matéria orgânica que contribui com 75 e 85% na CTC em solos na região do Cerrado, segundo RESCK (1998).

**Figura 22** - Dinâmica da CTC nas camadas do solo após manejo do solo nos dois anos.





Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 15** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da CTC do solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

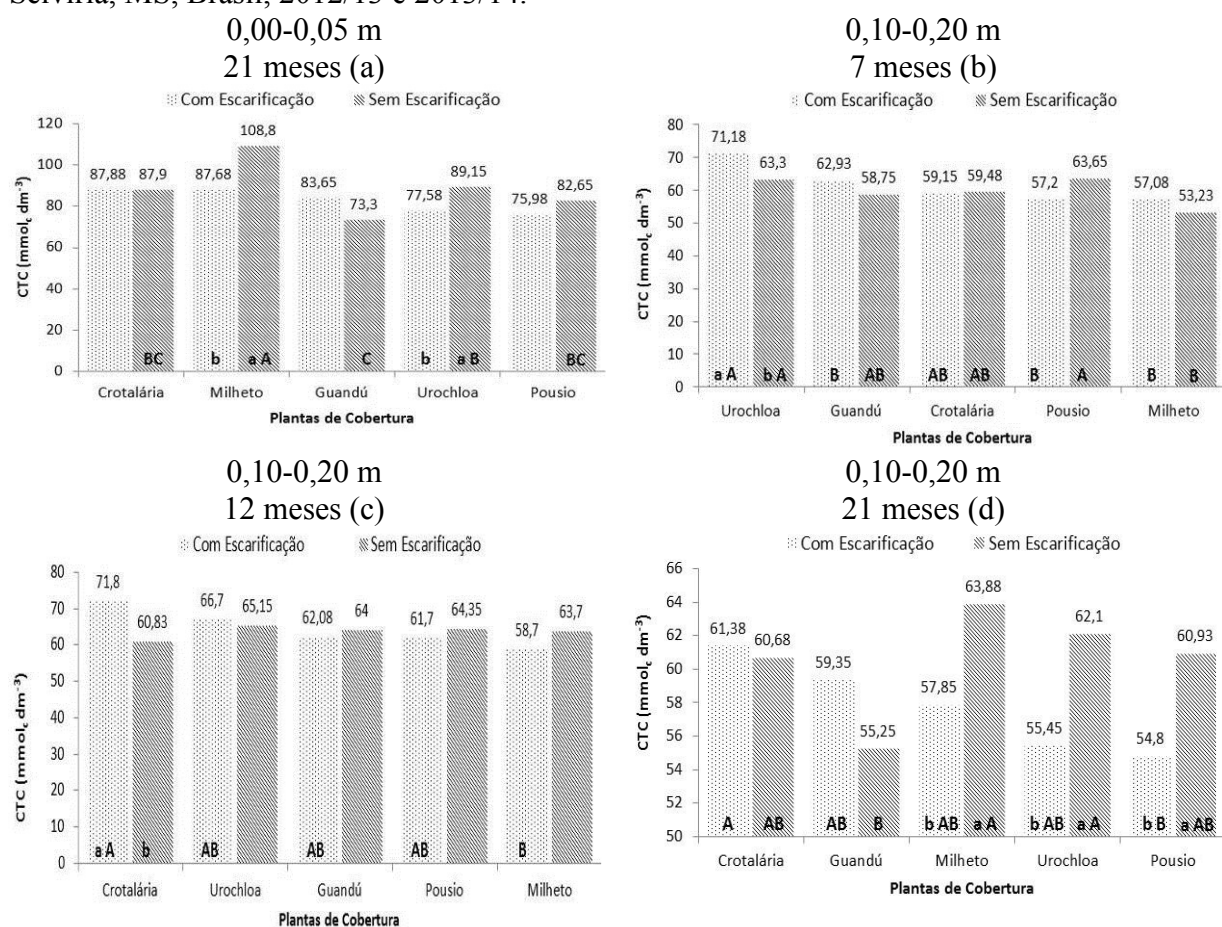
| Dinâmica da CTC do solo (2012/13 e 2013/14)    |    |                    |                    |       |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|-------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                    |    |                    |                    |       |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo               |    |                    |                    |       |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |    |                    |                    |       |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|                                                | 0  | 7                  | 12                 | 21    | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| Valores de F                                   |    |                    |                    |       |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                             | -- | 7,03*              | 20,75*             | 6,38* | 3,51 <sup>ns</sup> | --                               | 1,21 <sup>ns</sup> | 2,01 <sup>ns</sup> | 0,25 <sup>ns</sup> | 22,03*             |
| PC                                             | -- | 0,71 <sup>ns</sup> | 1,81 <sup>ns</sup> | 9,83* | 2,28 <sup>ns</sup> | --                               | 1,58 <sup>ns</sup> | 0,57 <sup>ns</sup> | 4,61*              | 1,26 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                          | -- | 0,56 <sup>ns</sup> | 0,52 <sup>ns</sup> | 5,32* | 3,89 <sup>ns</sup> | --                               | 0,92 <sup>ns</sup> | 0,21 <sup>ns</sup> | 1,79 <sup>ns</sup> | 0,50 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                       |    |                    |                    |       |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                             | -- | 10,68              | 12,57              | --    | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | 3,63               |
| PC                                             | -- | --                 | --                 | --    | --                 | --                               | --                 | -                  | 8,89               | --                 |
| CV(%)                                          | -- | 15,41              | 16,72              | 8,51  | 7,39               | --                               | 16,61              | 13,11              | 8,18               | 6,87               |
| 0,10-0,20 m                                    |    |                    |                    |       |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                   |    |                    |                    |       |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                             | -- | 1,49 <sup>ns</sup> | 0,14 <sup>ns</sup> | 8,52* | 0,01 <sup>ns</sup> | --                               | 0,43 <sup>ns</sup> | 4,50*              | 0,87 <sup>ns</sup> | 2,36 <sup>ns</sup> |
| PC                                             | -- | 6,74*              | 1,55 <sup>ns</sup> | 2,54* | 2,26 <sup>ns</sup> | --                               | 1,53 <sup>ns</sup> | 3,74*              | 2,31 <sup>ns</sup> | 2,99*              |
| DMxPC                                          | -- | 2,67*              | 3,24*              | 5,22* | 1,79 <sup>ns</sup> | --                               | 1,35 <sup>ns</sup> | 1,79 <sup>ns</sup> | 2,04 <sup>ns</sup> | 1,35 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                       |    |                    |                    |       |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                             | -- | -                  | -                  | --    | --                 | --                               | --                 | 3,16               | --                 | --                 |

|       |    |      |      |      |      |    |       |      |      |      |
|-------|----|------|------|------|------|----|-------|------|------|------|
| PC    | -- | -    | -    | --   | --   | -- | --    | 7,12 | --   | 6,51 |
| CV(%) | -- | 7,81 | 7,70 | 5,13 | 6,87 | -- | 13,00 | 9,21 | 5,52 | 8,27 |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F. CTC: Capacidade de troca de cátions.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 23.** Desdobramento das interações para a CTC do solo, nas camadas de 0,00-0,05 aos 21 meses (a) e 0,10-0,20 m aos 7 meses (b), 12 meses (c) e 21 meses (d), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Selvíria, MS, Brasil, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Tabela 16** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a CTC do solo, nas camadas de 0,00-0,05 aos 21 meses e 0,10-0,20 m aos 7, 12 e 21 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz-feijão-PC-arroz-feijão no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                                | DM dentro de PC | CV   |
|--------|------------------------------------------------|-----------------|------|
|        | ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- | -----           | (%)  |
| 23 a   | 10,55                                          | 15,03           | 8,51 |
| 23 b   | 6,87                                           | 9,78            | 7,81 |
| 23 c   | 7,14                                           | 10,17           | 7,70 |
| 23 d   | 4,40                                           | 6,27            | 5,31 |

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.5.3 Dinâmica do índice de acidez (pH) no perfil do solo durante dois anos

Houve um pico de concentração de pH a cerca de 7 meses, principalmente no SPD, seguido de uma queda constante até a última avaliação, entretanto, o índice de acidez apresentou maior valor em SPD do que com solo escarificado na primeira camada do solo. O pH apresentou acúmulo crescente tanto com e sem escarificação até cerca de 21 meses, seguido de estabilidade aos 24 meses na segunda e terceira camada do solo. Ocorreu comportamento semelhante na concentração dessa variável tanto com e sem escarificação até 12 meses, seguida de um pico de concentração aos 21 meses e queda constante na concentração de pH aos 24 meses na quarta camada do solo (Figura 24). Provavelmente a aplicação de calcário na superfície do solo sem incorporação promoveu melhorias na correção da acidez na segunda e terceira camada do solo, nesse caso, deve-se considerar que ocorreu descida de Ca e Mg para as respectivas camadas subsuperficiais, promovendo maior disponibilidade de nutrientes. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 24).

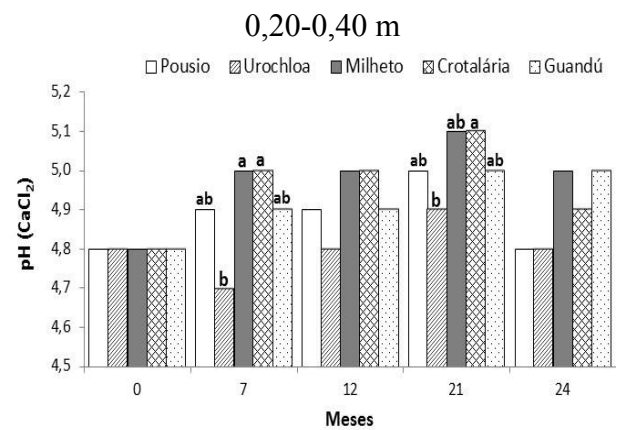
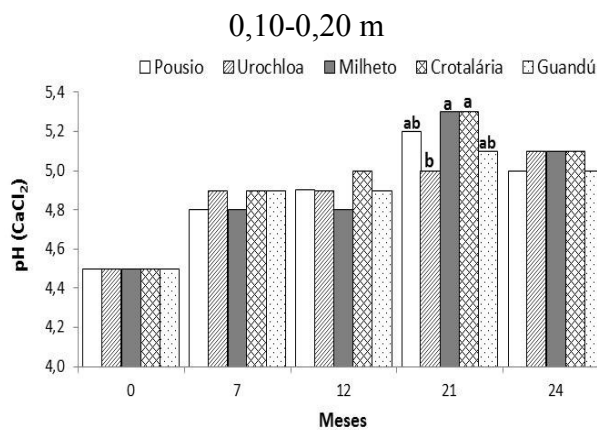
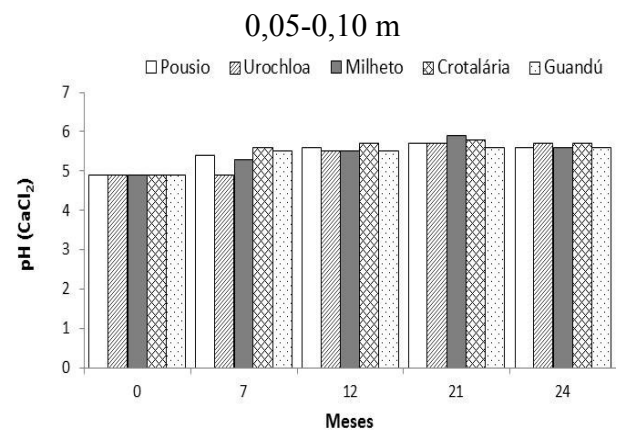
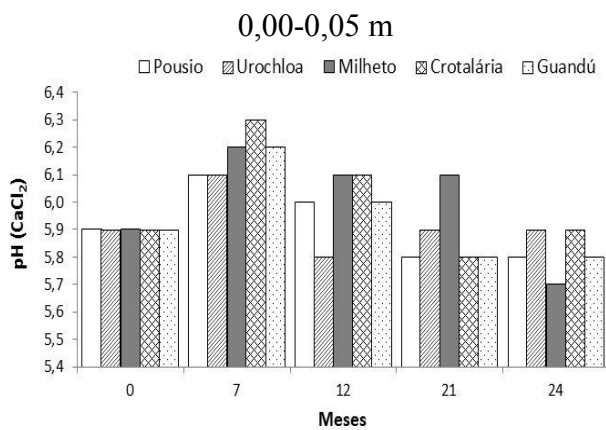
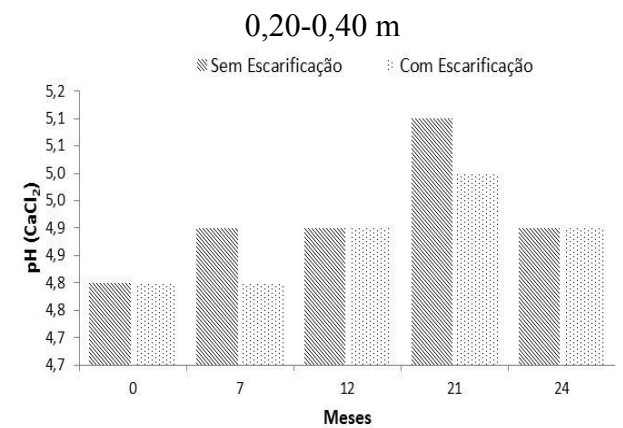
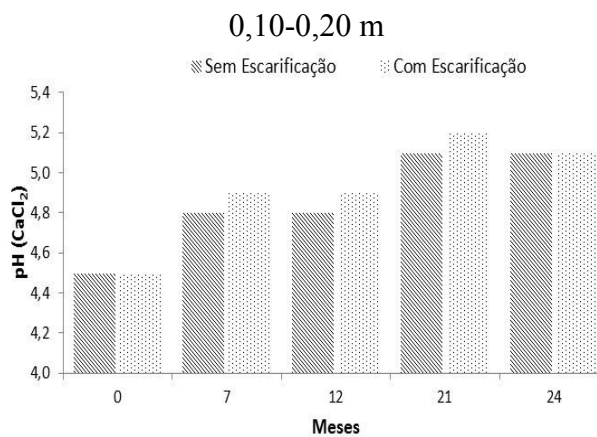
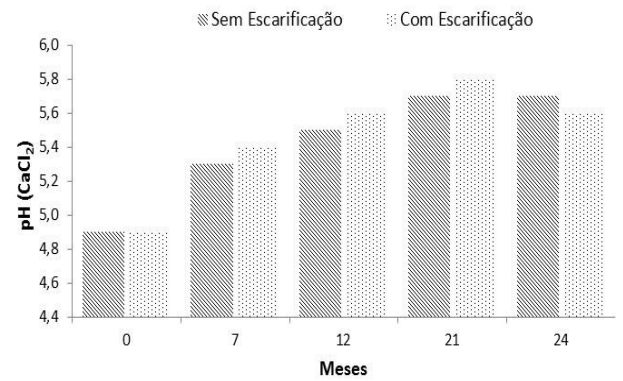
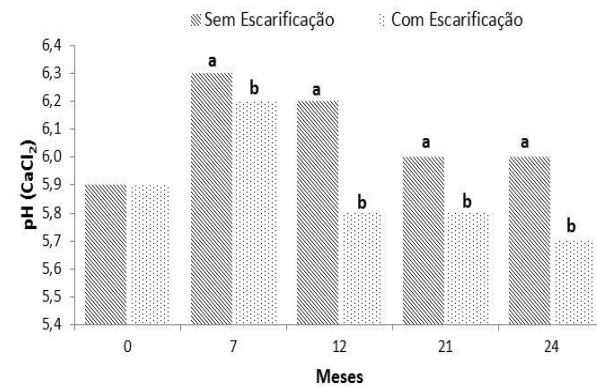
Com relação a dinâmica do pH após o cultivo de plantas de cobertura (Figura 24), notou-se um pico de concentração aos 7 meses, seguido de uma queda constante até a última época na primeira camada do solo. O pH permaneceu estável em relação ao teor inicial após cultivo de plantas de cobertura na segunda camada do solo. Houve acúmulo crescente após cultivo de plantas de cobertura até cerca de 21 meses na terceira e quarta camada do solo, todavia merecem destaques os cultivos de milho e crotalária aos 21 meses na terceira camada e aos 7 e 21 meses na quarta camada do solo, que resultaram em maiores valores de pH do solo, além disso, notou-se que a pré-safra de *Urochloa* promoveu redução do valor de

pH em ambas avaliações supracitadas e nas respectivas camadas do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

O aumento dos teores de matéria orgânica foi devido a provável exsudação de ácidos orgânicos, tanto pelas raízes da braquiária quanto pela decomposição da matéria orgânica, favorecem a maior disponibilidade de P na fração lábil (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). A rotação com braquiária sob semeadura direta é capaz de elevar os teores de matéria orgânica leve e carbono total do solo (PEREIRA et al., 2010), sendo que no presente estudo, ocorreu elevação nos teores de Al e H+Al, além disso, reduziu o pH e V do solo nas parcelas com cultivo anterior de *Urochloa*, na camada de 0,05-0,40 m, o que pode resultar em aumento da disponibilidade de P adsorvido ao óxidos e hidróxidos de Fe na camada de 0,05-0,40 m do Latossolo (ALMEIDA; TORRENT; BARRÓN, 2003), também constatado na pesquisa.

Nota se que o pH do solo obtidos foram consideradas altos, médios, baixos e muito baixo (4,4-5,0, 5,1-5,5, 5,6-6,0 e > 6,0), respectivamente, de acordo com Raij et al. (1997).

**Figura 24.** Dinâmica do índice de acidez (pH) nas camadas do solo após manejo do solo nos 2 anos.  
0,00-0,05 m



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 17** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do índice de acidez do solo (pH<sub>CaCl2</sub>), após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão(24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica do pH do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|--------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo           |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                            | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| Valores de F                               |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                         | -- | 4,52*              | 39,77*             | 4,93*              | 11,60*             | --                               | 0,27 <sup>ns</sup> | 2,02 <sup>ns</sup> | 2,24 <sup>ns</sup> | 2,12 <sup>ns</sup> |
| PC                                         | -- | 1,42 <sup>ns</sup> | 2,55 <sup>ns</sup> | 1,87 <sup>ns</sup> | 1,28 <sup>ns</sup> | --                               | 17,73*             | 1,29 <sup>ns</sup> | 1,12 <sup>ns</sup> | 1,02 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                      | -- | 2,48 <sup>ns</sup> | 0,81 <sup>ns</sup> | 0,66 <sup>ns</sup> | 2,74 <sup>ns</sup> | --                               | 4,11*              | 0,35 <sup>ns</sup> | 0,41 <sup>ns</sup> | 0,98 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                   |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                         | -- | 0,11               | 0,13               | 0,16               | 0,14               | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                         | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                      | -- | 2,76               | 3,36               | 4,13               | 3,76               | --                               | 2,85               | 3,61               | 4,25               | 3,46               |
| 0,10-0,20 m                                |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                               |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                         | -- | 0,45 <sup>ns</sup> | 1,66 <sup>ns</sup> | 0,30 <sup>ns</sup> | 0,52 <sup>ns</sup> | --                               | 3,57 <sup>ns</sup> | 1,13 <sup>ns</sup> | 1,52 <sup>ns</sup> | 1,99 <sup>ns</sup> |
| PC                                         | -- | 0,27 <sup>ns</sup> | 0,36 <sup>ns</sup> | 4,30*              | 2,30 <sup>ns</sup> | --                               | 4,43*              | 1,57 <sup>ns</sup> | 2,64*              | 6,82*              |
| DMxPC                                      | -- | 1,54 <sup>ns</sup> | 0,57 <sup>ns</sup> | 1,42 <sup>ns</sup> | 2,73 <sup>ns</sup> | --                               | 0,88 <sup>ns</sup> | 0,69 <sup>ns</sup> | 2,17 <sup>ns</sup> | 4,14*              |
| DMS (5%)                                   |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                         | -- | --                 | -                  | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                         | -- | --                 | -                  | 0,25               | --                 | --                               | 0,21               | -                  | 0,19               | --                 |
| CV(%)                                      | -- | 3,92               | 5,29               | 3,38               | 2,58               | --                               | 2,92               | 4,51               | 2,54               | 2,29               |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.5.4 Dinâmica do teor de alumínio (Al<sup>3+</sup>) no perfil do solo durante dois anos

Houve ausência do teor de Al até aproximadamente 21 meses, seguido de um pico de elevação do teor de Al, principalmente no SPD aos 24 meses na primeira camada do solo. Maior teor de alumínio foi constatado na época de caracterização inicial, seguido de redução em 50%, tanto com e sem escarificação aos 7 meses, e posteriormente ausência nas três últimas avaliações na segunda camada do solo. Observou-se elevado teor de Al na caracterização inicial (6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), seguido de decréscimo nos referidos teores até a última avaliação na terceira camada de solo. Houve um pico de elevação do teor de Al aos 7 meses, seguida de decréscimo nos referidos teores até cerca de 21 meses. A partir dessa avaliação foi observado leve acréscimo na concentração desse nutriente tanto com e sem escarificação na quarta camada do solo (Figura 25). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

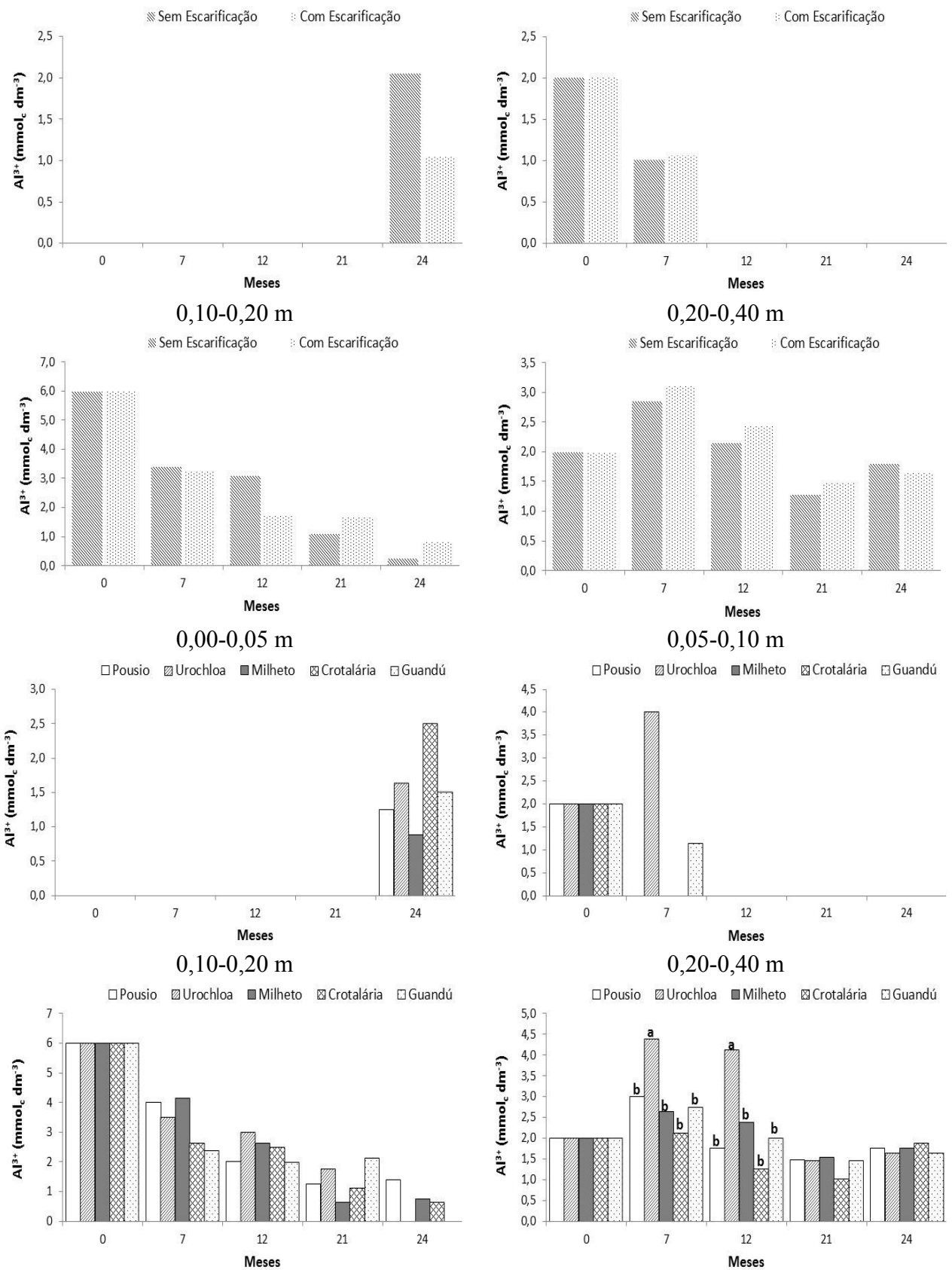
Notou-se ausência de concentração de Al até aproximadamente 21 meses, seguido de um pico de elevação do teor de Al, principalmente no cultivo de crotalária, em relação às do que demais plantas de cobertura aos 24 meses, na primeira camada do solo (Figura 25). Na caracterização inicial foi constatado um leve teor de Al, seguido de um pico de elevação, particularmente no cultivo de *Urochloa* em relação às demais plantas de cobertura aos 7 meses, com posterior ausência nas três últimas avaliações na segunda camada do solo. O teor de Al foi maior na caracterização inicial ( $6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), seguido de decréscimo nos referidos teores até a última avaliação na terceira camada de solo. Houve comportamento estável da concentração de alumínio em todas as épocas de coleta de solo após o cultivo de plantas de cobertura, exceto no cultivo anterior de *Urochloa*, que promoveu maior teor de Al aos 7 e 12 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

A espécie de *Urochloa* resultou em liberação de ácidos orgânicos nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, devido à emissão de exsudatos do sistema radicular e decomposição dos resíduos vegetais, proporcionando maiores teores de Al do solo. As grandes produções de parte aérea e raízes por *Urochloa* são capazes de elevar os teores de carbono orgânico na camada superficial do solo após a decomposição do material vegetal (SOUSA et al., 2010), resultando em liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

No desdobramento da interação de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de Al do solo aos 7 e 12 meses na terceira camada do solo (Figura 25, a; b), constatou-se que os cultivos anteriores de *Urochloa* e milho em SPD apresentaram maior teor de Al do solo. Na avaliação de 21 meses na terceira camada do solo (Figura 55, c; d) houve redução dos teores de Al nos tratamentos, entretanto o solo sob guandu com escarificação apresentou maior teor de Al do solo. Aos 24 meses nessa mesma camada observou maior concentração do Al no solo sob milho e crotalária com escarificação.

No desdobramento da interação de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de Al do solo aos 21 e 24 meses na quarta camada do solo (Figura 56, e; f) verificou-se que o pousio com escarificação apresentou maior teor de Al do solo aos 21 meses. Além disso, a *Urochloa* com escarificação promoveu maior redução do teor de Al na avaliação de 24 meses nessa camada.

**Figura 25.** Dinâmica do teor de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



Fonte: Dados do próprio autor.

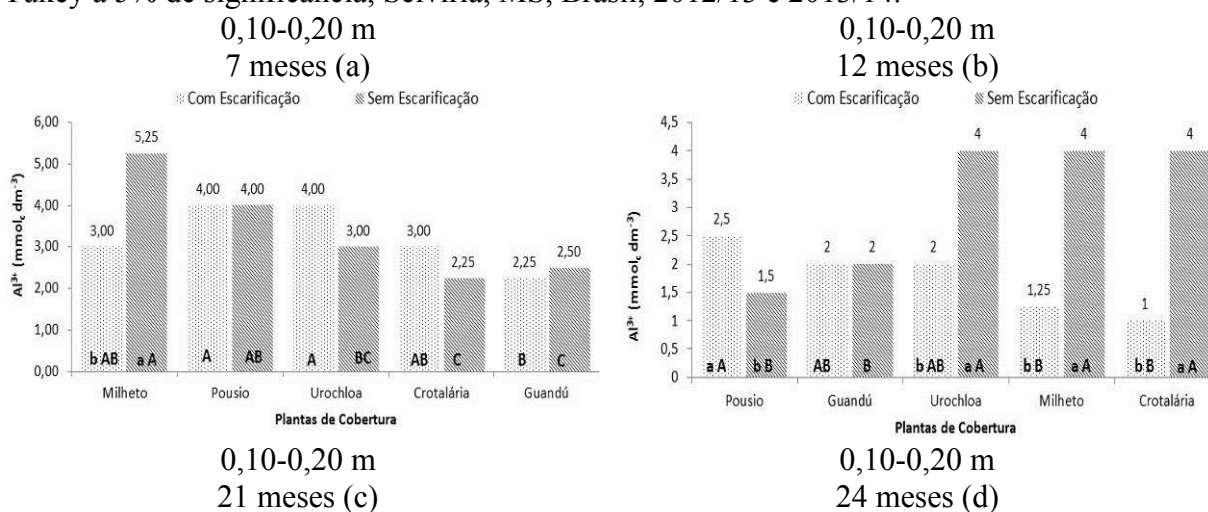
**Tabela 18** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do teor de alumínio do solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

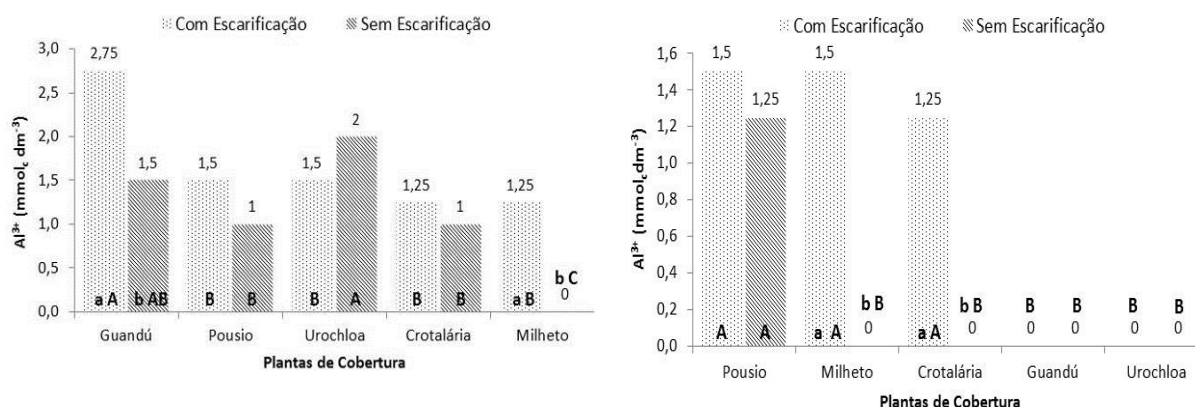
| Dinâmica do teor de alumínio do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                   |        |        |        |                                  |                    |                    |        |                    |
|----------------------------------------------------------|----|-------------------|--------|--------|--------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                              |    |                   |        |        |        | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |        |                    |
| Meses após escarificação do solo                         |    |                   |        |        |        | Meses após escarificação do solo |                    |                    |        |                    |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----           |    |                   |        |        |        |                                  |                    |                    |        |                    |
|                                                          | 0  | 7                 | 12     | 21     | 24     | 0                                | 7                  | 12                 | 21     | 24                 |
| Valores de F                                             |    |                   |        |        |        |                                  |                    |                    |        |                    |
| DM                                                       | -- | --                | --     | --     | 57,42* | --                               | 8,8 <sup>ns</sup>  | --                 | --     | --                 |
| PC                                                       | -- | --                | --     | --     | 16,78* | --                               | 529,6*             | --                 | --     | --                 |
| DMxPC                                                    | -- | --                | --     | --     | 6,23*  | --                               | 111,3*             | --                 | --     | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | --                | --     | --     | 11,01  | --                               | 6,88               | --                 | --     | --                 |
| 0,10-0,20 m                                              |    |                   |        |        |        | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |        |                    |
| Valores de F                                             |    |                   |        |        |        |                                  |                    |                    |        |                    |
| DM                                                       | -- | 0,2 <sup>ns</sup> | 54,48* | 23,83* | 63,34* | --                               | 0,56 <sup>ns</sup> | 0,56 <sup>ns</sup> | 17,27* | 0,72 <sup>ns</sup> |
| PC                                                       | -- | 9,73*             | 4,28*  | 20,65* | 48,71* | --                               | 0,91*              | 11,74*             | 14,56* | 0,40 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                    | -- | 5,85*             | 19,91* | 9,03*  | 19,33* | --                               | 0,45 <sup>ns</sup> | 1,42 <sup>ns</sup> | 5,89*  | 3,61*              |
| DMS (5%)                                                 |    |                   |        |        |        |                                  |                    |                    |        |                    |
| PC                                                       | -- | --                | -      | --     | --     | --                               | 1,37               | 1,19               | --     | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | 9,55              | 9,89   | 10,49  | 11,43  | --                               | 13,96              | 16,95              | 11,38  | 11,82              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

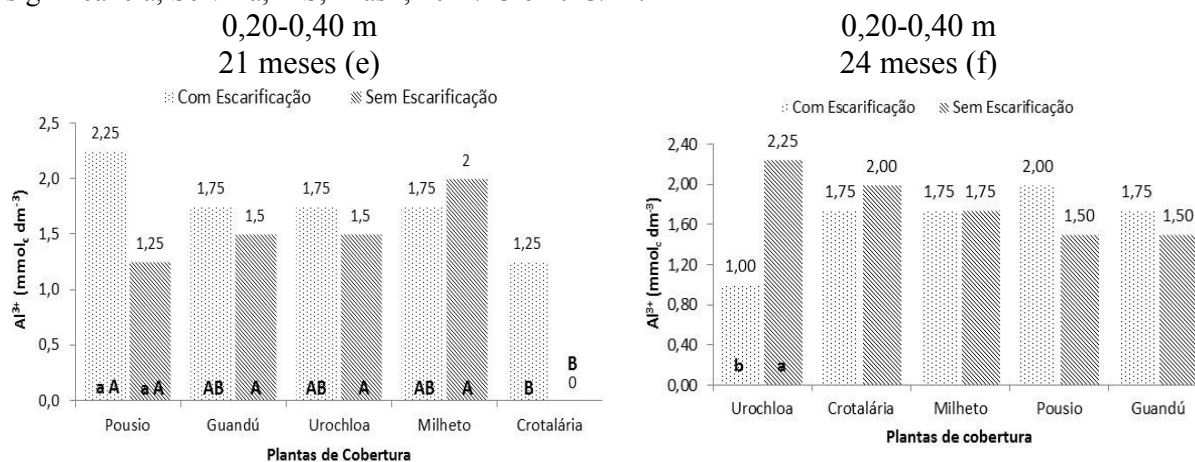
**Figura 26** - Desdobramento das interações para a alumínio do solo, nas camadas de 0,10-0,20 aos 7 meses (a), 12 meses (b), 21 meses (c) e 24 meses (d), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, Brasil, 2012/13 e 2013/14.





Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 27** - Desdobramento das interações para alumínio do solo, na camada de 0,20-0,40 m, 21 meses (e) e 24 meses (f), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, Brasil, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 19** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para o teor de Al do solo, na camada de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, aos 7, 12, 21 e 24 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM | DM dentro de PC | CV    |
|--------|-----------------|-----------------|-------|
|        | mmolc dm⁻³      |                 | (%)   |
| 26 a   | 1,01            | 1,44            | 9,55  |
| 26 b   | 0,76            | 1,08            | 9,89  |
| 26 c   | 0,62            | 0,89            | 10,49 |
| 26 d   | 0,45            | 0,64            | 11,43 |
| 27 e   | 0,65            | 0,93            | 11,38 |
| 27 f   | 0,74            | 1,06            | 11,82 |

Fonte: Dados do próprio autor.



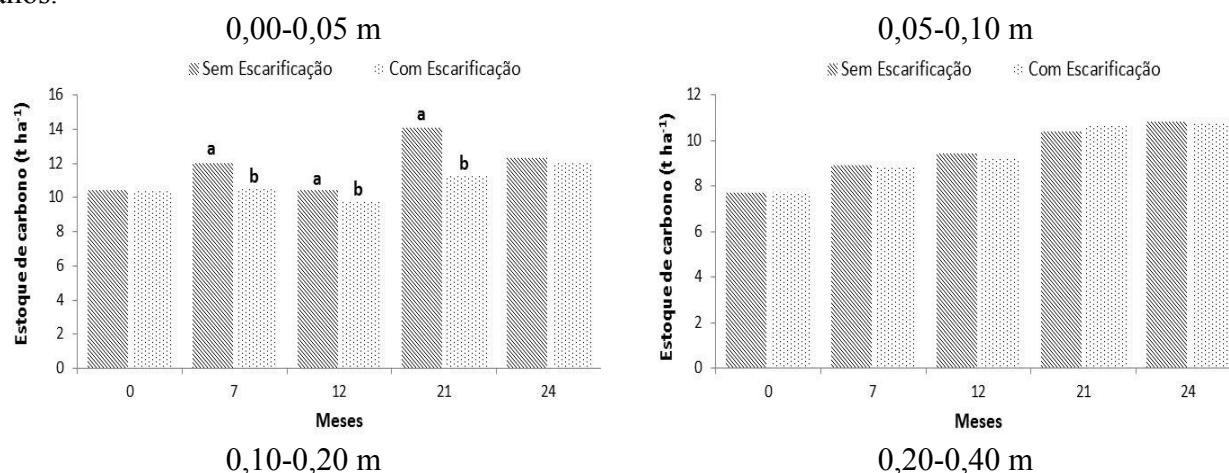
#### 4.5.5 Dinâmica do estoque de carbono (EC) no perfil do solo durante dois anos

Houve comportamento estável do EC em todas as épocas de coleta de solo, com pequenos acréscimos de EC em SPD aos 7, 12 e 21 meses na primeira camada do solo. O comportamento do EC permaneceu estável em todas as épocas na segunda, terceira e quarta camada do solo, com leves acréscimos de EC em SPD aos 7 e 12 meses na terceira camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 28).

O comportamento do EC permaneceu estável em todas as avaliações nas quatro camadas do solo, destacando-se o cultivo de milho aos 12 e 24 meses na primeira camada do solo, assim como, aos 7 meses na segunda camada e aos 12 meses na terceira camada do solo, porém não diferindo do cultivos do feijão guandu na segunda camada e da crotalária na terceira camada. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 28).

De acordo com Kerr (2005), o aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera tem causado discussões na comunidade científica, devido à elevação da temperatura da biosfera terrestre. Desta forma, os resíduos de matéria seca das plantas, além de proporcionar um incremento no EC do solo, permitem ainda recuperar os teores de matéria orgânica do solo a valores próximos ao original (FREITAS et al., 2000; WENDLING et al., 2005). Além disso, os resíduos vegetais são indispensáveis para os sistemas produtivos, tendo em vista os inúmeros benefícios ao sistema solo-planta, sendo essenciais na agricultura de baixo carbono.

**Figura 28** - Dinâmica do estoque de carbono (EC) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



|       | Dinâmica do estoque de carbono do solo (2012/13 e 2013/14) |                    |                    |                    |                    |                                         |                    |                    |                    |                    |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|       | 0,00-0,05 m                                                |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                             |                    |                    |                    |                    |
|       | <i>Meses após escarificação do solo</i>                    |                    |                    |                    |                    | <i>Meses após escarificação do solo</i> |                    |                    |                    |                    |
|       | 0                                                          | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                       | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
|       | ----- t ha <sup>-1</sup> -----                             |                    |                    |                    |                    |                                         |                    |                    |                    |                    |
|       | <b>Valores de F</b>                                        |                    |                    |                    |                    |                                         |                    |                    |                    |                    |
| DM    | --                                                         | 20,13*             | 5,09*              | 64,08*             | 0,86 <sup>ns</sup> | --                                      | 0,25 <sup>ns</sup> | 0,36 <sup>ns</sup> | 0,57 <sup>ns</sup> | 0,09 <sup>ns</sup> |
| PC    | --                                                         | 0,07 <sup>ns</sup> | 5,22*              | 2,27 <sup>ns</sup> | 2,93*              | --                                      | 3,34*              | 2,06 <sup>ns</sup> | 1,16 <sup>ns</sup> | 0,37 <sup>ns</sup> |
| DMxPC | --                                                         | 1,07 <sup>ns</sup> | 1,08 <sup>ns</sup> | 1,82 <sup>ns</sup> | 1,63 <sup>ns</sup> | --                                      | 1,38 <sup>ns</sup> | 0,69 <sup>ns</sup> | 1,29 <sup>ns</sup> | 0,19 <sup>ns</sup> |
|       | <b>DMS (5%)</b>                                            |                    |                    |                    |                    |                                         |                    |                    |                    |                    |

|              |    |                    |                    |                    |                    |    |                    |                    |                    |                    |
|--------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| DM           | -- | 0,68               | 0,65               | 0,73               | --                 | -- | --                 | --                 | --                 |                    |
| PC           | -- | --                 | 1,47               | --                 | 1,47               | -- | 1,21               | --                 | --                 |                    |
| CV(%)        | -- | 9,33               | 10,01              | 8,95               | 8,31               | -- | 9,33               | 8,49               | 9,47               | 8,09               |
| 0,10-0,20 m  |    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m        |    |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F |    |                    |                    |                    |                    |    |                    |                    |                    |                    |
| DM           | -- | 5,86*              | 9,44*              | 3,97 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> | -- | 0,14 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup> | 0,21 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup> |
| PC           | -- | 1,22 <sup>ns</sup> | 4,30*              | 0,68 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup> | -- | 2,13 <sup>ns</sup> | 0,29 <sup>ns</sup> | 1,08 <sup>ns</sup> | 0,32 <sup>ns</sup> |
| DMxPC        | -- | 1,10 <sup>ns</sup> | 0,22 <sup>ns</sup> | 1,06 <sup>ns</sup> | 0,94 <sup>ns</sup> | -- | 1,47 <sup>ns</sup> | 0,96 <sup>ns</sup> | 0,85 <sup>ns</sup> | 1,34 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)     |    |                    |                    |                    |                    |    |                    |                    |                    |                    |
| DM           | -- | 0,68               | 0,64               | --                 | --                 | -- | --                 | --                 | --                 | --                 |
| PC           | -- | --                 | 1,44               | --                 | --                 | -- | --                 | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)        | -- | 6,74               | 6,35               | 8,05               | 7,25               | -- | 5,85               | 9,04               | 12,03              | 8,49               |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.5.6 Dinâmica do teor de fósforo (P) no perfil do solo durante dois anos

Constatou-se acréscimo no teor de P do solo, independente da escarificação, até aproximadamente 12 meses seguido de uma leve redução nos valores dessa variável aos 21 meses. A partir dessa avaliação houve um pico de elevação no teor de P, principalmente em SPD aos 24 meses na primeira camada do solo. Houve intenso acréscimo no teor de P até cerca de 12 meses seguida de leve redução aos 21 meses e posterior elevação aos 24 meses, com leves incrementos em SPD aos 21 e 24 meses na segunda camada do solo. Ocorreu decréscimo no teor de P até aproximadamente 21 meses independente da escarificação, seguida de pico de elevação, principalmente em SPD aos 24 meses na terceira camada do solo. O comportamento do teor de P permaneceu estável até cerca de 21 meses seguido de pico de elevação aos 24 meses tanto com e sem escarificação na quarta camada do solo (Figura 29). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Plantas de cobertura se comportaram de maneira diferenciada com relação ao teor de P do solo nas diferentes épocas de coleta e nas quatro camadas do solo, destacando-se os cultivos anteriores de milho e crotalaria, que apresentaram maiores incrementos nos teores de P do solo aos 12, 21 e 24 meses na primeira e segunda camada. O solo sob *Urochloa* e sob guandu resultaram em maior reciclagem e liberação de P na solução do solo aos 7 e 24 meses na terceira e quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 29).

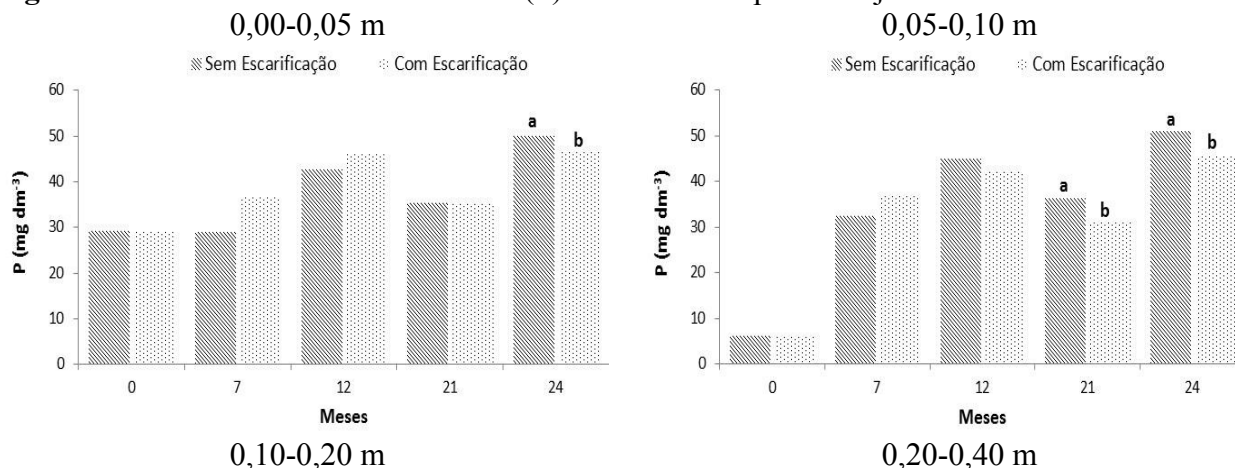
De maneira geral, observou-se que os teores de P do solo obtidos foram considerados baixos, médios e altos para culturas anuais (7-15, 16-40 e 41-80 mg dm<sup>-3</sup>), respectivamente,

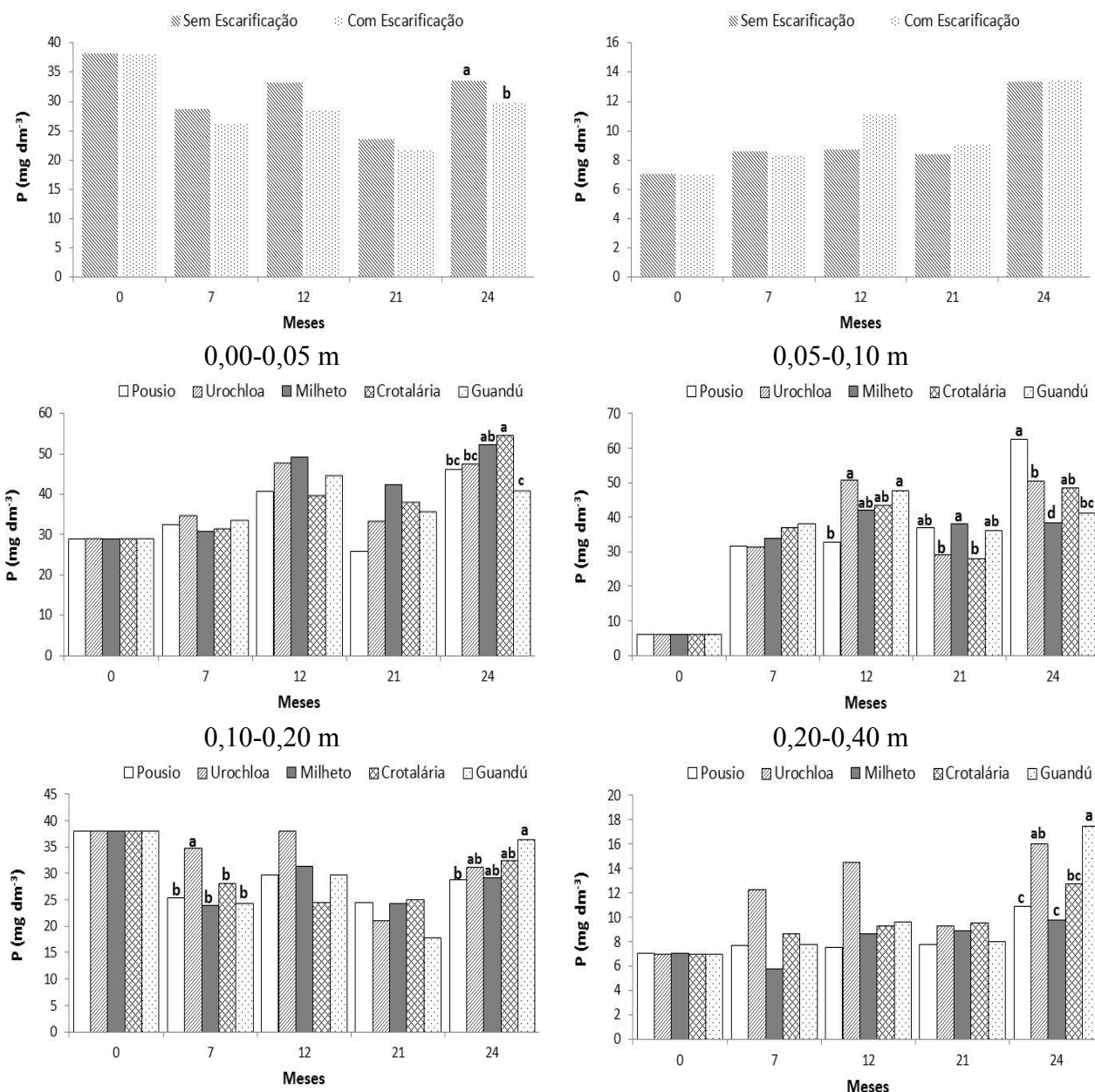
conforme Raij et al. (1997), evidenciando que manejo do solo proposto proporcionou melhorias nos teores de P do solo, principalmente nas duas camadas superficiais.

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de P do solo aos 12 e 21 meses na terceira camada do solo (Figura 30, a; b), verificou-se que pré-safrá de *Urochloa* com escarificação apresentou maior teor de P do solo aos 12 meses. Além disso, o solo sob crotalária em SPD promoveu maior redução do teor de P na avaliação de 21 meses nessa camada. Com relação ao desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de P do solo aos 12 meses na quarta camada do solo (Figura 30, c), notou-se que o solo sob *Urochloa* em SPD e sob guandu, crotalária e milho com escarificação apresentaram maiores teores de P do solo.

Alguns trabalhos têm constatado a contribuição de espécies vegetais no aumento da disponibilidade de P no solo, devido às características dessas espécies, como a alta eficiência na absorção de P e liberação de ácidos orgânicos, resultando em melhor aproveitamento do P e na possibilidade de disponibilizá-lo para as culturas subsequentes (REDEL et al., 2007). De acordo com Boddey, Rao e Thomas (2006), algumas espécies de braquiária possuem as seguintes adaptações à baixa disponibilidade de P no solo: extenso sistema radicular, que resulta em maior superfície de contato com o solo; alta capacidade de absorção de P por unidade de comprimento da raiz; habilidade de acessar formas solúveis e insolúveis de P, que geralmente não são disponíveis para outras plantas; e alta afinidade com micorrizas arbusculares. Foi relatado ainda que a *B. ruziziensis* pode diminuir a fixação de P pelo solo (JANEGITZ; INOUE; ROSOLEM, 2013).

**Figura 29** - Dinâmica do teor de fósforo (P) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.





Fonte: Dados do próprio do autor.

**Tabela 21** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do fósforo no solo (resina), após escarificação mecânica do solo em 2012, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

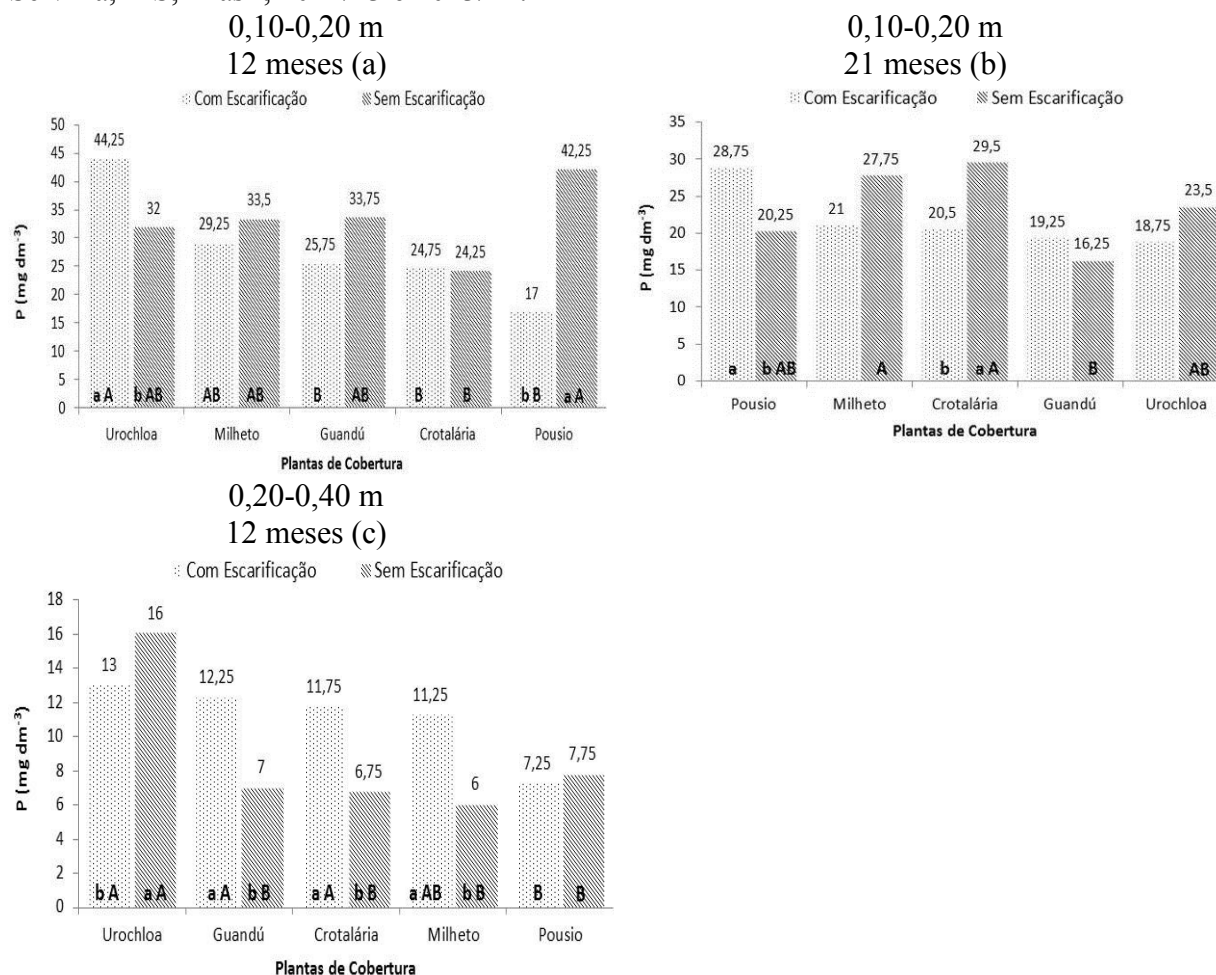
| Dinâmica do fósforo disponível do solo (2012/13 e 2013/14) |                     |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                     |
|------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 0,00-0,05 m                                                |                     |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                     |
| Meses após escarificação do solo                           |                     |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                     |
|                                                            | 0                   | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                  |
|                                                            | mg dm <sup>-3</sup> |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                     |
|                                                            | Valores de F        |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                     |
| DM                                                         | --                  | 32,70*             | 2,09 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup> | 5,99*              | --                               | 3,7 <sup>ns</sup>  | 1,06 <sup>ns</sup> | 6,89*              | 9,12*               |
| PC                                                         | --                  | 1,10 <sup>ns</sup> | 2,29 <sup>ns</sup> | 8,13*              | 11,35*             | --                               | 1,54 <sup>ns</sup> | 4,89*              | 4,68*              | 23,42*              |
| DMxPC                                                      | --                  | 4,90*              | 0,38 <sup>ns</sup> | 3,14*              | 2,05 <sup>ns</sup> | --                               | 6,59*              | 2,26 <sup>ns</sup> | 1,99 <sup>ns</sup> | 11,42 <sup>ns</sup> |

|              | DMS (5%) |                    |                    |                    |                    |    |                    |                    |                    |                    |
|--------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| DM           | --       | 2,75               | --                 | --                 | 2,89               | -- | --                 | -                  | 3,99               | 3,60               |
| PC           | --       | --                 | --                 | --                 | 6,51               | -- | --                 | 12,79              | 8,98               | 8,11               |
| CV(%)        | --       | 13,05              | 17,75              | 17,34              | 9,24               | -- | 20,99              | 20,23              | 18,26              | 11,51              |
| 0,10-0,20 m  |          |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m        |    |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F |          |                    |                    |                    |                    |    |                    |                    |                    |                    |
| DM           | --       | 2,82 <sup>ns</sup> | 3,52 <sup>ns</sup> | 1,20 <sup>ns</sup> | 5,33*              | -- | 0,13 <sup>ns</sup> | 14,15 <sup>*</sup> | 1,53 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup> |
| PC           | --       | 7,72 <sup>*</sup>  | 2,54 <sup>*</sup>  | 2,83 <sup>ns</sup> | 2,87*              | -- | 6,45 <sup>*</sup>  | 14,27 <sup>*</sup> | 1,71 <sup>ns</sup> | 17,38*             |
| DMxPC        | --       | 1,25 <sup>ns</sup> | 5,37 <sup>*</sup>  | 3,96*              | 2,19 <sup>ns</sup> | -- | 2,56 <sup>ns</sup> | 7,44*              | 1,35 <sup>ns</sup> | 1,16 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)     |          |                    |                    |                    |                    |    |                    |                    |                    |                    |
| DM           | --       | --                 | -                  | --                 | 3,33               | -- | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC           | --       | 6,74               | -                  | --                 | 7,50               | -- | 3,89               | -                  | --                 | 3,28               |
| CV(%)        | --       | 16,88              | 27,19              | 23,05              | 16,26              | -- | 31,74              | 20,38              | 19,14              | 16,77              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 30.** Desdobramento das interações para o teor de P do solo, na camada de 0,10-0,20 m, aos 12 meses (a), 21 meses (b), na camada de 0,20-0,40 m, aos 21 meses (c), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Selvíria, MS, Brasil, 2012/13 e 2013/14.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

**Tabela 22** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do P no solo, na camada de 0,10-0,20 m, aos 7, 12 e 21 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                 | DM dentro de PC | CV    |
|--------|---------------------------------|-----------------|-------|
|        | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |                 | (%)   |
| 30 a   | 12,09                           | 17,23           | 27,19 |
| 30 b   | 7,54                            | 10,74           | 23,50 |
| 30 c   | 2,93                            | 10,74           | 20,38 |

**Fonte:** Dados do próprio autor.

#### 4.5.7 Dinâmica do teor de potássio (K) no perfil do solo durante dois anos

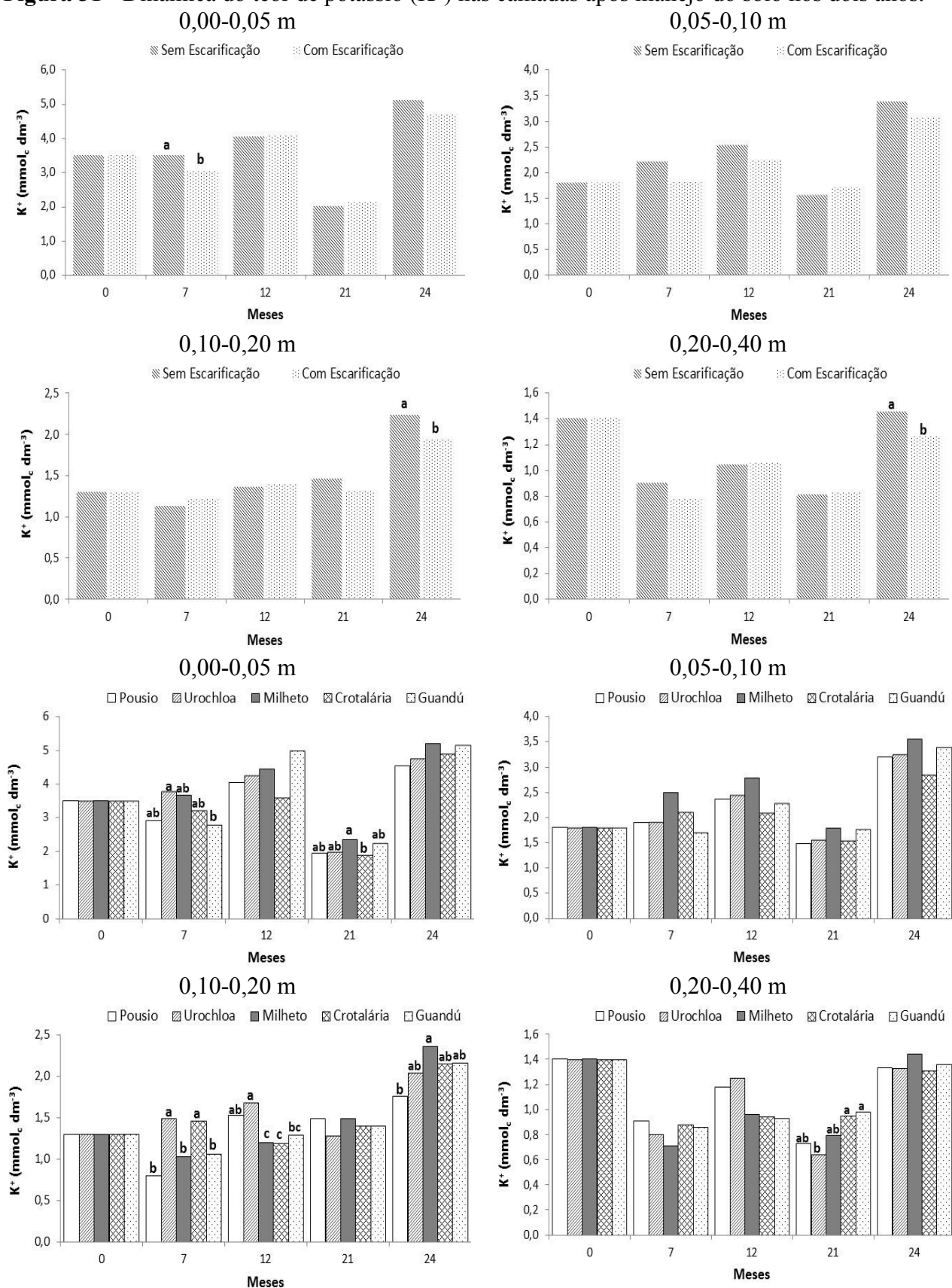
O teor de K do solo permaneceu estável até aproximadamente 12 meses seguida de leve redução aos 21 meses e posterior pico de elevação aos 24 meses na primeira e segunda camada de solo, entretanto com baixo incremento aos 7 meses em SPD na primeira camada. Ocorreu comportamento do teor de K do solo estável até cerca de 21 meses seguido de pico de elevação aos 24 meses, principalmente em SPD na terceira camada do solo. Na caracterização inicial foi constatado maior teor de K do solo seguido de queda aos 7 meses e posterior permanência até 21 meses, independente da escarificação do solo. A partir dessa avaliação houve um pico de elevação do teor de K, principalmente em SPD aos 24 meses na quarta camada do solo (Figura 31). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Plantas de cobertura se comportaram de maneira diferenciada com relação ao teor de K do solo nas diferentes épocas de coleta e nas quatro camadas do solo, destacando-se o cultivo anterior de *Urochloa*, que apresentou maior incremento no teor de K do solo aos 7 meses na primeira camada do solo e aos 7 e 12 meses na terceira camada do solo. Além disso, o solo sob milheto promoveu maior teor de K aos 21 meses na primeira camada e aos 24 na terceira camada do solo (Figura 31). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo. Tal fato se deve, provavelmente, ao elevado acúmulo desses nutrientes, principalmente do K pelos capins utilizados como palhada para o SPD. Calonego, Foloni e Rosolem (2005), trabalhando com milheto, demonstraram que, à medida que a planta dessecada senesce e recebe chuvas, libera potássio, que é retornado ao solo. Por sua vez, Rosolem, Calonego e Foloni. (2005), também avaliando o milheto, demonstraram que, entre a aplicação do dessecante e a morte das plantas dessecadas, há perda de K do tecido vegetal para o solo.

Observa-se que os teores de K do solo obtidos foram considerados médios e altos (1,6-3,0 e 3,1-6,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), respectivamente, de acordo com Raij et al. (1997). Nesse sentido o manejo do solo proposto promoveu aumentos nos teores de K do solo, principalmente nas duas camadas superficiais do solo.



**Figura 31** - Dinâmica do teor de potássio ( $K^+$ ) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 23** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do potássio do solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica do potássio do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|--------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                      |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                 |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                  | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----   |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                     |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                               | -- | 4,78*              | 0,1 <sup>ns</sup>  | 2,11 <sup>ns</sup> | 2,80 <sup>ns</sup> | --                               | 2,54 <sup>ns</sup> | 1,79 <sup>ns</sup> | 2,94 <sup>ns</sup> | 3,51 <sup>ns</sup> |
| PC                                               | -- | 3,73*              | 0,71 <sup>ns</sup> | 3,59*              | 0,96 <sup>ns</sup> | --                               | 1,03 <sup>ns</sup> | 1,02 <sup>ns</sup> | 2,34 <sup>ns</sup> | 2,19 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                            | -- | 0,46 <sup>ns</sup> | 1,04 <sup>ns</sup> | 0,41 <sup>ns</sup> | 2,04 <sup>ns</sup> | --                               | 0,78 <sup>ns</sup> | 0,34 <sup>ns</sup> | 1,72 <sup>ns</sup> | 3,67*              |
| DMS (5%)                                         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                               | -- | 0,42               | --                 | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                               | -- | 0,94               | --                 | 0,45               | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                            | -- | 19,70              | 27,01              | 14,65              | 16,00              | --                               | 40,01              | 29,71              | 15,90              | 15,61              |
| 0,10-0,20 m                                      |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                     |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                               | -- | 0,76 <sup>ns</sup> | 0,34 <sup>ns</sup> | 2,78 <sup>ns</sup> | 6,97*              | --                               | 2,52 <sup>ns</sup> | 0,14 <sup>ns</sup> | 0,12 <sup>ns</sup> | 4,87*              |
| PC                                               | -- | 9,58*              | 7,81*              | 1,00 <sup>ns</sup> | 3,20*              | --                               | 0,79 <sup>ns</sup> | 6,47*              | 5,23*              | 0,30 <sup>ns</sup> |
| ExPC                                             | -- | 1,34 <sup>ns</sup> | 0,77 <sup>ns</sup> | 0,86 <sup>ns</sup> | 0,87 <sup>ns</sup> | --                               | 0,33 <sup>ns</sup> | 3,48*              | 1,58 <sup>ns</sup> | 2,66 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                               | -- | --                 | -                  | --                 | 0,23               | --                               | --                 | -                  | --                 | 0,17               |
| PC                                               | -- | 0,40               | 0,32               | --                 | 0,51               | --                               | --                 | -                  | 0,26               | --                 |
| CV(%)                                            | -- | 23,35              | 15,87              | 20,46              | 16,58              | --                               | 29,91              | 16,02              | 22,01              | 19,60              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

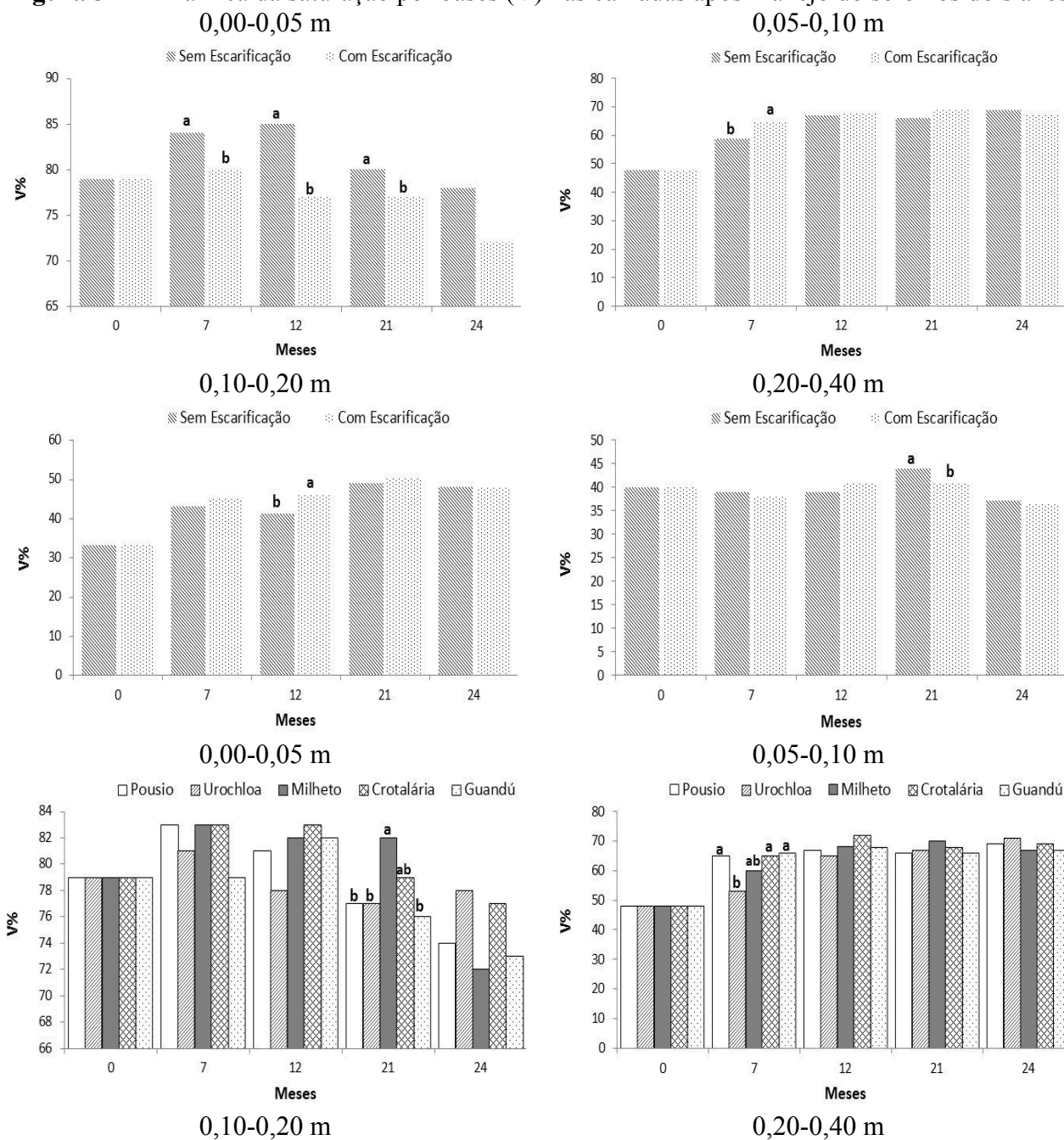
#### 4.5.8 Dinâmica da saturação por bases (V) no perfil do solo durante dois anos

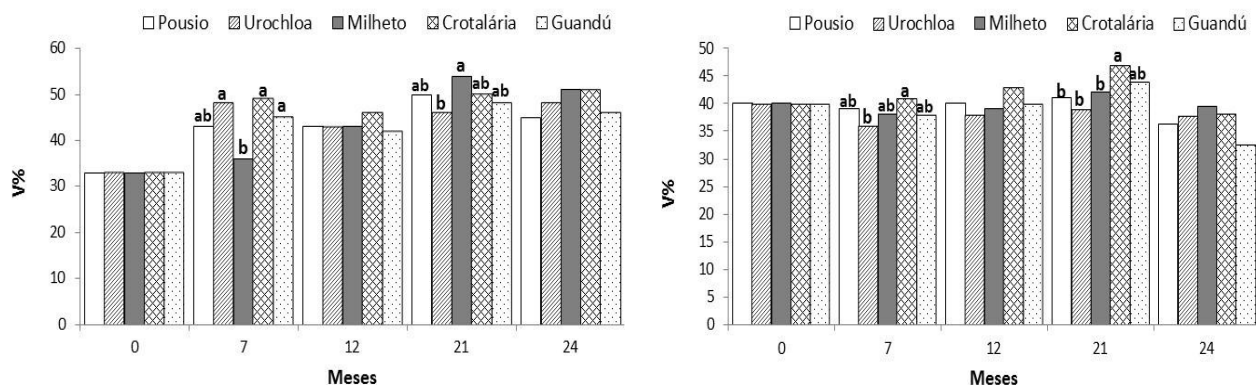
Houve maiores acréscimos na V do solo em SPD aos 7, 12 e 21 meses na primeira camada do solo. Ocorreu leve incremento de V, principalmente com escarificação aos 7 e 12 meses seguido de comportamento estável, independente da escarificação do solo, até a última avaliação na segunda e terceira camada do solo, respectivamente. O comportamento permaneceu estável nas avaliações, com leve incremento em SPD somente aos 21 meses na quarta camada do solo (Figura 32). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Plantas de cobertura se comportaram de maneira diferenciada com relação a V do solo nas diferentes épocas de coleta e nas quatro camadas do solo, destacando-se o cultivo anterior de crotalária e guandu apresentaram maiores V do solo aos 7 meses na segunda camada do solo e aos 7 e 21 meses na terceira e quarta camada do solo. Além disso, o solo sob milho promoveu maior V aos 21 meses na primeira camada do solo (Figura 32). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Observou-se que a V do solo encontradas neste trabalho foram consideradas médias e altas (51-70 e 71-90 %), respectivamente, de acordo com Raij et al. (1997). O manejo do solo proposto promoveu aumentos na V do solo, principalmente nas duas camadas superficiais e em menor magnitude na terceira camada do solo. A saturação por bases permaneceu estável na quarta camada.

**Figura 32 - Dinâmica da saturação por bases (V) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.**





Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 24** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da saturação por bases (V), após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica da saturação por bases do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |    |
|-------------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| 0,00-0,05 m                                                 |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |    |
| Meses após escarificação do solo                            |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |    |
|                                                             | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |                                  | 0                  | 7                  | 12                 | 21                 | 24 |
| ----- % -----                                               |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |    |
| Valores de F                                                |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |    |
| DM                                                          | -- | 5,28*              | 39,09*             | 13,1*              | 44,76*             | --                               | 4,53*              | 0,29 <sup>ns</sup> | 12,30*             | 3,32 <sup>ns</sup> |    |
| PC                                                          | -- | 0,83 <sup>ns</sup> | 1,59 <sup>ns</sup> | 4,55*              | 5,26*              | --                               | 3,82*              | 1,09 <sup>ns</sup> | 2,30 <sup>ns</sup> | 1,73 <sup>ns</sup> |    |
| DMxPC                                                       | -- | 0,40 <sup>ns</sup> | 0,76 <sup>ns</sup> | 2,71 <sup>ns</sup> | 6,29*              | --                               | 1,52 <sup>ns</sup> | 0,73 <sup>ns</sup> | 3,07*              | 0,22 <sup>ns</sup> |    |
| DMS (5%)                                                    |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |    |
| DM                                                          | -- | 3,63               | 2,84               | 2,02               | --                 | --                               | 5,11               | -                  | --                 | --                 |    |
| PC                                                          | -- | --                 | --                 | 4,55               | --                 | --                               | 11,51              | -                  | --                 | --                 |    |
| CV(%)                                                       | -- | 6,82               | 5,40               | 3,93               | 3,82               | --                               | 12,73              | 10,38              | 4,79               | 5,41               |    |
| 0,10-0,20 m                                                 |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |    |
| Valores de F                                                |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |    |
| DM                                                          | -- | 2,91 <sup>ns</sup> | 7,51*              | 0,76 <sup>ns</sup> | 0,10 <sup>ns</sup> | --                               | 1,15 <sup>ns</sup> | 0,45 <sup>ns</sup> | 5,19*              | 0,45 <sup>ns</sup> |    |
| PC                                                          | -- | 10,05*             | 0,45 <sup>ns</sup> | 3,19*              | 2,52 <sup>ns</sup> | --                               | 2,25*              | 1,25 <sup>ns</sup> | 6,79*              | 4,05*              |    |
| DMxPC                                                       | -- | 1,84 <sup>ns</sup> | 1,58 <sup>ns</sup> | 0,50 <sup>ns</sup> | 1,54 <sup>ns</sup> | --                               | 1,68 <sup>ns</sup> | 0,59 <sup>ns</sup> | 2,20 <sup>ns</sup> | 3,42*              |    |
| DMS (5%)                                                    |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |    |
| DM                                                          | -- | --                 | 4,31               | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | 2,25               | --                 |    |
| PC                                                          | -- | 6,62               | --                 | 6,60               | --                 | --                               | 5,32               | --                 | 5,07               | --                 |    |
| CV(%)                                                       | -- | 10,29              | 15,30              | 9,13               | 10,39              | --                               | 9,50               | 14,38              | 8,20               | 10,24              |    |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.5.9 Dinâmica da soma de bases (SB) no perfil do solo durante dois anos

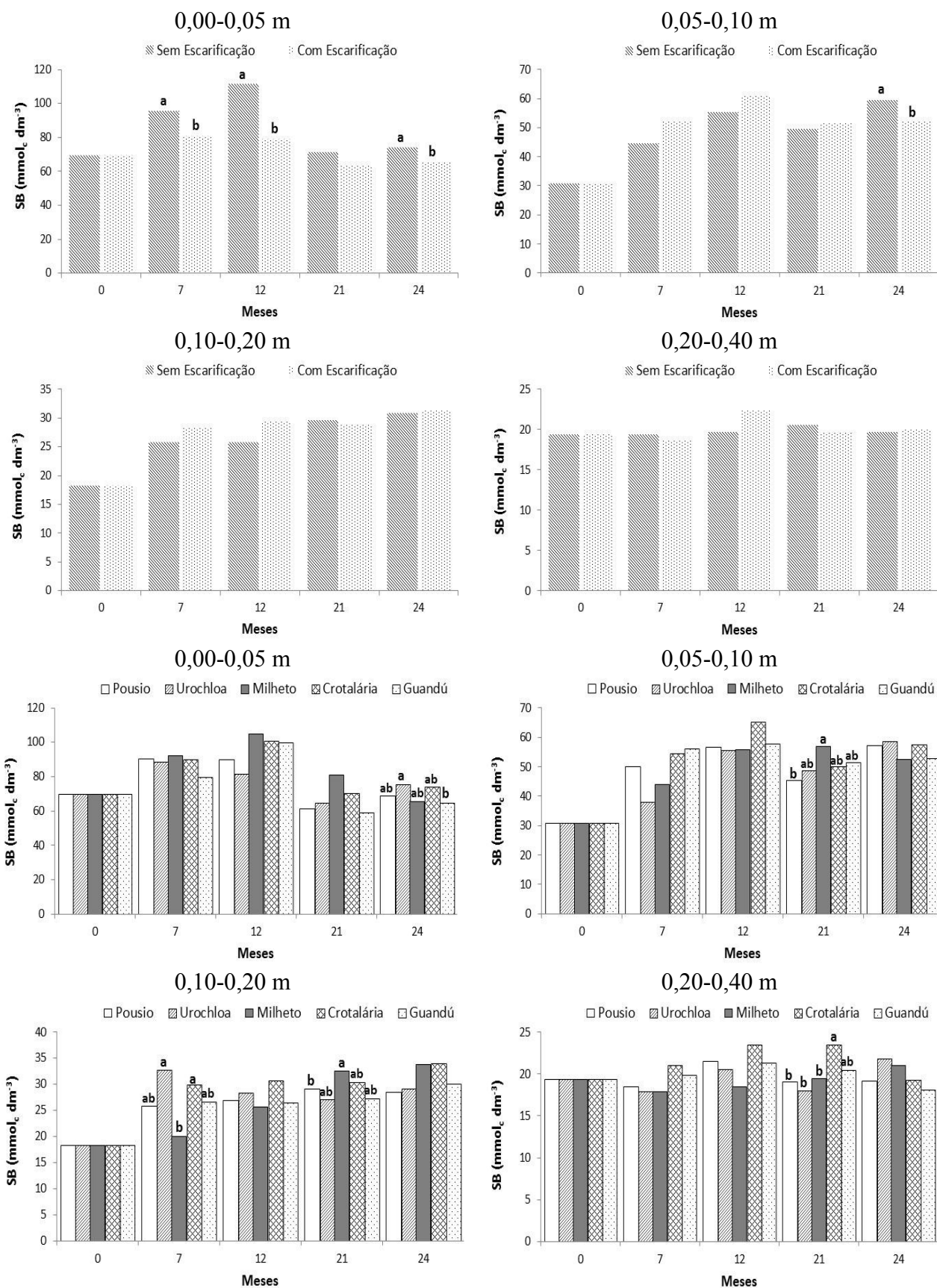
Na ausência de escarificação houve maior incremento na SB do solo nas avaliações de 7, 12 e 24 meses na primeira camada do solo (Figura 33). A SB apresentou acúmulo crescente

tanto com como sem escarificação, até aproximadamente 12 meses seguida de comportamento estável até 24 meses, com leve incremento em SPD aos 24 meses na segunda camada do solo. Observou-se elevação da SB aos 7 meses seguida de comportamento estável até a última avaliação na terceira camada do solo. Ocorre comportamento estável da SB em todas as épocas na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Plantas de cobertura se comportaram de maneira diferenciada com relação à SB do solo nas diferentes épocas de coleta e nas quatro camadas do solo (Figura 33), com destaque maior para os cultivos anteriores de *Urochloa* que apresentaram maior SB aos 24 meses na primeira camada do solo e aos 7 meses na terceira camada do solo, assim como, o solo sob milho que promoveu maior SB aos 21 meses na segunda e terceira camada do solo. Além disso, o solo sob crotalária proporcionou maior SB aos 7 meses na terceira camada e aos 21 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo. Notou-se maior incremento na SB na segunda camada do solo.

Em relação ao desdobramento da interação de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para SB do solo aos 12 e 24 meses na quarta camada do solo (Figura 34, a; b) verificou-se que os cultivos anteriores de crotalária e *Urochloa* com escarificação proporcionaram elevação da SB do solo aos 12 e 24 meses, respectivamente.

**Figura 33** - Dinâmica da soma de bases (SB) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



Fonte: Dados do próprio autor.

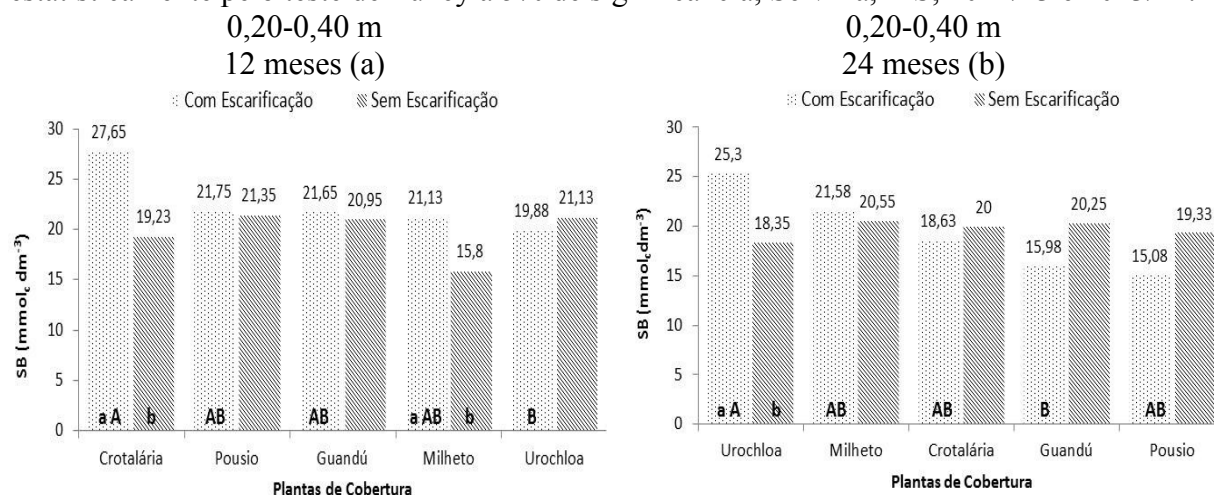
**Tabela 25** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da SB no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica da soma de bases do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                           |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                      |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                       | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----        |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                          |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                    | -- | 7,45*              | 27,9*              | 10,84*             | 14,29*             | --                               | 2,89 <sup>ns</sup> | 1,89 <sup>ns</sup> | 0,88 <sup>ns</sup> | 16,66*             |
| PC                                                    | -- | 0,65 <sup>ns</sup> | 1,89 <sup>ns</sup> | 9,99*              | 3,62*              | --                               | 2,27 <sup>ns</sup> | 0,85 <sup>ns</sup> | 3,82*              | 1,88 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                 | -- | 0,55 <sup>ns</sup> | 0,96 <sup>ns</sup> | 5,45*              | 4,76 <sup>ns</sup> | --                               | 1,26 <sup>ns</sup> | 0,34 <sup>ns</sup> | 1,96 <sup>ns</sup> | 0,32 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                              |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                    | -- | 11,16              | 12,73              | --                 | 4,73               | --                               | --                 | -                  | --                 | 3,74               |
| PC                                                    | -- | --                 | --                 | --                 | 10,65              | --                               | --                 | -                  | 8,82               | --                 |
| CV(%)                                                 | -- | 19,53              | 20,60              | 11,34              | 10,47              | --                               | 29,33              | 21,39              | 11,96              | 10,37              |
| 0,10-0,20 m                                           |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                          |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                    | -- | 2,56 <sup>ns</sup> | 8,55*              | 0,38 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup> | --                               | 0,74 <sup>ns</sup> | 7,22*              | 1,44 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup> |
| PC                                                    | -- | 7,93*              | 2,07 <sup>ns</sup> | 3,17*              | 2,21 <sup>ns</sup> | --                               | 2,29 <sup>ns</sup> | 2,54*              | 5,73*              | 1,70 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                 | -- | 2,39 <sup>ns</sup> | 4,11*              | 1,05 <sup>ns</sup> | 1,51 <sup>ns</sup> | --                               | 1,39 <sup>ns</sup> | 3,15*              | 1,69 <sup>ns</sup> | 3,21*              |
| DMS (5%)                                              |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                    | -- | --                 | -                  | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                                    | -- | 7,1                | -                  | 5,26               | --                 | --                               | --                 | -                  | 3,58               | --                 |
| CV(%)                                                 | -- | 17,77              | 14,05              | 12,31              | 15,91              | --                               | 13,47              | 15,20              | 12,19              | 16,43              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 34** - Desdobramento das interações para soma de bases do solo, na camada de 0,20-0,40 m, aos 12 meses (a) e 24 meses (b), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio do autor.

**Tabela 26** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do Alumínio no solo, na camada de 0,20-0,40 m aos 12 e 24 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                    | DM dentro de PC | CV    |
|--------|------------------------------------|-----------------|-------|
|        | ----- mmolc dm <sup>-3</sup> ----- | -----           | (%)   |
| 34 a   | 4,54                               | 6,61            | 15,20 |
| 34 b   | 4,74                               | 6,76            | 16,43 |

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.5.10 Dinâmica do teor de enxofre (S) no perfil do solo durante dois anos

O teor de S apresentou acúmulo crescente até aproximadamente 12 meses seguido de comportamento estável até 24 meses, com leves incrementos com escarificação aos 7, 21 e 24 meses na primeira camada do solo (Figura 35). Houve acúmulo crescente no teor de S até cerca de 21 meses, tanto com como sem escarificação, seguida de queda aos 24 meses na segunda camada do solo. O teor de S apresentou acúmulo crescente até cerca de 12 meses seguida de comportamento estável até 24 meses na terceira camada do solo. Observou-se acréscimos crescentes no teor de S até a última avaliação, com leve incremento em SPD aos 7 meses e com escarificação aos 24 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Com relação à dinâmica do teor de S após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas e nas quatro camadas do solo (Figura 35), constatou-se que houve acréscimos esporádicos e inconsistentes após alguns cultivos de plantas de cobertura que se estabilizaram na avaliação seguinte, não merecendo atenção especial.

Houve intensa lixiviação o íon  $\text{S-SO}_4^{-2}$ , proporcionado acúmulo de S no subsolo em todos os tratamentos após 24 meses de implantação do sistema de produção proposto em relação ao teor de S inicial. Os teores de S do solo encontrados neste trabalho foram considerados médios e altos (5-10 e  $> 10 \text{ mg dm}^{-3}$ ), respectivamente, de acordo com Raji et al. (1997).

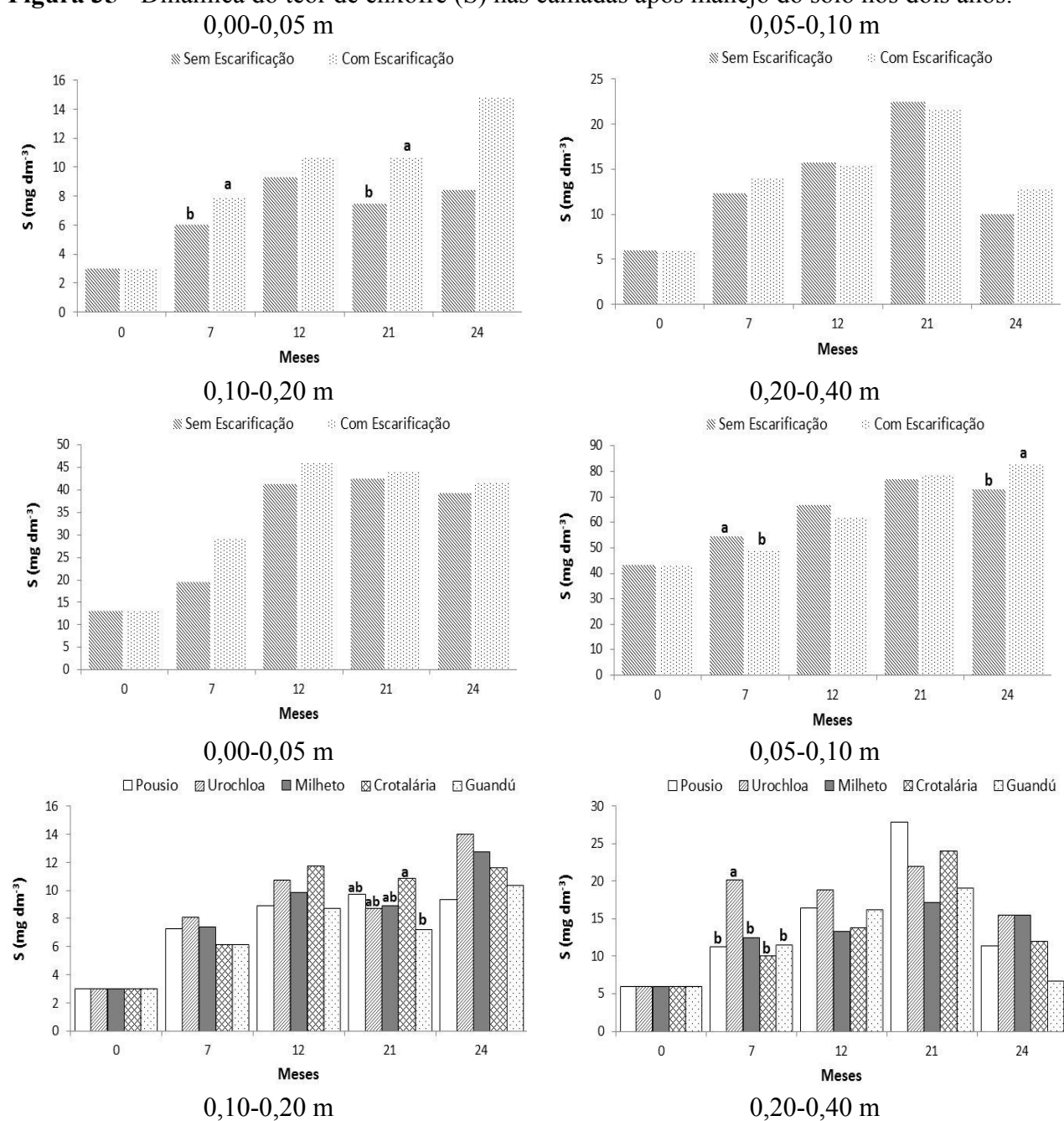
Esses resultados advêm em parte do uso contínuo de sulfato de amônio como fonte de nitrogênio na área do experimento e pela adição de fontes alternativas de S. A palhada de gramíneas de alta relação C/N e C/S pode também diminuir a disponibilidade de N e S às culturas em sucessão no processo de mineralização, entretanto, tal fato não resultou em

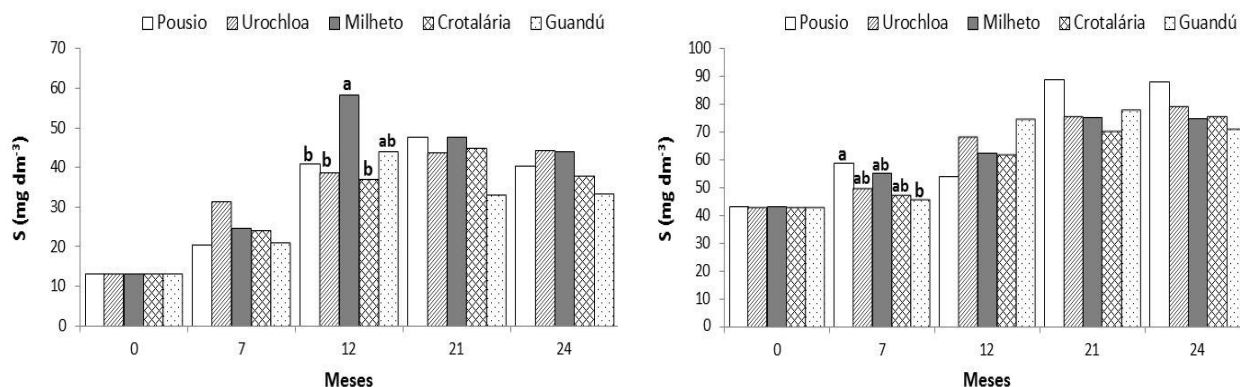


toxidez de S nas plantas de arroz e feijão em sucessão, porém pode ter promovido lixiviação de bases trocáveis no perfil do solo.

Analisando o desdobramento da interação de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de S do solo aos 21 e 24 meses na segunda camada do solo (Figura 36, a; b) verificou-se que o cultivo anterior de crotalária em SPD proporcionou maior teor de S do solo aos 21 e 24 meses.

**Figura 35** - Dinâmica do teor de enxofre (S) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.





Fonte: Dados do próprio autor.

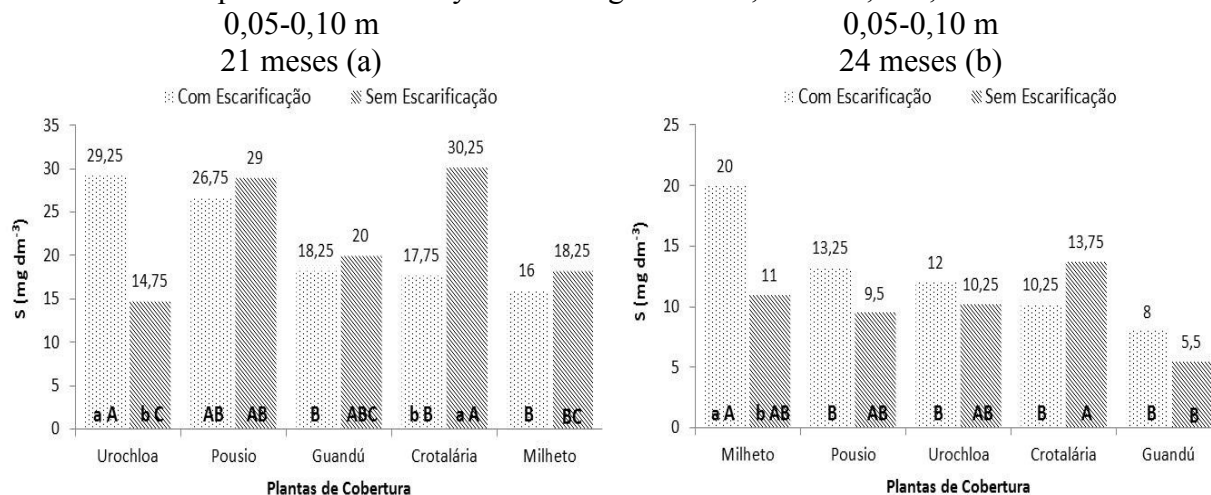
**Tabela 27** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do S no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica do teor de enxofre do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                     |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------------------------------------|----|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                             |    |                     |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                        |    |                     |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                         | 0  | 7                   | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- mg dm <sup>-3</sup> -----                         |    |                     |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                            |    |                     |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 7,97*               | 2,98 <sup>ns</sup> | 24,59*             | 140,34*            | --                               | 1,79 <sup>ns</sup> | 0,04 <sup>ns</sup> | 0,26 <sup>ns</sup> | 8,75*              |
| PC                                                      | -- | 1,33 <sup>ns</sup>  | 1,97 <sup>ns</sup> | 3,44*              | 9,42*              | --                               | 8,75*              | 2,73 <sup>ns</sup> | 5,05*              | 9,33*              |
| DMxPC                                                   | -- | 0,74 <sup>ns</sup>  | 0,99 <sup>ns</sup> | 1,85 <sup>ns</sup> | 3,10*              | --                               | 0,69 <sup>ns</sup> | 0,37 <sup>ns</sup> | 6,34*              | 4,81*              |
| DMS (5%)                                                |    |                     |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 3,11                | --                 | 1,32               | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                                      | -- | --                  | --                 | 2,98               | --                 | --                               | 5,69               | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                                   | -- | 30,40               | 25,64              | 22,42              | 14,58              | --                               | 29,66              | 25,80              | 23,99              | 25,43              |
| 0,10-0,20 m                                             |    |                     |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                            |    |                     |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 33,64 <sup>ns</sup> | 1,65 <sup>ns</sup> | 0,47 <sup>ns</sup> | 0,86 <sup>ns</sup> | --                               | 3,97*              | 2,79 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> | 5,08*              |
| PC                                                      | -- | 5,59 <sup>ns</sup>  | 4,51*              | 5,10*              | 1,47 <sup>ns</sup> | --                               | 2,97*              | 5,98*              | 2,23 <sup>ns</sup> | 1,79 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                   | -- | 3,02 <sup>ns</sup>  | 1,23 <sup>ns</sup> | 2,90*              | 1,55 <sup>ns</sup> | --                               | 1,94 <sup>ns</sup> | 12,03*             | 0,11 <sup>ns</sup> | 0,49 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                |    |                     |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | --                  | -                  | --                 | --                 | --                               | 5,81               | -                  | --                 | 8,92               |
| PC                                                      | -- | --                  | 16,71              | --                 | --                 | --                               | 13,08              | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                                   | -- | 21,90               | 26,14              | 17,47              | 20,56              | --                               | 17,49              | 13,75              | 16,96              | 17,71              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 36.** Desdobramento das interações para soma de bases do solo, na camada de 0,20-0,40 m, aos 12 meses (a) e 24 meses (b), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

**Tabela 28** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do S no solo, na camada de 0,05-0,10 m aos 21 e 24 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                 | DM dentro de PC | CV    |
|--------|---------------------------------|-----------------|-------|
|        | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----           | %     |
| 36 a   | 7,67                            | 10,92           | 23,99 |
| 36 b   | 4,19                            | 5,96            | 25,43 |

**Fonte:** Dados do próprio autor.

#### 4.5.11 Dinâmica do teor de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) no perfil do solo durante dois anos

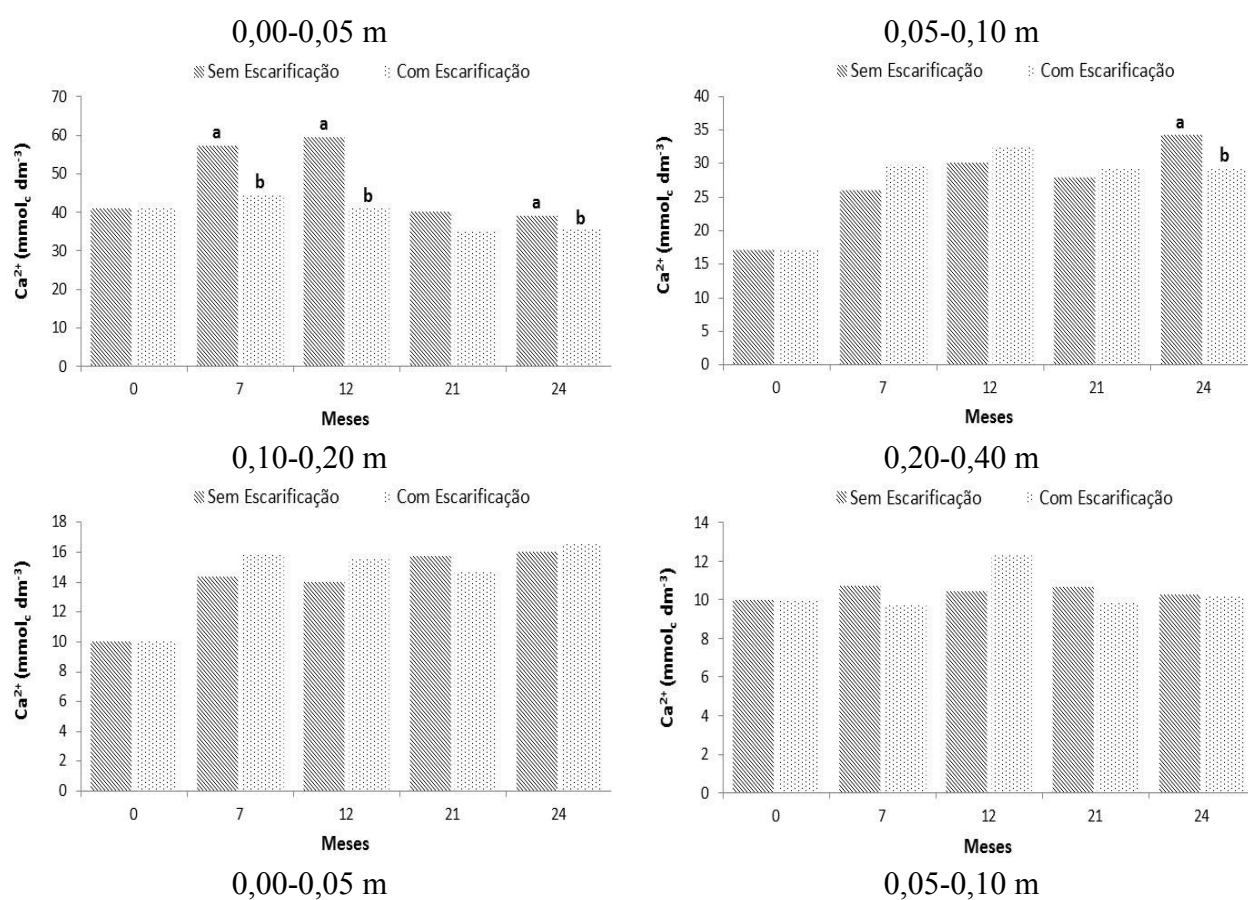
Houve acréscimos crescentes no teor de Ca, particularmente em SPD nas avaliações 7, 12 e 24 meses na primeira camada do solo. O teor de Ca apresentou acúmulo crescente até aproximadamente 7 meses e permaneceu estável até a última avaliação na segunda e terceira camada, com apenas leve acréscimo em SPD aos 24 meses na segunda camada do solo. O mesmo permaneceu estável, tanto com como sem escarificação, na quarta camada do solo. Houve maior acréscimo no teor de Ca na segunda camada do solo (Figura 37). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

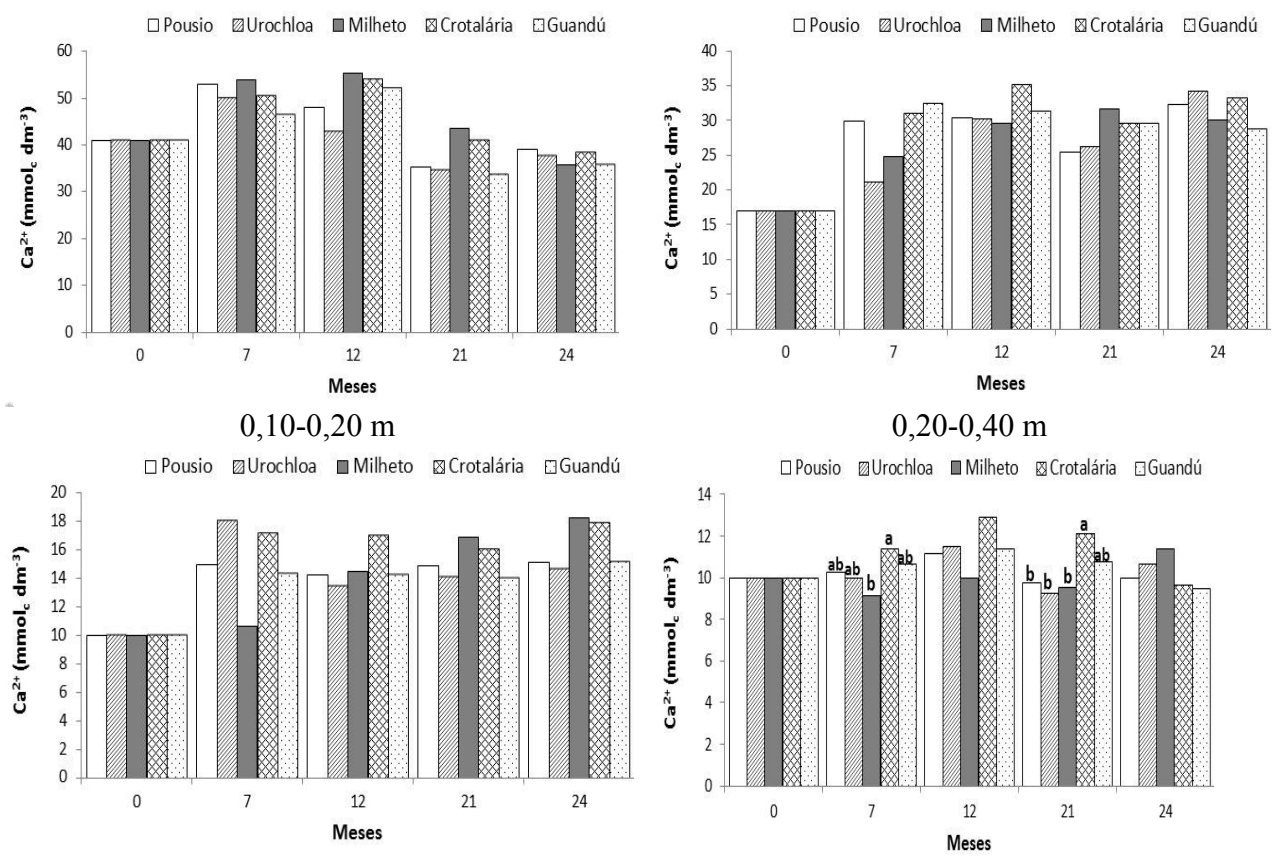
Em relação à dinâmica do teor de Ca após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas nas quatro camadas de solo (Figura 65), verificou-se que o solo sob crotalária apresentou maior teor de Ca aos 7 e 21 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Notou-se que os teores de Ca obtidos foram considerados altos ( $> 7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), de acordo com Raij et al. (1997). Provavelmente o manejo do solo promoveu melhorias nos teores de Ca do solo e movimentação do cátion até a profundidade de 0,20 m.

Com relação ao desdobramento da interação de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para o teor de Ca do solo aos 7 e 12 meses na terceira e quarta camada do solo (Figura 38, a; b; c) verificou-se que o cultivo anterior de *Urochloa* com escarificação proporcionou maior teor de Ca do solo aos 7 meses na terceira camada do solo. Além disso, observou-se que o cultivo anterior de crotalária com escarificação proporcionou maior teor de Ca do solo aos 12 meses na terceira e quarta camada do solo.

**Figura 37** - Dinâmica do teor de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.





Fonte: Dados do próprio autor.

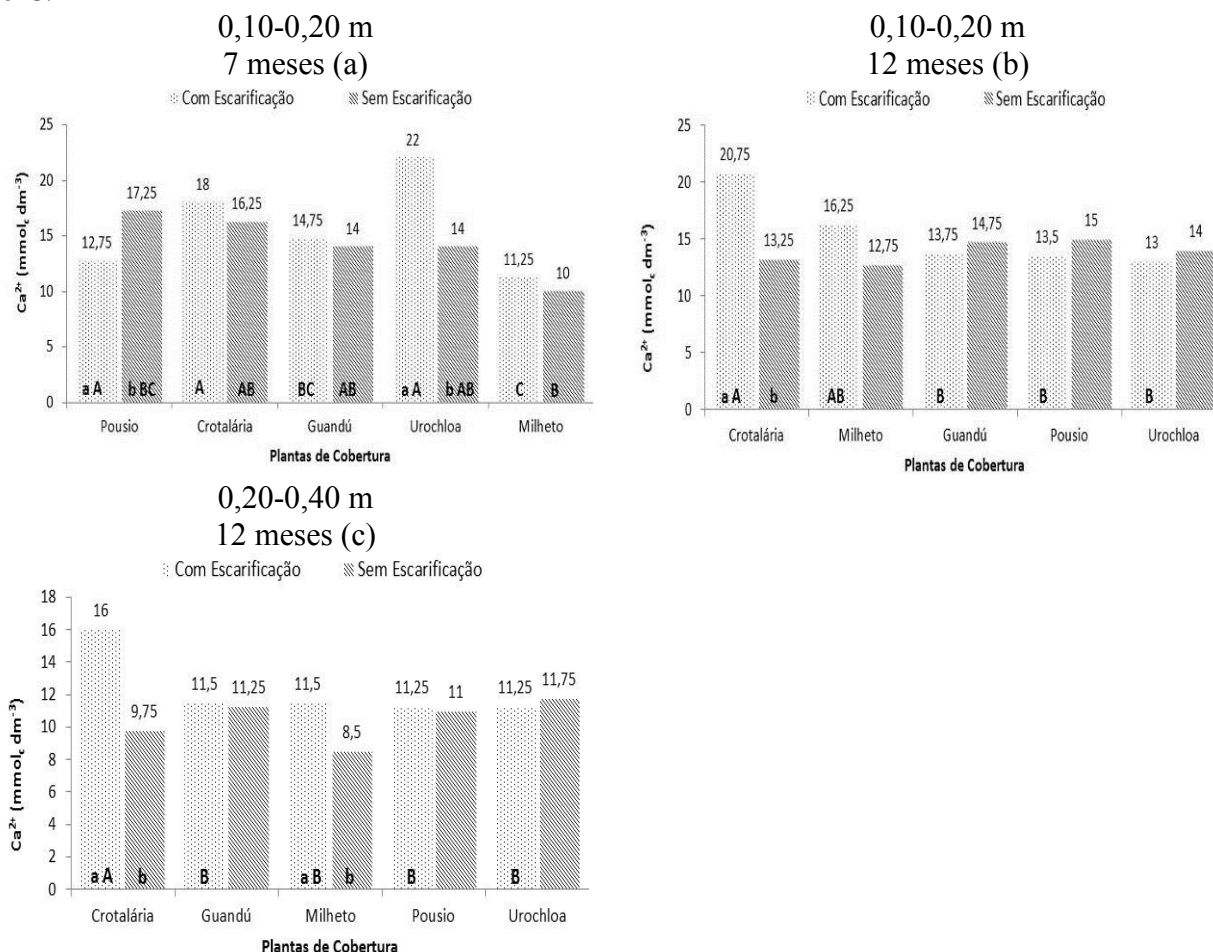
**Tabela 29** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do Ca no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica do teor de cálcio do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|--------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                            |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                       |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                        | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                           |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                     | -- | 11,05*             | 38,71*             | 19,58*             | 5,54*              | --                               | 2,17 <sup>ns</sup> | 1,51 <sup>ns</sup> | 1,02 <sup>ns</sup> | 17,78*             |
| PC                                                     | -- | 0,44 <sup>ns</sup> | 2,37 <sup>ns</sup> | 11,75*             | 0,88 <sup>ns</sup> | --                               | 2,86*              | 1,05 <sup>ns</sup> | 2,81 <sup>ns</sup> | 2,60 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                  | -- | 0,38 <sup>ns</sup> | 0,71 <sup>ns</sup> | 8,39*              | 2,98 <sup>ns</sup> | --                               | 1,48*              | 0,45 <sup>ns</sup> | 1,14 <sup>ns</sup> | 0,52 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                               |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                     | -- | 7,99               | 7,99               | --                 | 3,18               | --                               | --                 | --                 | --                 | 2,53               |
| PC                                                     | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)                                                  | -- | 24,28              | 18,42              | 9,57               | 13,16              | --                               | 28,55              | 19,76              | 15,42              | 12,30              |
| 0,10-0,20 m                                            |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                           |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                     | -- | 2,39 <sup>ns</sup> | 2,94 <sup>ns</sup> | 2,18 <sup>ns</sup> | 0,29 <sup>ns</sup> | --                               | 4,18 <sup>ns</sup> | 10,81*             | 4,01 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup> |
| PC                                                     | -- | 7,52*              | 1,88 <sup>ns</sup> | 2,96 <sup>ns</sup> | 2,72 <sup>ns</sup> | --                               | 2,53*              | 2,67*              | 6,19*              | 0,99 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                  | -- | 4,49*              | 4,02*              | 1,47 <sup>ns</sup> | 2,08 <sup>ns</sup> | --                               | 2,63 <sup>ns</sup> | 4,95*              | 1,86 <sup>ns</sup> | 2,61 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                               |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                     | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| PC                                                     | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | 2,15               | --                 | 1,96               | --                 |
| CV(%)                                                  | -- | 19,73              | 18,81              | 13,42              | 18,18              | --                               | 14,30              | 15,64              | 13,07              | 21,65              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 38.** Desdobramento das interações para o teor de Ca do solo, na camada de 0,10-0,20 m, aos 7 meses (a), 12 meses (b), na camada de 0,20-0,40 m, aos 12 meses (c), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 30.** Valores de DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do Ca no solo, na camada de 0,10-0,20 m aos 7, 12 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                    | DM dentro de PC | CV    |
|--------|------------------------------------|-----------------|-------|
|        | ----- mmolc dm <sup>-3</sup> ----- | -----           | %     |
| 38 a   | 4,3010                             | 6,1241          | 19,73 |
| 38 b   | 4,0124                             | 5,7132          | 18,81 |
| 38 c   | 2,5815                             | 3,6757          | 15,64 |

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.5.12 Dinâmica do teor de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no perfil do solo durante dois anos

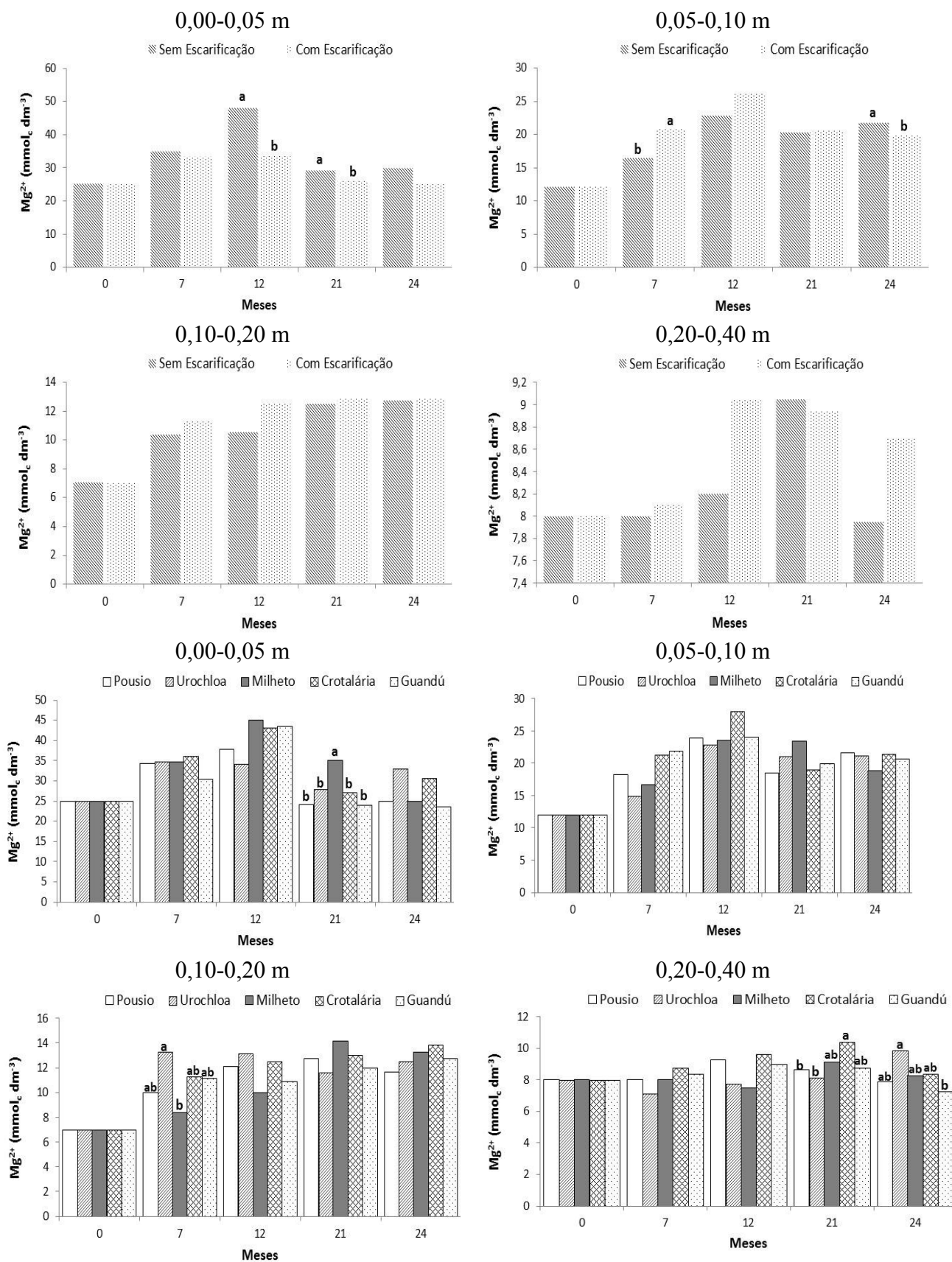
O teor de Mg apresentou acúmulo crescente até aproximadamente 12 meses seguido de permanente estabilidade até a última avaliação na primeira e segunda camada do solo, com leve acréscimos em SPD aos 12 e 21 meses na primeira camada e com escarificação aos 7 meses e em SPD aos 24 meses na segunda camada do solo. Houve acúmulo crescente até cerca de 7 meses seguido de estabilização até a última avaliação na terceira camada do solo. O teor de Mg permaneceu constante até cerca de 7 meses seguido de pico de elevação com escarificação aos 12 meses, independente da escarificação, aos 21 meses. A partir dessa época constatou-se queda nos valores da concentração de Mg, principalmente em SPD na quarta camada do solo (Figura 39). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Com relação à dinâmica do teor de Mg do solo após cultivo de plantas de cobertura, para diferentes épocas e nas quatro camadas do solo (Figura 39), destacou-se o cultivo anterior de *Urochloa* que mostrou maior incremento nos teores de Mg do solo aos 7 e 24 meses na terceira e quarta camada do solo em relação ao teor de Mg inicial. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Observou-se que os teores de Mg trocável do solo encontrados neste trabalho foram considerados médios e altos ( $5-8$  e  $> 8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), respectivamente, de acordo com Raij et al. (1997). Nesse caso, nota-se que o manejo do solo promoveu incrementos no teor de Mg do solo e movimentação do cátion até a profundidade de  $0,20 \text{ m}$ .



**Figura 39** - Dinâmica do teor de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 31** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica do Mg no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica do teor de magnésio do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|----------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                         |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                          | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----           |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 0,36 <sup>ns</sup> | 19,89 <sup>*</sup> | 4,37 <sup>*</sup>  | 16,88 <sup>*</sup> | --                               | 5,35 <sup>*</sup>  | 2,78 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup> | 7,75 <sup>*</sup>  |
| PC                                                       | -- | 0,64 <sup>ns</sup> | 1,57 <sup>ns</sup> | 7,63 <sup>*</sup>  | 10,42 <sup>*</sup> | --                               | 2,01 <sup>ns</sup> | 0,84 <sup>ns</sup> | 5,07 <sup>*</sup>  | 1,97 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                    | -- | 2,13 <sup>ns</sup> | 1,23 <sup>ns</sup> | 2,56 <sup>ns</sup> | 7,29 <sup>*</sup>  | --                               | 0,94 <sup>ns</sup> | 0,27 <sup>ns</sup> | 3,63 <sup>*</sup>  | 1,97 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | --                 | 6,67               | 2,99               | --                 | --                               | 3,86               | -                  | --                 | 1,44               |
| PC                                                       | -- | --                 | --                 | 6,74               | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | 22,57              | 25,26              | 16,72              | 13,05              | --                               | 32,03              | 25,58              | 11,91              | 10,69              |
| 0,10-0,20 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 1,50 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>ns</sup> | 0,52 <sup>ns</sup> | 0,10 <sup>ns</sup> | --                               | 0,05 <sup>ns</sup> | 2,35 <sup>ns</sup> | 0,07 <sup>ns</sup> | 2,37 <sup>ns</sup> |
| PC                                                       | -- | 4,76 <sup>*</sup>  | 0,41 <sup>ns</sup> | 2,46 <sup>ns</sup> | 1,39 <sup>ns</sup> | --                               | 1,42 <sup>ns</sup> | 2,32 <sup>ns</sup> | 4,14 <sup>*</sup>  | 3,18 <sup>*</sup>  |
| DMxPC                                                    | -- | 0,52 <sup>ns</sup> | 0,50 <sup>ns</sup> | 0,75 <sup>ns</sup> | 0,70 <sup>ns</sup> | --                               | 0,32 <sup>ns</sup> | 0,97 <sup>ns</sup> | 1,33 <sup>ns</sup> | 3,29 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | --                 | -                  | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                                       | -- | 3,39               | -                  | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | 1,72               | 2,25               |
| CV(%)                                                    | -- | 21,51              | 19,30              | 13,78              | 15,75              | --                               | 17,79              | 20,31              | 13,09              | 18,50              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

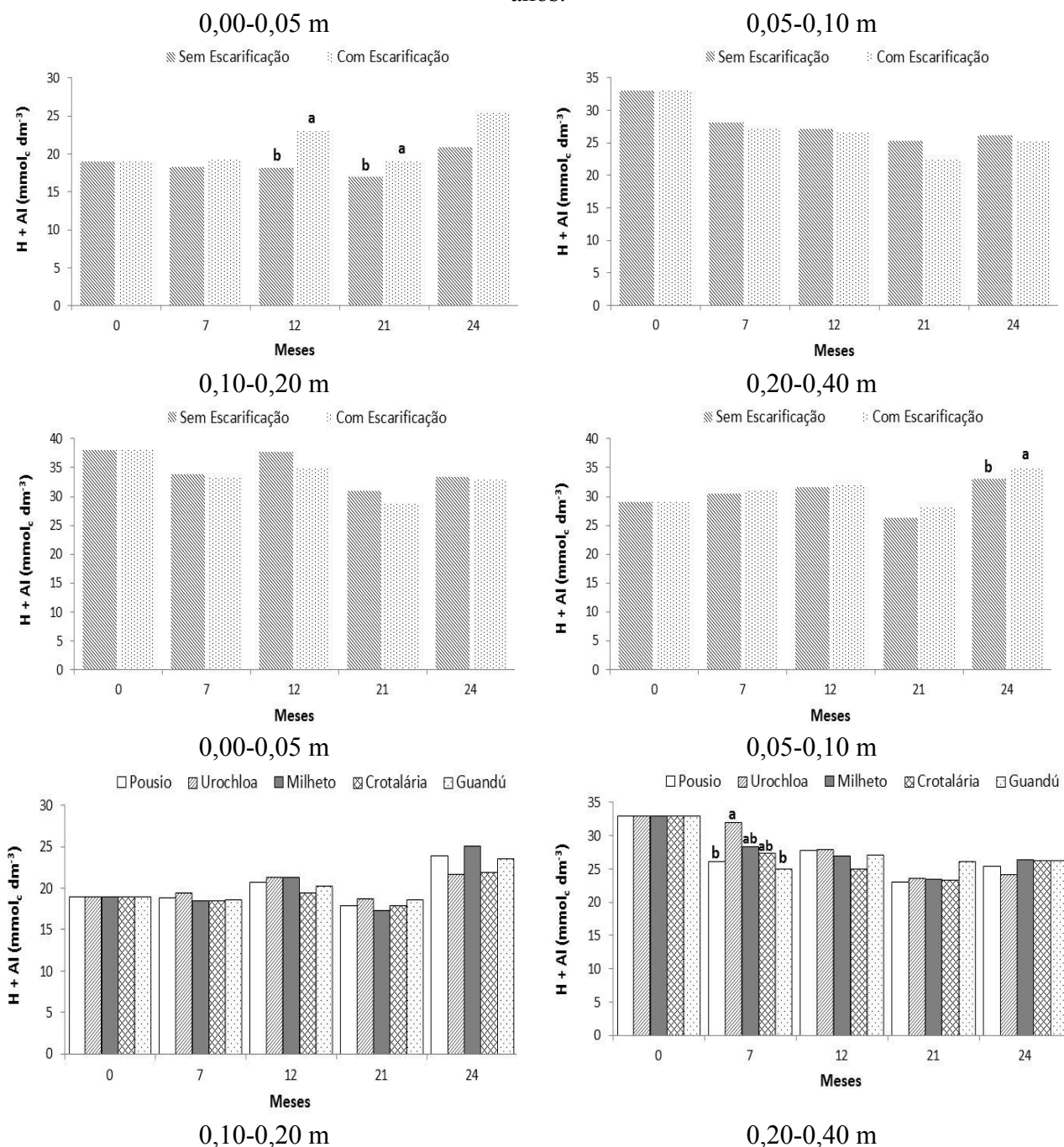
#### 4.5.13 Dinâmica da acidez potencial (H+Al) no perfil do solo durante dois anos

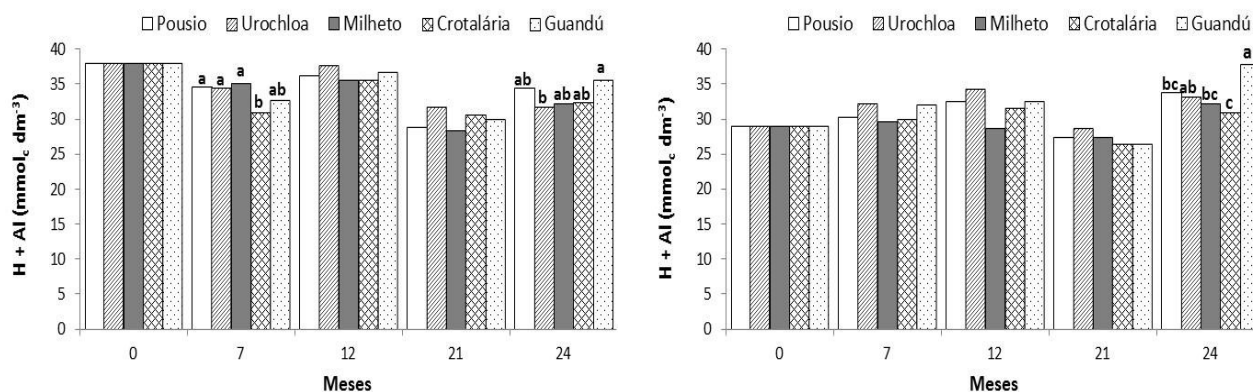
A H+Al do solo permaneceu estável em todas as épocas de coleta do solo nas quatro camadas do solo, com acréscimos gradativo pela escarificação nas avaliações de 12 e 21 meses na primeira camada do solo e aos 24 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo (Figura 40).

Analisando a dinâmica da H+Al após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas de coleta de solo nas quatro camadas do solo (Figura 40), destacou-se os cultivos antecessores de *Urochloa* aos 7 meses na segunda e terceira camada do solo, assim como, o cultivo do feijão guandu aos 24 meses na terceira e quarta camada do solo, que promoveram maiores concentrações de H+Al nas respectivas camadas do solo. Além disso, notou-se que o cultivo anterior de crotalária proporcionou maior redução da H+Al aos 7 meses na terceira

camada e aos 24 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

**Figura 40 - Dinâmica da acidez potencial (H + Al) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.**





Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 32** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da H+Al no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica da acidez potencial do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|----------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                         |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                          | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----           |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 1,59 <sup>ns</sup> | 19,38 <sup>*</sup> | 10,36 <sup>*</sup> | 85,26 <sup>*</sup> | --                               | 0,69 <sup>ns</sup> | 0,08 <sup>ns</sup> | 26,02 <sup>*</sup> | 0,91 <sup>ns</sup> |
| PC                                                       | -- | 0,31 <sup>ns</sup> | 0,39 <sup>ns</sup> | 0,68 <sup>ns</sup> | 6,76 <sup>*</sup>  | --                               | 5,51 <sup>*</sup>  | 0,54 <sup>ns</sup> | 4,31 <sup>*</sup>  | 0,92 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                    | -- | 2,51 <sup>ns</sup> | 0,66 <sup>ns</sup> | 0,65 <sup>ns</sup> | 9,21 <sup>*</sup>  | --                               | 2,17 <sup>ns</sup> | 0,89 <sup>ns</sup> | 5,10 <sup>*</sup>  | 0,41 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | --                 | 2,26               | 1,37               | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | --                 |
| PC                                                       | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | 4,72               | -                  | --                 | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | 11,33              | 16,89              | 11,69              | 6,86               | --                               | 11,63              | 16,46              | 7,13               | 10,99              |
| 0,10-0,20 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 0,84 <sup>ns</sup> | 2,88 <sup>ns</sup> | 7,88 <sup>*</sup>  | 0,16 <sup>ns</sup> | --                               | 0,29 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup> | 11,63 <sup>*</sup> | 4,86 <sup>*</sup>  |
| PC                                                       | -- | 5,47 <sup>*</sup>  | 0,19 <sup>ns</sup> | 2,72 <sup>ns</sup> | 3,91 <sup>*</sup>  | --                               | 0,98 <sup>ns</sup> | 1,69 <sup>ns</sup> | 2,62 <sup>*</sup>  | 9,50 <sup>*</sup>  |
| DMxPC                                                    | -- | 1,18 <sup>ns</sup> | 0,76 <sup>ns</sup> | 3,24 <sup>*</sup>  | 2,18 <sup>ns</sup> | --                               | 0,94 <sup>ns</sup> | 0,50 <sup>ns</sup> | 3,38 <sup>*</sup>  | 0,29 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | --                 | -                  | --                 | --                 | --                               | --                 | -                  | --                 | 1,63               |
| PC                                                       | -- | 3,02               | -                  | --                 | 3,50               | --                               | --                 | -                  | --                 | 3,67               |
| CV(%)                                                    | -- | 6,14               | 15,39              | 7,91               | 7,19               | --                               | 11,50              | 14,33              | 5,79               | 7,39               |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.6 DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, APÓS DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA, SEGUIDA DE CULTIVO DO ARROZ E FEIJÃO EM SUCESSÃO NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE

##### 4.6.1 Dinâmica da macroporosidade (Ma) no perfil do solo durante dois anos

A operação de escarificação mecânica do solo promoveu incremento da proporção de macroporos em todas as avaliações na primeira camada do solo. Houve pico de elevação da proporção de macroporos, principalmente com escarificação aos 7 meses seguido de queda constante aos 12 meses e posterior estabilidade da proporção aos 21 e 24 meses na segunda camada do solo. A proporção se manteve estável, com leves acréscimos com escarificação aos 7 e 12 meses na terceira camada do solo e em SPD aos 7 meses na quarta camada do solo (Figura 41). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Com relação à dinâmica de macroporosidade do solo após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas de coleta de solo e nas quatro camadas de solo (Figura 41), destacou-se o solo sob crotalaria que apresentou maior proporção de macroporos aos 21 meses na primeira camada e aos 7 meses na terceira camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

As proporções de macroporos do solo encontrados neste trabalho foram consideradas intermediárias ( $0,08$  a  $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), propiciando adequado desenvolvimento e penetração do sistema radicular do arroz e feijão em sucessão, sendo considerado um valor maior que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para uma adequada troca de gases no solo, de acordo com Greenland (1981), entretanto distantes das condições sob vegetação de Cerrado Sul-Matogrossense natural com valores de  $0,26$ ,  $0,19$  e  $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nas camadas de  $0,00$ - $0,10$ ,  $0,10$ - $0,20$  e  $0,20$ - $0,40$  m, respectivamente, de acordo com Souza; Alves (2003a). Isso mostra que o manejo do solo adotado promoveu melhorias na formação e incremento da macroporosidade de forma permanente e gradual em curto prazo.

Houve interações significativas para macroporos do solo nas camadas de  $0,00$ - $0,05$  m (12 e 24 meses),  $0,05$ - $0,10$  m (7, 12 e 24 meses),  $0,10$ - $0,20$  m (21 e 24 meses) e  $0,20$ - $0,40$  m (12, 21 e 24 meses), apresentados na Tabela 33.

Analisando os desdobramentos das interações supracitadas das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para macroporos do solo aos 7, 12, 21 e 24 meses nas quatro camadas do solo (Figura 42 e 43),

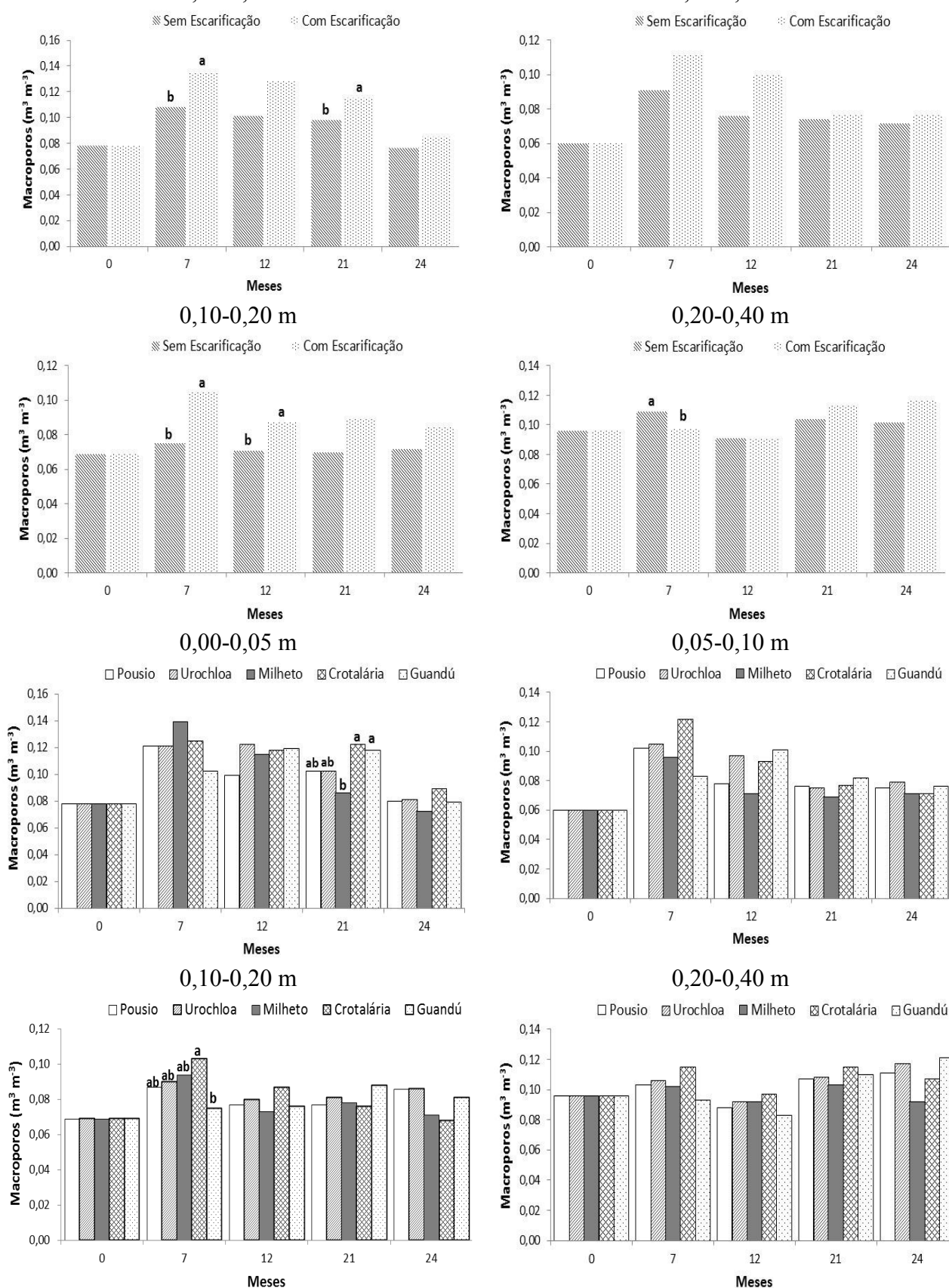
merecem destaque os cultivos anteriores de *Urochloa*, crotalária e guandu com solo escarificado em SPD que promoveram maiores proporções de macroporos no perfil do solo nas respectivas avaliações.

Notou-se que após 24 meses da descompactação mecânica associada a cultivos anteriores de plantas de cobertura houve melhorias positivas na porosidade de aeração em relação a caracterização inicial com permanência dos efeitos do manejo do solo com descompactação mecânica e biológica na entressafra das culturas comerciais.

Resultados contrários aos obtidos por Siveira Junior et al. (2012), os quais verificaram que após 18 meses o sistema plantio direto, com ou sem práticas de descompactação, apresentou praticamente a mesma qualidade física, como indicado pela densidade do solo, porosidade, permeabilidade ao ar e continuidade de poros. Portanto, constatou-se limitada persistência do efeito da escarificação como tentativa de melhorar a qualidade física de um Latossolo de textura argilosa quando o grau de compactação inicial não é restritivo ao crescimento de plantas. Camara; Klein (2005) não detectaram efeitos da escarificação em sistema plantio direto aos seis meses após essa operação. Vários autores justificam o fato de o efeito da mobilização do solo desaparecer em razão da reconsolidação das partículas do solo que ocorre devido aos ciclos de umedecimento e secagem, ao impacto das gotas de chuva e ao tráfego das máquinas agrícolas utilizadas na semeadura, colheita e tratos culturais (VEIGA et al., 2008; REICHERT et al., 2009b).

Como não há revolvimento do solo no SPD, as pressões ocasionadas pelo tráfego de máquinas e a acomodação natural das partículas elevam o estado de compactação do solo, reduzindo o tamanho dos poros (GODOY et al., 2015).

**Figura 41.** Dinâmica dos macroporos (Ma) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 33** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da macroporosidade no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

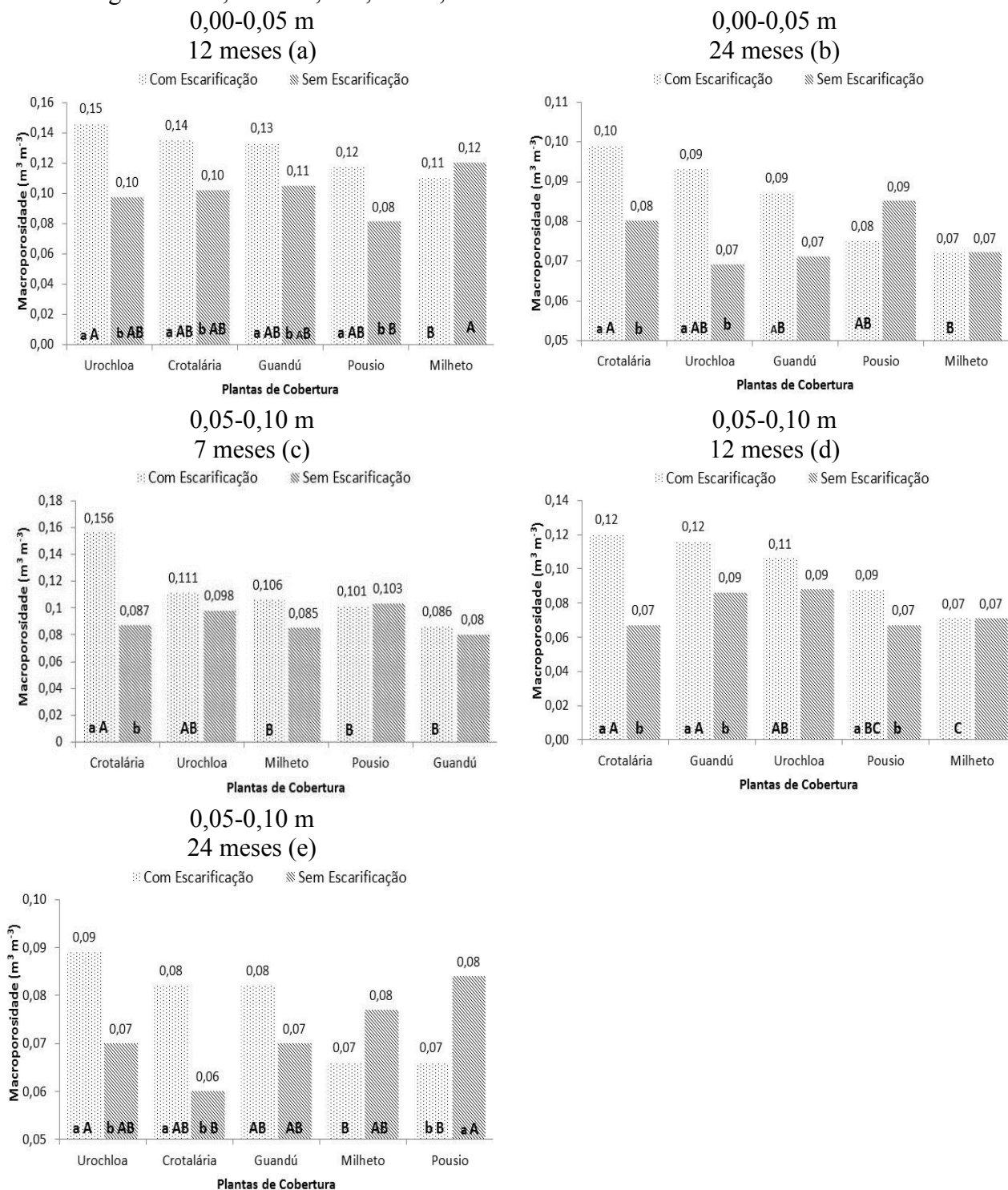
| Dinâmica da macroporosidade do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                             |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                        |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                         | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----              |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                            |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 8,66 <sup>*</sup>  | 25,93 <sup>*</sup> | 12,48 <sup>*</sup> | 5,60 <sup>*</sup>  | --                               | 8,38 <sup>*</sup>  | 33,13 <sup>*</sup> | 0,82 <sup>ns</sup> | 2,30 <sup>ns</sup> |
| PC                                                      | -- | 1,74 <sup>ns</sup> | 2,328 <sup>*</sup> | 7,15 <sup>*</sup>  | 1,82 <sup>ns</sup> | --                               | 2,91 <sup>*</sup>  | 7,57 <sup>*</sup>  | 2,23 <sup>ns</sup> | 0,98 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                   | -- | 0,43 <sup>ns</sup> | 3,53 <sup>*</sup>  | 2,37 <sup>ns</sup> | 2,438 <sup>*</sup> | --                               | 2,89 <sup>*</sup>  | 4,18 <sup>*</sup>  | 1,01 <sup>ns</sup> | 6,37 <sup>*</sup>  |
| DMS (5%)                                                |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 0,0179             | --                 | 0,0096             | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| PC                                                      | -- | --                 | --                 | 0,0213             | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)                                                   | -- | 40,58              | 25,45              | 25,06              | 27,87              | --                               | 39,36              | 26,10              | 21,44              | 23,84              |
| 0,10-0,20 m                                             |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                            |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 25,99 <sup>*</sup> | 17,97 <sup>*</sup> | 45,38 <sup>*</sup> | 28,86 <sup>*</sup> | --                               | 5,29 <sup>*</sup>  | 0,01 <sup>ns</sup> | 8,17 <sup>*</sup>  | 18,10 <sup>*</sup> |
| PC                                                      | -- | 2,40 <sup>*</sup>  | 1,70 <sup>ns</sup> | 2,61 <sup>*</sup>  | 9,33 <sup>*</sup>  | --                               | 2,24 <sup>ns</sup> | 2,13 <sup>ns</sup> | 1,24 <sup>ns</sup> | 9,51 <sup>*</sup>  |
| DMxPC                                                   | -- | 0,63 <sup>ns</sup> | 2,38 <sup>ns</sup> | 6,05 <sup>*</sup>  | 6,86 <sup>*</sup>  | --                               | 0,70 <sup>ns</sup> | 4,15 <sup>*</sup>  | 3,40 <sup>*</sup>  | 8,59 <sup>*</sup>  |
| DMS (5%)                                                |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                      | -- | 0,0116             | 0,0075             | --                 | --                 | --                               | 0,009              | --                 | --                 | --                 |
| PC                                                      | -- | 0,0257             | --                 | --                 | --                 | --                               | -                  | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)                                                   | -- | 35,68              | 26,29              | 19,53              | 17,51              | --                               | 25,01              | 19,47              | 17,27              | 16,54              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

**Fonte:** Dados do próprio autor.,

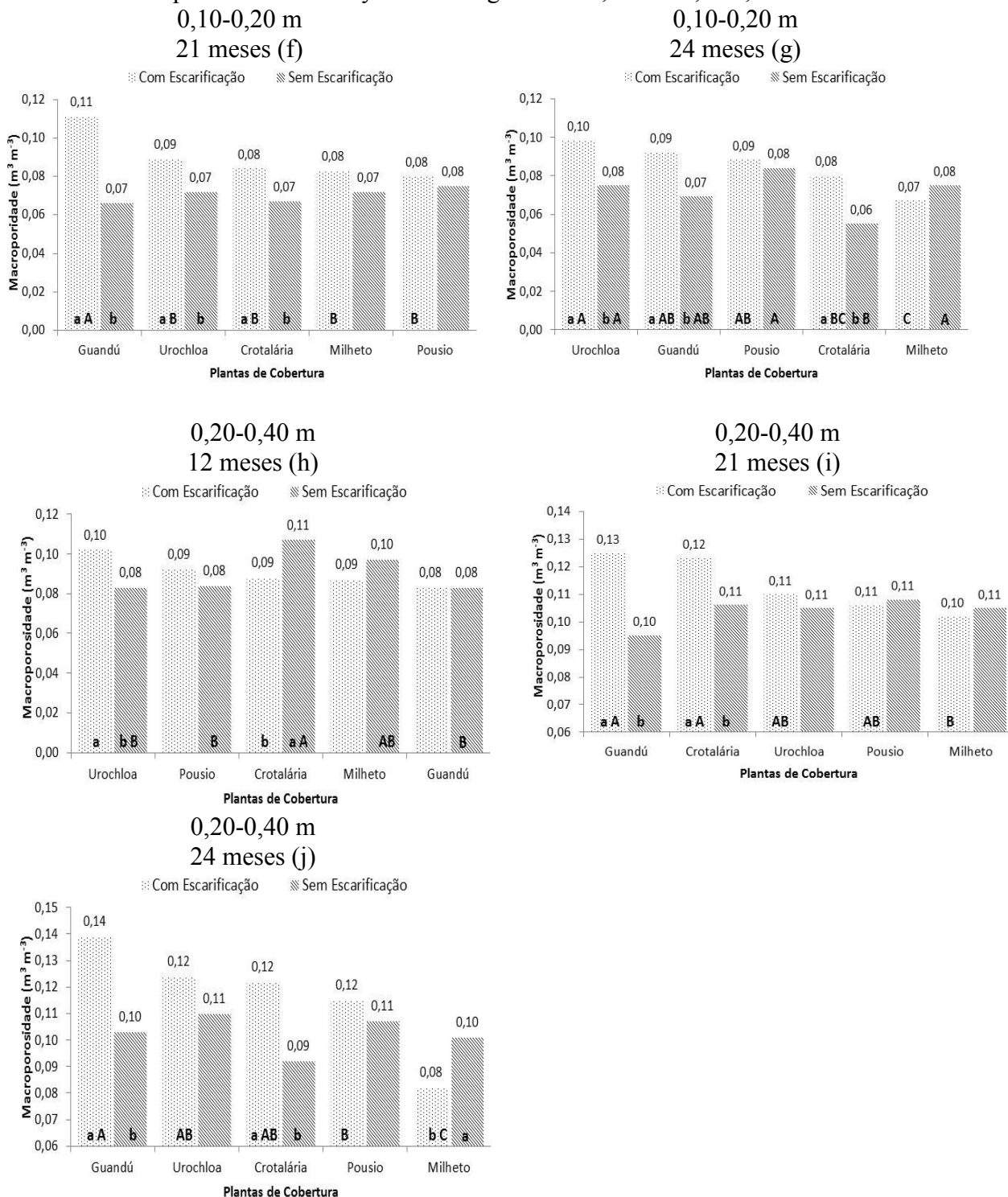


**Figura 42** - Desdobramento das interações para a macroporosidade do solo, nas camadas de 0,00-0,05 (a; b), 0,05-0,10 (c; d; e) m, após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, Brasil, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 43** - Desdobramento das interações para a macroporosidade do solo, nas camadas de 0,10-0,20 (f; g), 0,20-0,40 (h; i; e; j) m, após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



**Fonte:** Dados do próprio autor.

**Tabela 34** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para dinâmica da macroporosidade no solo, nas camadas e diferentes épocas, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                            | DM dentro de PC                            | CV    |
|--------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
|        | ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ----- | ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ----- | (%)   |
| 42 a   | 0,024                                      | 0,033                                      | 25,45 |
| 42 b   | 0,018                                      | 0,025                                      | 27,87 |
| 42 c   | 0,032                                      | 0,045                                      | 39,36 |
| 42 d   | 0,019                                      | 0,026                                      | 26,10 |
| 42 e   | 0,014                                      | 0,020                                      | 23,84 |
| 43 f   | 0,013                                      | 0,018                                      | 19,54 |
| 43 g   | 0,011                                      | 0,016                                      | 17,51 |
| 43 h   | 0,014                                      | 0,020                                      | 19,47 |
| 43 i   | 0,015                                      | 0,021                                      | 17,27 |
| 43 j   | 0,015                                      | 0,021                                      | 16,54 |

**Fonte:** Dados do próprio autor.

#### 4.6.2 Dinâmica da porosidade total (PT) no perfil do solo durante dois anos

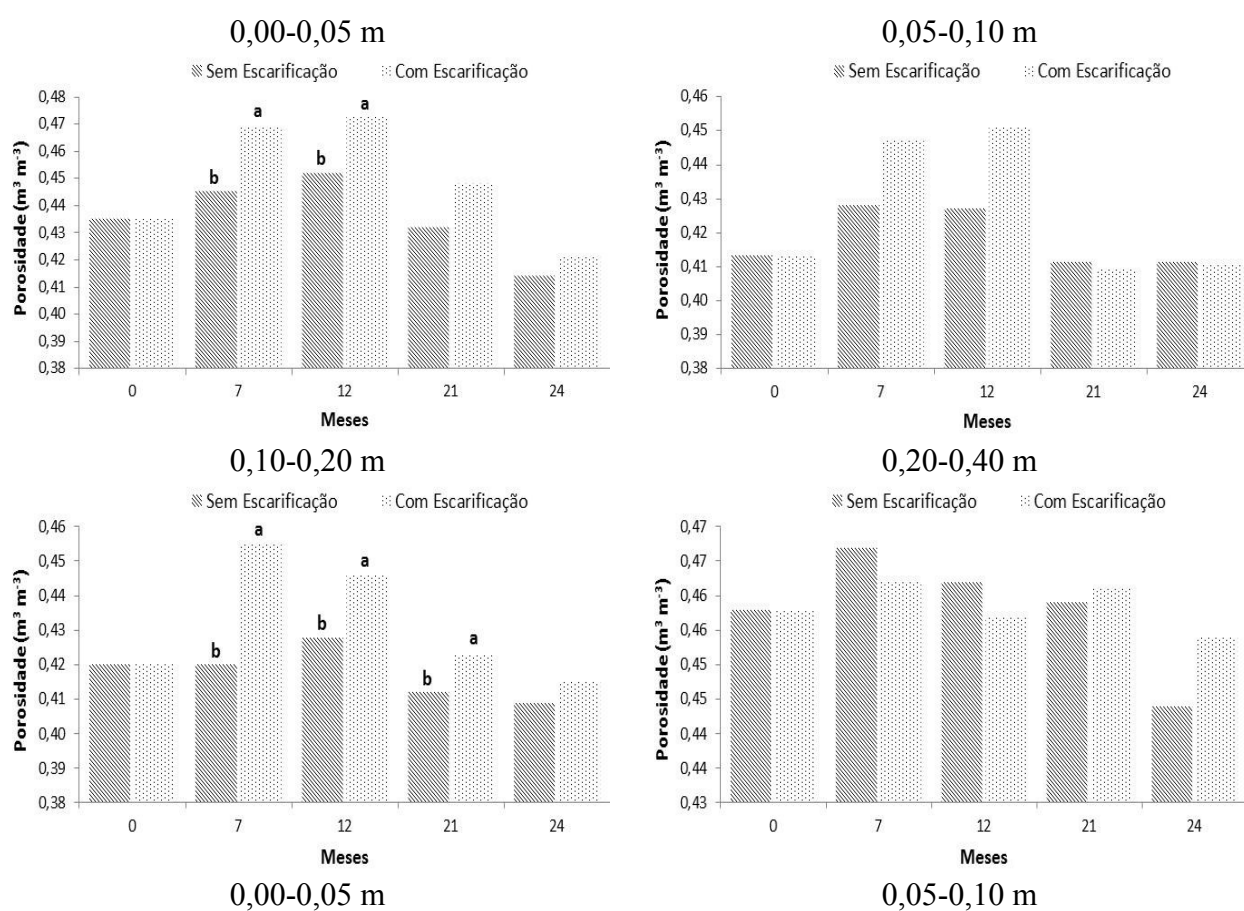
A operação de escarificação mecânica do solo promoveu maior proporção de poros totais nas três primeiras camadas do solo, com intensos acréscimos nas avaliações de 7 e 12 meses na primeira e segunda camada do solo e aos 7, 12 e 21 na terceira camada do solo seguido de queda constante aos 21 e 24 meses nas respectivas camadas (Figura 44). Houve acréscimo da proporção de poros totais até aproximadamente 7 meses seguido estabilidade até 21 meses e posterior queda constante aos 24 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

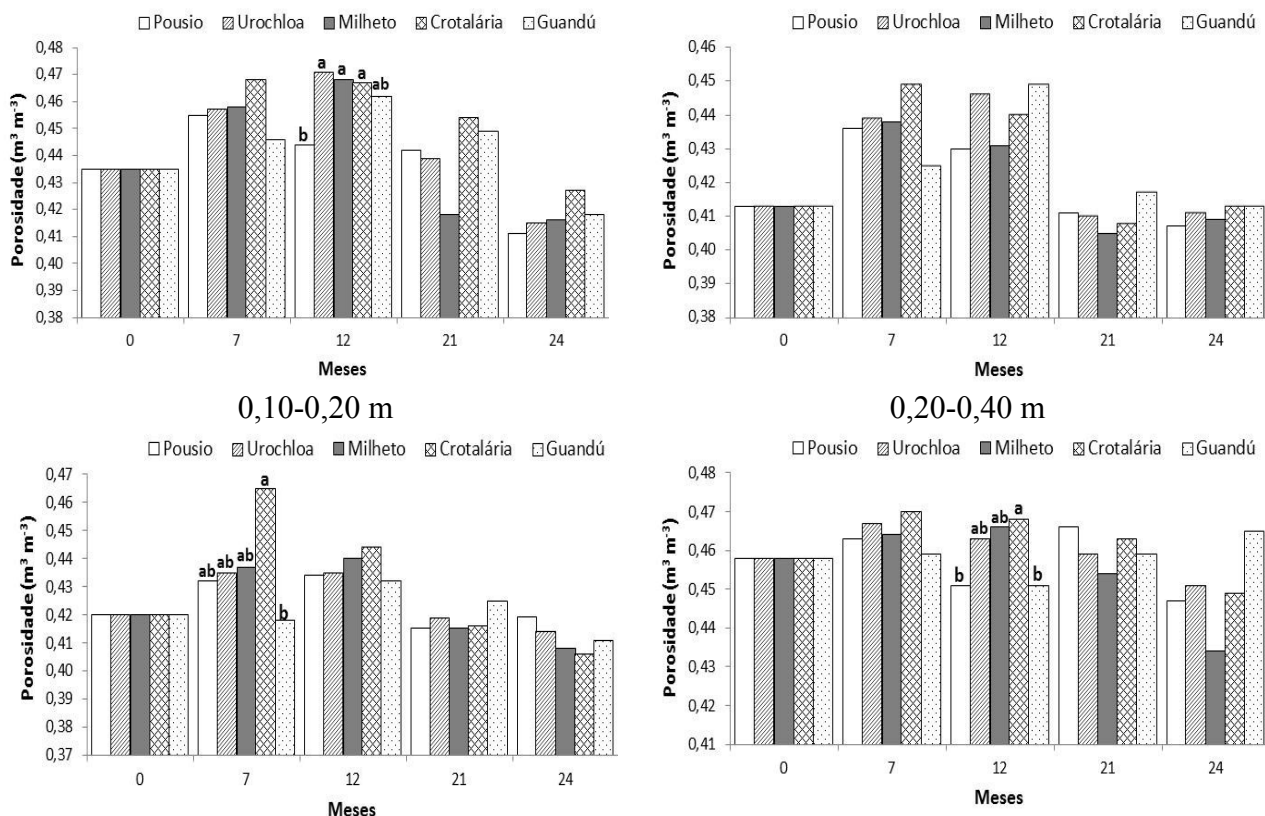
Em relação à dinâmica de poros totais do solo após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas de coleta de solo e nas quatro camadas de solo (Figura 44), notou-se que o solo sob crotalaria apresentou maior proporção de poros totais do solo nas avaliações de 7 e 12 meses na primeira, terceira e quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Notou-se que a proporção de poros totais do solo oscilou entre 0,41 a 0,47 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Figura 44), porém aquém de um solo sob vegetação de Cerrado Sul-Matogrossense natural com valores de 0,54, 0,51 e 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respetivamente, de acordo com Souza; Alves (2003a). Provavelmente o manejo do solo proporcionou melhorias na proporção de poros totais do solo.

No desdobramento das interações de plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para poros totais do solo aos 7 e 12 meses na segunda camada do solo (Figura 45, a; b), merecem destaque os cultivos anteriores de *Urochloa*, crotalária e guandu com escarificação que resultaram em maiores proporções de poros totais aos 12 meses nessa camada. Nos 7 meses, merece destaque o solo sob crotalária com escarificação que proporcionou maior proporção de poros totais. Resultados contrários a hipótese de Godoy et al. (2015), os quais verificaram que como não há revolvimento do solo no SPD, as pressões ocasionadas pelo tráfego de máquinas e a acomodação natural das partículas elevam o estado de compactação do solo, reduzindo o tamanho dos poros

**Figura 44.** Dinâmica da porosidade total (PT) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.





Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 35** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da porosidade total no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

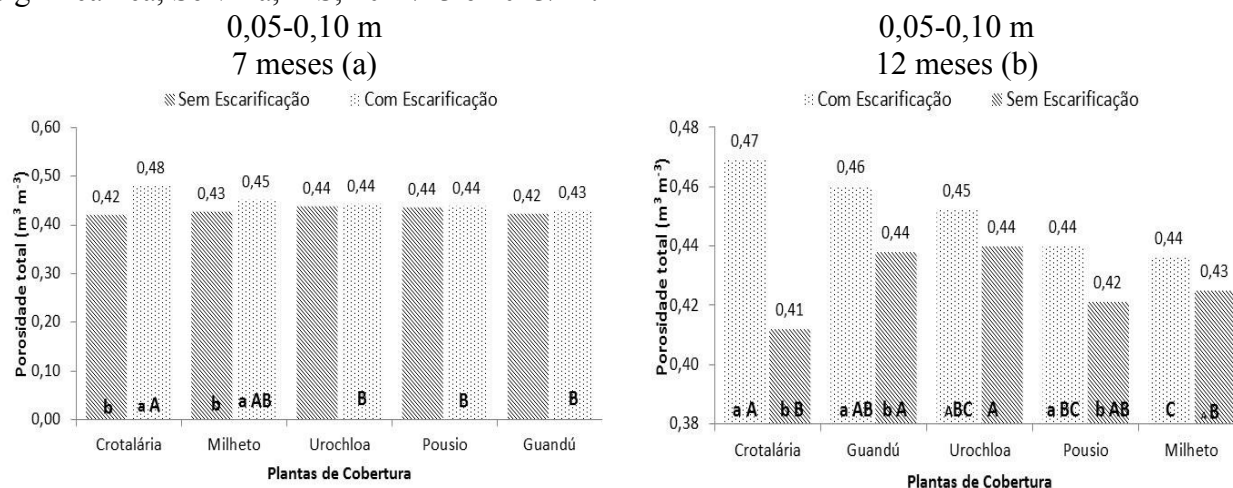
| Dinâmica da porosidade total do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|----------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                         |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                          | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----               |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 15,16 <sup>*</sup> | 26,12 <sup>*</sup> | 12,01 <sup>*</sup> | 3,31 <sup>ns</sup> | --                               | 13,07 <sup>*</sup> | 43,95 <sup>*</sup> | 0,91 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup> |
| PC                                                       | -- | 1,28 <sup>ns</sup> | 5,31 <sup>*</sup>  | 6,59 <sup>*</sup>  | 2,01 <sup>ns</sup> | --                               | 1,97 <sup>ns</sup> | 4,38 <sup>*</sup>  | 1,87 <sup>ns</sup> | 0,39 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                    | -- | 0,50 <sup>ns</sup> | 1,45 <sup>ns</sup> | 3,45 <sup>*</sup>  | 1,06 <sup>ns</sup> | --                               | 3,89 <sup>*</sup>  | 5,22 <sup>*</sup>  | 0,87 <sup>ns</sup> | 1,78 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 0,0124             | 0,0083             | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| PC                                                       | -- | --                 | 0,0184             | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)                                                    | -- | 7,53               | 4,96               | 5,91               | 5,08               | --                               | 6,75               | 4,58               | 3,90               | 5,09               |
| 0,10-0,20 m                                              |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 13,81 <sup>*</sup> | 29,09 <sup>*</sup> | 13,29 <sup>*</sup> | 3,51 <sup>ns</sup> | --                               | 1,88 <sup>ns</sup> | 1,69 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup> | 6,79 <sup>*</sup>  |
| PC                                                       | -- | 2,56 <sup>*</sup>  | 0,74 <sup>ns</sup> | 1,60 <sup>ns</sup> | 1,88 <sup>ns</sup> | --                               | 0,85 <sup>ns</sup> | 4,39 <sup>*</sup>  | 1,08 <sup>ns</sup> | 6,44 <sup>*</sup>  |
| DMxPC                                                    | -- | 1,21 <sup>ns</sup> | 0,33 <sup>ns</sup> | 2,06 <sup>ns</sup> | 1,02 <sup>ns</sup> | --                               | 0,68 <sup>ns</sup> | 1,86 <sup>ns</sup> | 1,39 <sup>ns</sup> | 5,92 <sup>*</sup>  |
| DMS (5%)                                                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                       | -- | 0,0189             | 0,0064             | 0,0063             | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |

|       |    |        |      |      |      |    |      |        |      |      |
|-------|----|--------|------|------|------|----|------|--------|------|------|
| PC    | -- | 0,0419 | --   | --   | --   | -- | --   | 0,0153 | --   | --   |
| CV(%) | -- | 11,94  | 4,03 | 4,14 | 4,32 | -- | 4,75 | 4,15   | 4,65 | 4,71 |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 45** - Desdobramento das interações para a porosidade total do solo, na camada de 0,05-0,10 m (a; b) m, após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 36.** Valores de DMS (5%) e CV (%) para dinâmica de poros totais do solo, na camada de 0,05-0,10 m aos 7, 12 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM    | DM dentro de PC    | CV   |
|--------|--------------------|--------------------|------|
|        | ----- m³ m⁻³ ----- | ----- m³ m⁻³ ----- | (%)  |
| 45 a   | 0,024              | 0,034              | 6,75 |
| 45 b   | 0,016              | 0,023              | 4,58 |

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.6.3 Dinâmica da densidade do solo (Ds) no perfil do solo durante dois anos

A operação de escarificação mecânica do solo promoveu redução da densidade do solo nas três primeiras camadas do solo, com intensa redução nas avaliações de 7, 12 e 21 meses na primeira e terceira camada do solo e aos 7 e 12 meses na segunda camada do solo seguida de estabilidade aos 24 meses nas respectivas camadas (Figura 46). Houve decréscimo da densidade do solo até cerca de 12 meses seguida de leve acréscimo posterior até 24 meses, com redução em SPD aos 7 meses e com escarificação aos 12 meses na quarta camada do solo. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.



Para a dinâmica da Ds do solo após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas de coleta de solo e nas quatro camadas do solo (Figura 46) destacou-se o cultivo anterior de crotalária que apresentou com mais frequência redução da densidade do solo aos 21 meses na primeira camada, aos 7 meses na segunda e terceira camada e aos 12 meses na quarta camada do solo. Nesse sentido, mostra a capacidade da crotalária em romper camadas superficiais compactadas do solo em SPD no Cerrado de baixa altitude. Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Notou-se que a Ds apresentou resultados superiores ( $1,35$  a  $1,59 \text{ Mg m}^{-3}$ ) para um solo de textura argilosa ( $1,00$  a  $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ ), conforme Kiehl (1979), com valores superiores a  $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$  dependendo das condições climáticas (veranicos intensos), podendo ser críticos e causar restrição ao desenvolvimento do sistema radicular do arroz e feijão em sucessão. Além disso, o solo sob vegetação de Cerrado apresenta valores de  $1,17$ ,  $1,29$  e  $1,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nas camadas de  $0,00-0,10$ ,  $0,10-0,20$  e  $0,20-0,40 \text{ m}$ , respectivamente, de acordo com Souza; Alves (2003a). Provavelmente o manejo do solo proporcionou redução da Ds de forma acentuada.

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para densidade do solo aos 12 e 24 meses na terceira camada do solo (Figura 47, a; b) verificou-se que a pré-safra de crotalária e guandu com escarificação aos 12 meses, assim como, o milheto com escarificação aos 24 meses resultaram em redução da densidade do solo nesta camada.

Com relação ao desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para densidade do solo aos 24 meses na primeira camada do solo (Figura 47, c), notou-se que houve redução da densidade do solo em todas as plantas de cobertura na presença de escarificação, com maior redução no cultivo anterior de crotalária.

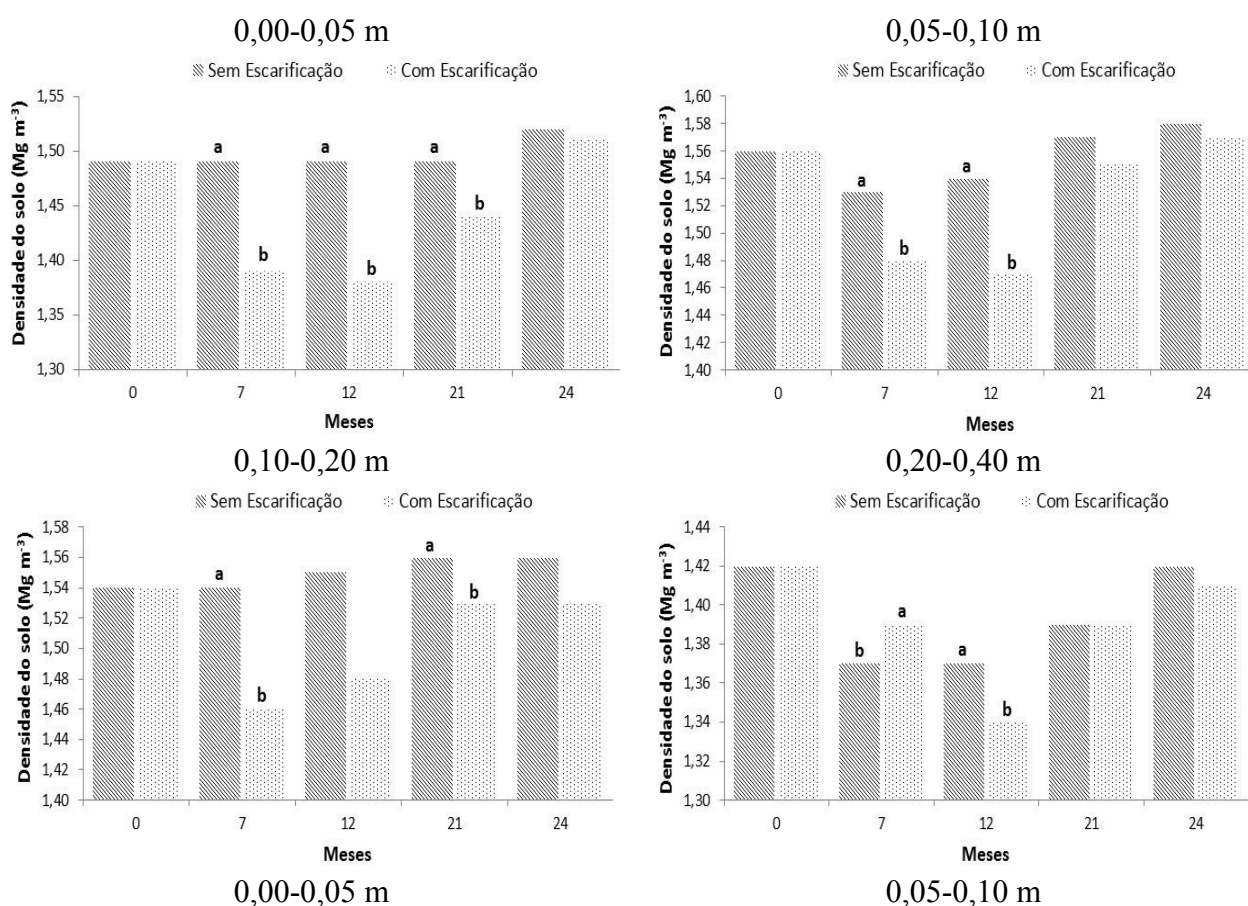
Analisando o desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para densidade do solo aos 21 meses na quarta camada do solo (Figura 47, d), verificou-se que a pré-safra de crotalária em SPD e *Urochloa* com solo escarificado em SPD resultaram em redução da densidade no subsolo.

Entretanto, Silveira et al. (2008), verificaram que SPD contínuo apresentou valores de densidade do solo mais elevados e menores valores de macroporosidade e de porosidade total em relação aos demais tratamentos. A densidade do solo no plantio direto contínuo tendeu a diminuir com o passar do tempo. Nesse sistema, a rotação de culturas que envolveu mais

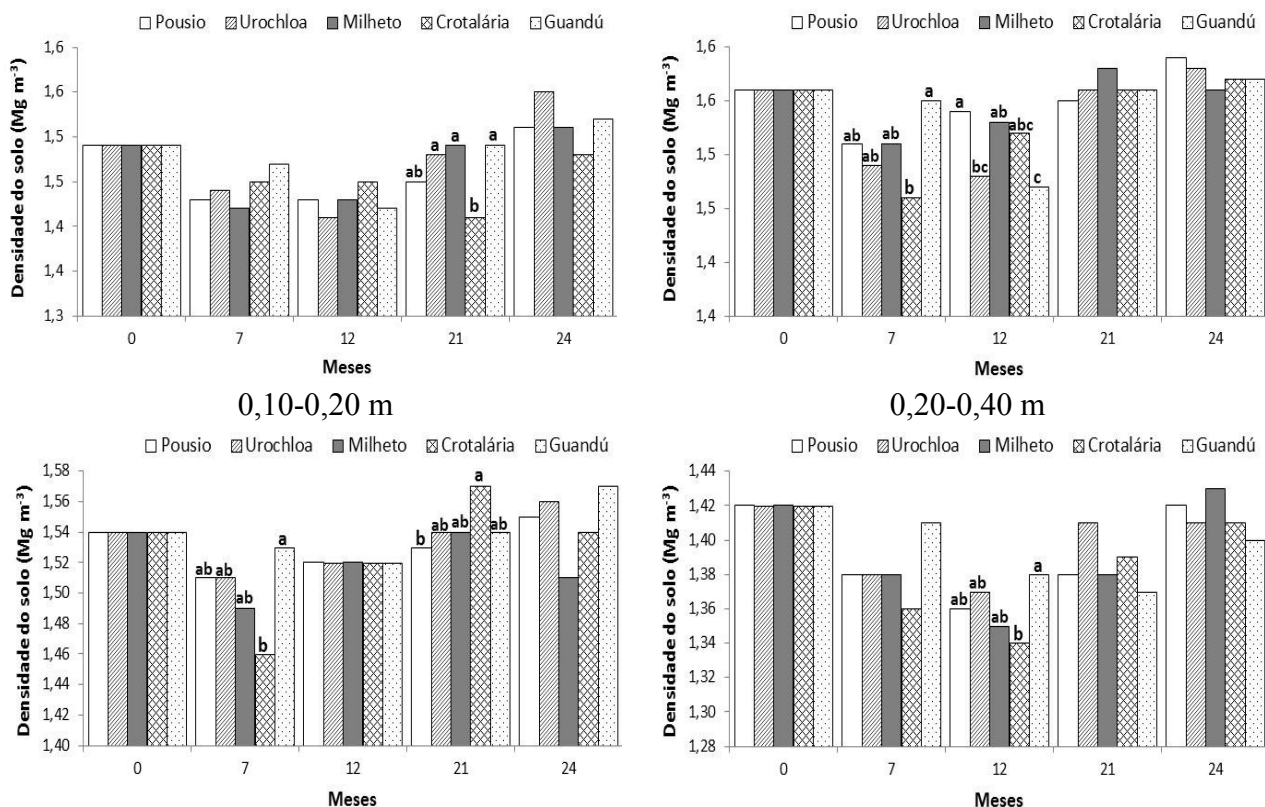
plantios de soja no verão, apresentou menor densidade e maior porosidade total do solo em relação a rotação que envolveu milho e milho.

Godoy et al. (2015), avaliando a correlação entre produtividade do arroz no SPD e atributos do solo, observaram que a densidade do solo apresentou valor médio abaixo da densidade considerada crítica para solos argilosos, que se situa entre 1,30 e 1,40  $\text{Mg m}^{-3}$  (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Já o valor máximo observado situou-se próximo ao limite superior. Esses limites correspondem aproximadamente à faixa de porosidade total de 0,47 a 0,51  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . O valor mínimo deste atributo foi 0,47  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . Beutler, Centurion e Roque (2004), em um Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, verificaram que a produtividade do arroz de terras altas foi reduzida de 34% quando a densidade do solo aumentou de 1,24 para 1,39  $\text{Mg m}^{-3}$  e a porosidade diminuiu de 0,48 para 0,44  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

**Figura 46.** Dinâmica da densidade do solo (Ds) nas camadas após manejo do solo nos dois anos.







Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 37** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da densidade no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

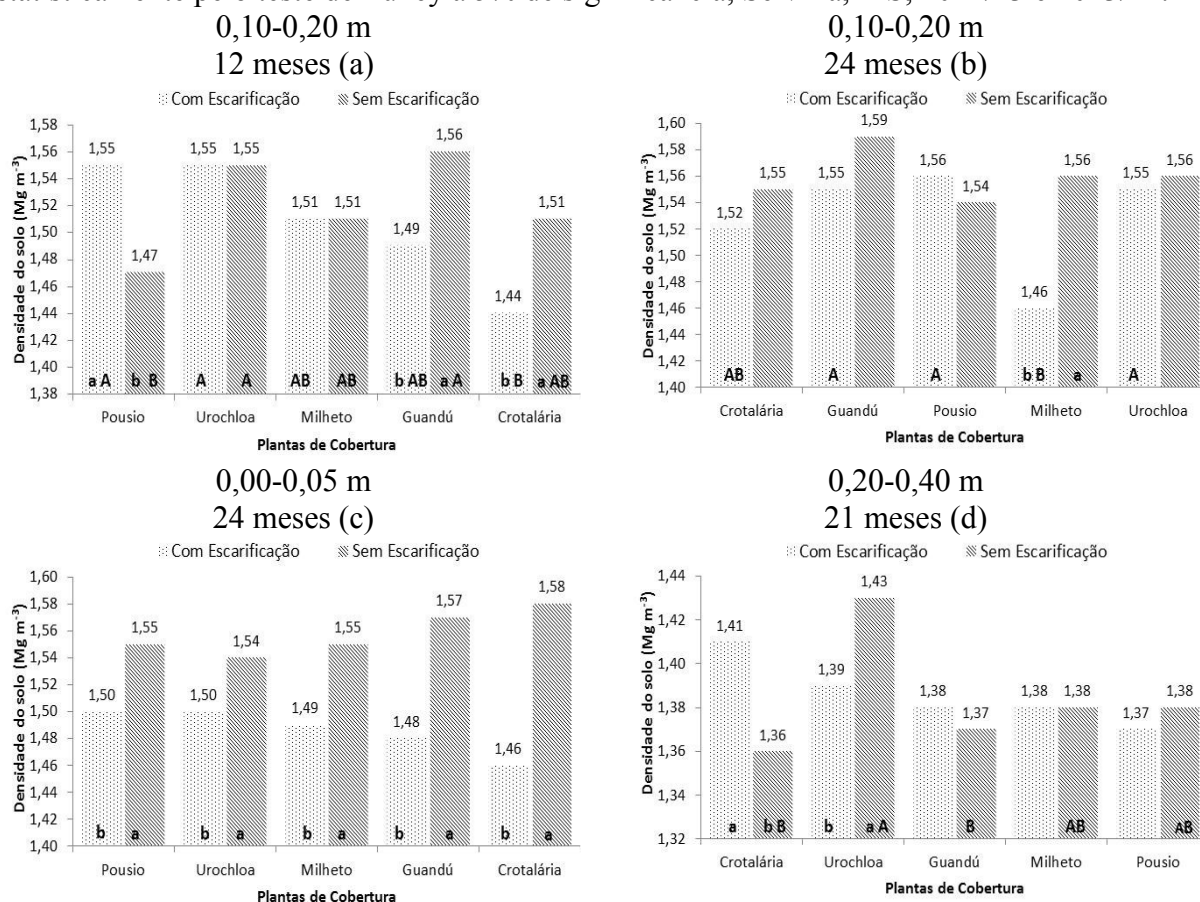
| Dinâmica da densidade do solo (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                       |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                  |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                   | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- Mg m <sup>-3</sup> -----                    |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                      |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                | -- | 22,22*             | 30,14*             | 8,30*              | 0,70 <sup>ns</sup> | --                               | 11,49*             | 26,40*             | 2,67 <sup>ns</sup> | 2,09 <sup>ns</sup> |
| PC                                                | -- | 0,71 <sup>ns</sup> | 0,61 <sup>ns</sup> | 3,97*              | 3,62*              | --                               | 3,19*              | 4,62*              | 0,54 <sup>ns</sup> | 0,87 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                             | -- | 0,37 <sup>ns</sup> | 2,24 <sup>ns</sup> | 1,36 <sup>ns</sup> | 4,36*              | --                               | 1,89 <sup>ns</sup> | 1,30 <sup>ns</sup> | 0,85 <sup>ns</sup> | 1,62 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                          |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                | -- | 0,0367             | 0,0350             | 0,0321             | --                 | --                               | 0,0298             | 0,0254             | --                 | --                 |
| PC                                                | -- | --                 | --                 | 0,0711             | --                 | --                               | 0,0660             | 0,0563             | --                 | --                 |
| CV(%)                                             | -- | 7,04               | 6,78               | 6,05               | 4,70               | --                               | 5,48               | 4,66               | 4,07               | 4,22               |
| 0,10-0,20 m                                       |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                      |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                | -- | 23,57*             | 66,59*             | 9,42*              | 7,94*              | --                               | 4,89*              | 9,53*              | 0,04 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>ns</sup> |
| PC                                                | -- | 2,47*              | 0,14 <sup>ns</sup> | 2,51*              | 3,66*              | --                               | 1,56 <sup>ns</sup> | 3,11*              | 2,23 <sup>ns</sup> | 0,72 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                             | -- | 0,90 <sup>ns</sup> | 2,47*              | 1,65 <sup>ns</sup> | 2,65*              | --                               | 0,34 <sup>ns</sup> | 0,50 <sup>ns</sup> | 2,53*              | 2,13 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                          |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                | -- | 0.0309             | --                 | 0.0191             | --                 | --                               | 0.025              | 0.0179             | --                 | --                 |

|       |    |        |      |        |      |    |      |        |      |      |
|-------|----|--------|------|--------|------|----|------|--------|------|------|
| PC    | -- | 0,0684 | --   | 0,0422 | --   | -- | --   | 0,0398 | --   | --   |
| CV(%) | -- | 5,70   | 3,11 | 3,41   | 3,90 | -- | 5,03 | 3,66   | 3,67 | 3,96 |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 47** - Desdobramento das interações para a densidade do solo, na camada de 0,00-0,05 (c), 0,10-0,20 (a; b), 0,20-0,40 (d) m, após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 38** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da densidade no solo, nas camadas estudadas aos 7, 12, 21 e 24 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM                | DM dentro de PC | CV   |
|--------|--------------------------------|-----------------|------|
|        | ----- Mg m <sup>-3</sup> ----- | -----           | (%)  |
| 47 a   | 0,0576                         | 0,0807          | 4,70 |
| 47 b   | 0,0412                         | 0,0577          | 3,67 |
| 47 c   | 0,0383                         | --              | 3,11 |
| 47 d   | 0,0488                         | 0,0683          | 3,41 |

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.6.4 Dinâmica da resistência do solo à penetração (RSP) no perfil durante dois anos

A escarificação mecânica do solo promoveu redução da RSP até aproximadamente 21 meses seguido de um pico de elevação aos 24 meses devido à reorganização das partículas do solo na primeira camada do solo. Observou-se maior RSP aos 7 meses, independente da escarificação, seguida de decréscimo aos 12 meses e posterior acréscimo até a última avaliação, com leve redução com escarificação aos 24 meses na segunda camada do solo. Houve maior RSP, principalmente em SPD a cerca de 7 meses seguida de queda constante aos 12 meses e posterior elevação aos 21 meses. A partir dessa avaliação constou-se redução da RSP aos 24 meses, com leves reduções com escarificação aos 12, 21 e 24 meses na terceira camada do solo, provavelmente após eliminação da zona de compactação que havia no início do experimento. Notou-se comportamento variável da RSP nas diferentes épocas de coleta de solo, com maior RSP aos 21 meses tanto com e sem escarificação na quarta camada do solo (Figura 48). Não houve diferença nas demais épocas e nas respectivas camadas do solo.

Plantas de cobertura se comportaram de maneira diferenciada com relação RSP do solo nas diferentes épocas de coleta e nas quatro camadas do solo (Figura 48), destacou-se o cultivo anterior de feijão guandu que apresentou menor RSP aos 21 meses na segunda camada do solo e aos 12 meses na terceira camada do solo. Foram observadas diferenças em algumas épocas nas respectivas camadas do solo, porém inconsistentes. Houve maior redução da RSP aos 12 meses em todas as camadas do solo.

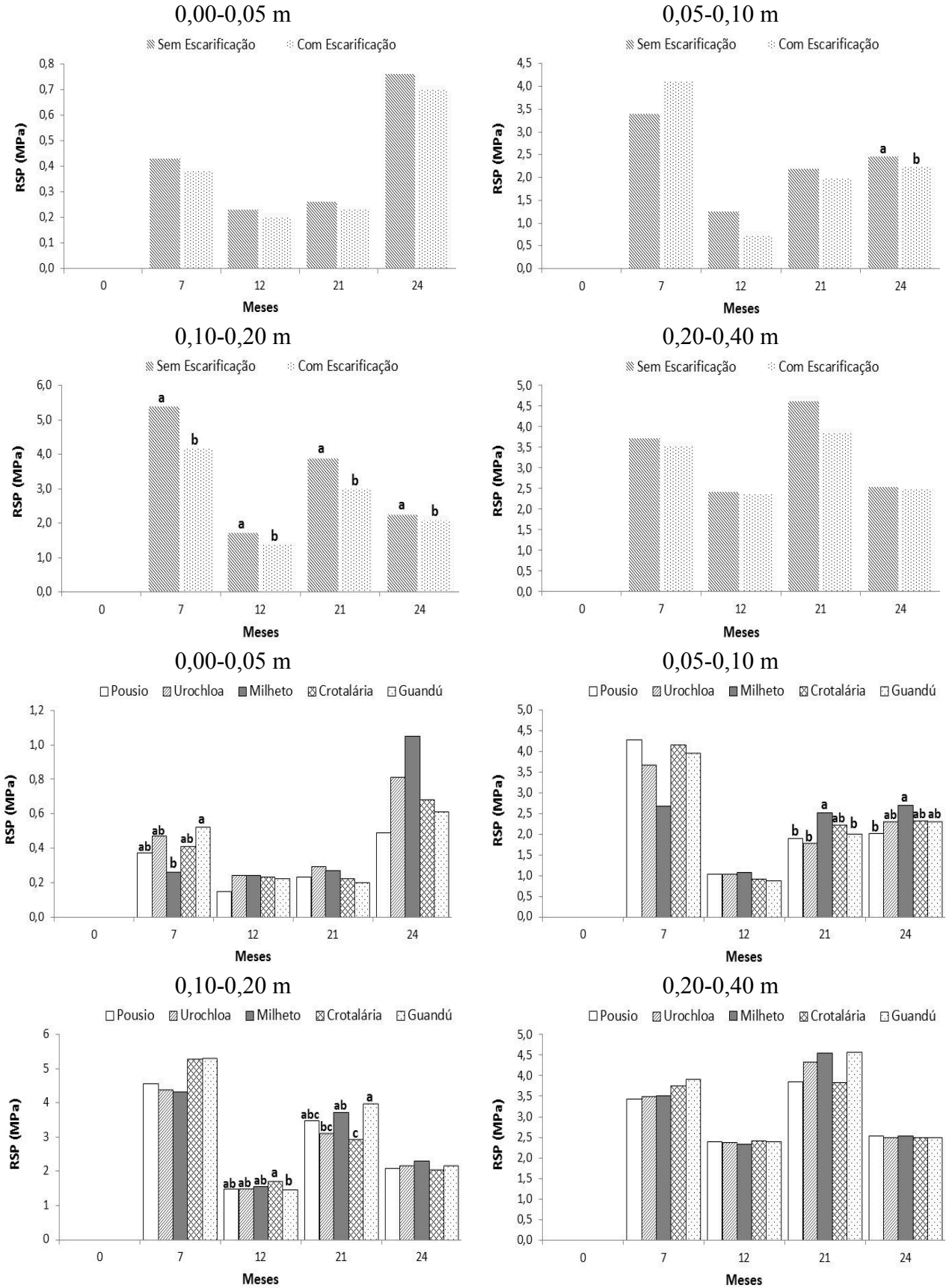
A RSP apresentou-se nos limites de classes muito baixa (< 1,0 MPa), baixa (1,1-2,5 MPa), média (2,6-5,0 MPa) e alta (5,0-10,0 MPa), de acordo com Canarache (1990), e oscilaram de 0,15 a 5,40 MPa, sendo que alguns autores como Koolen; Kuippers (1983) relatam a redução drástica das raízes com valores de RSP superiores a 3,0 MPa, entretanto

Canarache (1990) sugere valores acima de 2,5 MPa e Sene et al. (1985) consideram críticos valores de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e de 2,5 MPa para argilosos. Resultados semelhantes ao encontrados por Alves; Sousa (2003a), que verificaram sob vegetação de Cerrado natural valores da ordem de 1,27, 1,71 e 1,61 MPa nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, particularmente na avaliação de 12 meses (após colheita do feijão no primeiro ano) nas quatro camadas do solo que apresentaram valores próximos à condição sob vegetação de Cerrado natural. A partir desta época houve reorganização das partículas do solo devido a ciclos de umedecimento e secagem, ao impacto da gota da chuva e ao tráfego das máquinas agrícolas utilizadas na semeadura, colheita e tratos culturais das culturas sucedâneas (VEIGA et al. 2008; REICHERT et al. 2009b).

No desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para RSP aos 12, 21 e 24 meses na primeira camada do solo (Figura 49, a; b; c), notou-se muita variabilidade dos resultados após cultivos de plantas de cobertura independente da escarificação nessa camada, além disso, os valores apresentaram-se inferiores a 2,0 MPa, não proporcionando prejuízos ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas sucedâneas.

Em relação ao desdobramento da interação das plantas de cobertura dentro de descompactação mecânica e desta última dentro de plantas de cobertura para RSP aos 7 e 12 meses na segunda camada do solo (Figura 49, d; e), destacou-se os cultivos anteriores de guandu e milho com escarificação, que promoveram redução da RSP nas duas avaliações.

**Figura 48 - Dinâmica da resistência do solo a penetração (RSP) após manejo do solo nos dois anos.**



Fonte: Dados do próprio autor.

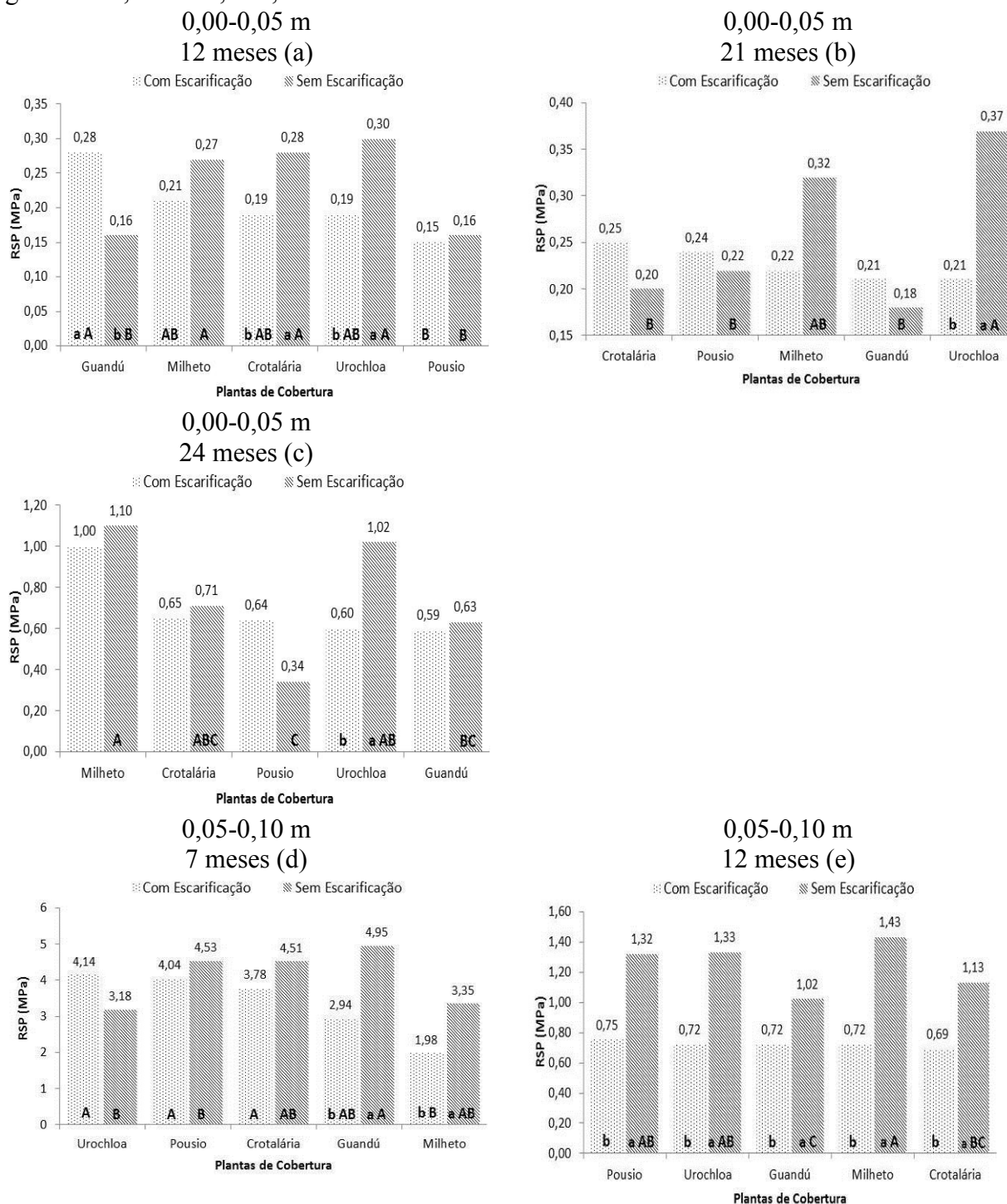
**Tabela 39** - Valores de F, DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da RSP no solo, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica da resistência do solo a penetração (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|------------------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                                      |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                                 |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                                  | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- MPa -----                                                  |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                                     |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                               | -- | 1,01 <sup>ns</sup> | 3,96*              | 1,71 <sup>ns</sup> | 0,86 <sup>ns</sup> | --                               | 7,67*              | 188,42*            | 3,57 <sup>ns</sup> | 4,14*              |
| PC                                                               | -- | 2,46*              | 4,96*              | 1,95 <sup>ns</sup> | 7,42*              | --                               | 4,83*              | 4,15*              | 6,22*              | 3,98*              |
| DMxPC                                                            | -- | 0,54 <sup>ns</sup> | 7,27*              | 3,03*              | 2,62*              | --                               | 3,60*              | 3,61*              | 1,46 <sup>ns</sup> | 1,54 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                               | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | 0,21               |
| PC                                                               | -- | 0,1117             | --                 | --                 | --                 | --                               | --                 | --                 | 0,46               | 0,47               |
| CV(%)                                                            | -- | 76,12              | 38,16              | 54,81              | 52,97              | --                               | 38,50              | 21,42              | 27,62              | 25,39              |
| 0,10-0,20 m                                                      |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Valores de F                                                     |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                               | -- | 20,77*             | 35,62*             | 41,88*             | 6,65*              | --                               | 1,41 <sup>ns</sup> | 2,39 <sup>ns</sup> | 32,74*             | 0,83 <sup>ns</sup> |
| PC                                                               | -- | 2,74 <sup>ns</sup> | 2,64*              | 7,54*              | 1,55 <sup>ns</sup> | --                               | 1,30 <sup>ns</sup> | 0,25 <sup>ns</sup> | 5,59*              | 0,08 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                            | -- | 2,09 <sup>ns</sup> | 1,16 <sup>ns</sup> | 1,09 <sup>ns</sup> | 0,79 <sup>ns</sup> | --                               | 0,74 <sup>ns</sup> | 0,83 <sup>ns</sup> | 2,93*              | 0,46 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                                         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                               | -- | 0,5371             | 0,1094             | 0,27               | 0,14               | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| PC                                                               | -- | --                 | 0,2421             | 0,61               | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)                                                            | -- | 31,02              | 19,73              | 22,11              | 17,70              | --                               | 24,88              | 10,84              | 17,93              | 12,22              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 49** - Desdobramento das interações para a RSP do solo, na camada de 0,00-0,05 (a, b, c), 0,05-0,10 (d; e) m, após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 40** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a dinâmica da RSP no solo, nas camadas 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m aos 7, 12, 21 e 24 meses, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM | DM dentro de PC | CV    |
|--------|-----------------|-----------------|-------|
|        | ----- MPa ----- | -----           | %     |
| 49 a   | 0,067           | 0,094           | 38,16 |
| 49 b   | 0,107           | 0,150           | 54,81 |
| 49 c   | 0,312           | 0,437           | 52,97 |
| 49 d   | 1,166           | 1,633           | 38,50 |
| 49 e   | 0,170           | 0,238           | 21,42 |

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.6.5 Dinâmica da resistência do solo à penetração (RSP) no perfil durante dois anos

Analizando os resultados da RSP nos cultivos de PC na ausência de escarificação do solo aos 7 meses após a descompactação mecânica (Figura 50) observou-se comportamento diferenciado entre as PC até 0,30 m de profundidade com presença de zona de compactação na camada de 0,08-0,20 m do solo. Isso devido ao manejo inadequado do solo com intenso tráfego de máquinas e equipamentos na superfície do solo, aliado ao não revolvimento do solo e desprezando os estádios de umidade adequada para tráfego. Além disso, devido ausência de planejamento de práticas conservacionistas de solo e sucessão de culturas adequada. O solo sob guandu sem escarificação apresentou zona de maior compactação do solo. Comportamento semelhante, porém com menor magnitude, ocorreram no solo sob crotalaria e pousio em SPD. No solo sob *Urochloa* e milho em SPD houve comportamento mais homogêneo no perfil do solo. Após escarificação mecânica do solo (Figura 50), notou-se que os cultivos das PC apresentaram comportamento mais homogêneo na RSP, todavia com valores de RSP oscilando nos limites de classes média (2,6-5,0 MPa), segundo Canarache (1990), com ausência zona de compactação de solo.

Após 12 meses notou-se que as plantas de cobertura, independente da escarificação apresentaram comportamento homogêneo e semelhante no perfil do solo (Figura 50), com redução de 50% nos valores de RSP do que a primeira avaliação. A RSP foi superior a 2,0 MPa após profundidade de 0,18 m em SPD e 0,26 m com escarificação, sem zona de compactação. O cultivo anterior de guandu em SPD promoveu menor RSP no perfil do solo. Esse comportamento foi correspondente às plantas de cobertura romperem a camada superficial compactada e proporcionar adição de matéria orgânica no perfil do solo decorrente



da incorporação de biomassa, principalmente com escarificação, seguida de cultivo do arroz e feijão, nesse sentido resultaram em melhorias na RSP e no desenvolvimento e penetração do sistema radicular das culturas sucedâneas, correspondendo em produtividade do feijão em sucessão a cultivos de milho (2.158 kg ha<sup>-1</sup>) e crotalária (2.381 kg ha<sup>-1</sup>) com escarificação.

Aos 21 meses verificou-se que as PC, independente da escarificação apresentaram comportamento mais homogêneo e semelhante entre si na RSP no perfil do solo (Figura 50). O cultivo antecessor de crotalária independente da escarificação proporcionou menor RSP após a profundidade 0,10 m. Vale ressaltar que a RSP foi superior a 2,0 MPa após profundidade de 0,08 m com e sem escarificação. Isso ocorreu pelo acomodamento das partículas do solo relacionado ao tráfego das máquinas agrícolas utilizadas na semeadura, colheita e tratos culturais, o que conferiu maior compactação ao longo do perfil do solo em relação à segunda avaliação, entretanto não influenciaram nas produtividades do arroz, com leve decréscimo do segundo para o primeiro ano, destacando-se os cultivos de guandu (5.614 e 4.143 kg ha<sup>-1</sup>) e crotalária (5.024 e 4.204 kg ha<sup>-1</sup>), em 2013/14 e 2012/13, respectivamente.

Nos 24 meses, verificou-se que as PC, independente da escarificação apresentaram comportamento homogêneo e semelhante entre si, exceto o milho na camada 0,05-0,10 m do solo, principalmente com escarificação (Figura 50). Os valores de RSP oscilaram de 2,5 a 3,0 MPa no perfil.

O manejo do solo com descompactação mecânica e/ou cultivos anteriores de plantas de cobertura na primavera, seguido de culturas em sucessão promoveram melhorias na RSP no perfil do solo após 24 meses, eliminando a zona de compactação inicial, após o cultivo do arroz na safra 2012/13 e melhorou de forma permanente e consistente os valores de RSP e resultaram em acréscimos na produtividade do feijão em 2014 em relação a 2013, destacando-se o milho (2.714 e 2.158 kg ha<sup>-1</sup>) e crotalária (2.343 e 2.381 kg ha<sup>-1</sup>) com escarificação, em 2014 e 2013, respectivamente.

A compactação do solo aumenta a resistência à penetração dos solos e diminui sua permeabilidade ao ar e à água (VEIGA et al., 2008; SILVA et al., 2009), o que pode levar à concentração das raízes na camada superficial do solo (CAVALIERI et al., 2006; SECCO et al., 2009), com reflexos negativos sobre o volume de solo explorado e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (SECCO et al., 2009). Na região de Cerrado de baixa altitude, especificamente Sul-Matogrossense, safras agrícolas têm sido frustradas pela degradação associada a solos manejados em sistema plantio direto, em razão do comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular.

A escarificação vem sendo adotada para minimizar a compactação de solos manejados sob plantio direto (CAMARA; KLEIN, 2005; COLLARES et al., 2008). Segundo esses autores, a técnica reduz a densidade do solo e a sua resistência à penetração, e aumenta a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água. A persistência desses efeitos, porém, tem sido questionada (PRANDO et al., 2010; SILVA et al., 2012), especialmente porque ainda são escassos os estudos com mais de um ano de duração que avaliem a persistência do efeito da escarificação sobre parâmetros de planta e atributos físicos do solo. A escarificação do solo, no entanto, pois envolve mobilização intensa de solo, maior tráfego de máquinas e de implementos agrícolas, além de maior custo de produção (BERTOLINI; GAMERO, 2010). Portanto, é importante que se avalie a persistência de seus efeitos em remediar restrições ao desenvolvimento radicular das plantas, em áreas sob SPD.

**Figura 50** - Médias do comportamento da RSP nas cinco PCs, em 12 repetições, até profundidade de 0,40 m em SPD, após DM do solo em agosto/2012 e cultivos de PCs-arroz(7 meses)-feijão(12 meses)-PC-arroz(21 meses)-feijão(24 meses), Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

**Meses após descompactação mecânica do solo**

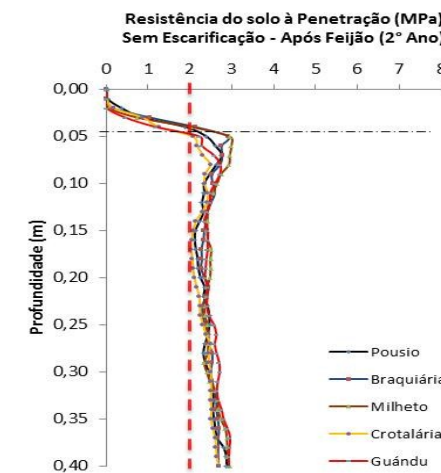
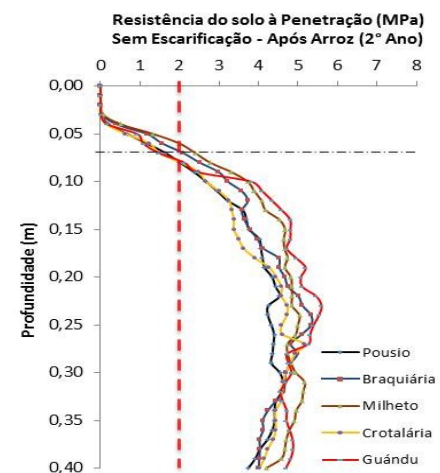
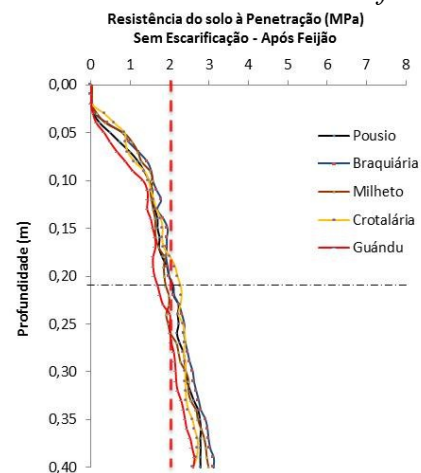
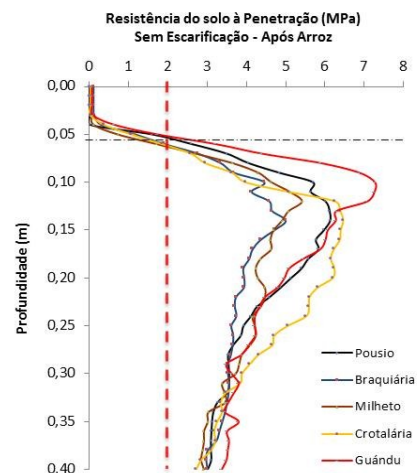
7

12

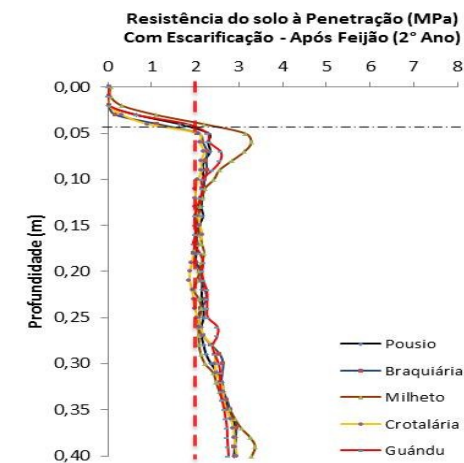
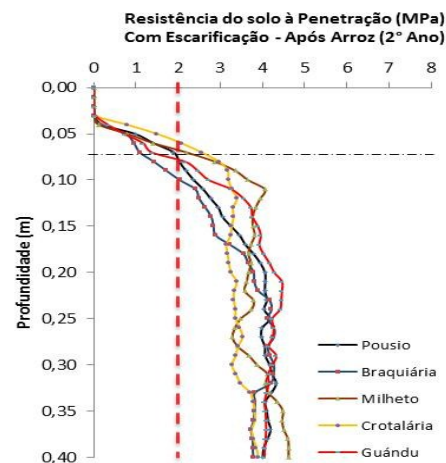
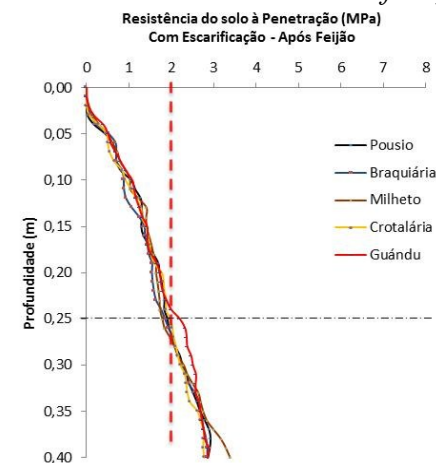
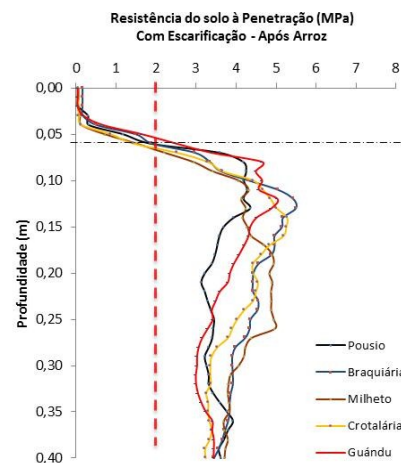
21

24

*Sem escarificação mecânica do solo*



*Com escarificação mecânica do solo*



**Fonte:** Dados do próprio autor.

#### **4.6.6 Dinâmica da umidade grávimétrica ( $U_g$ ) do solo no momento da RSP no perfil do solo nos dois anos**

O SPD promoveu maior conteúdo de água do solo aos 7 meses na segunda camada e aos 21 meses na terceira camada do solo (Tabela 41).

Em relação à dinâmica da umidade do solo após cultivo de plantas de cobertura para diferentes épocas de coleta de solo e nas quatro camadas do solo (Tabela 41), verificou-se que os cultivos antecessores de milho e guandu promoveram maior conteúdo de água do solo no momento da RSP na segunda e terceira camada do solo.

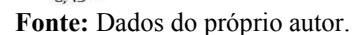
Notou-se que a descompactação mecânica do solo e cultivos de plantas de cobertura na entressafra apresentaram comportamento semelhantes e/ou pequenas diferenças nas diferentes épocas e algumas camadas de solo para umidade do solo no momento da RSP, entretanto, não influenciaram nas avaliações de RSP e oscilaram de 0,16 a 0,21  $\text{kg kg}^{-1}$  (64% a 84% da CC), 0,23 a 0,24  $\text{kg kg}^{-1}$  (92% a 96% da CC), 0,16 a 0,21  $\text{kg kg}^{-1}$  (70% a 91% da CC), 0,22 a 0,23  $\text{kg kg}^{-1}$  (96% a 100% da CC), nas avaliações de 7, 12, 21 e 24 meses, respectivamente, da capacidade de campo (CC) do solo (0,225  $\text{kg kg}^{-1}$ ), segundo Montanari (2009), no mesmo tipo de solo e condições climáticas, apresentando-se dentro do valor limite de 1/3 ou 33% abaixo da CC do solo, segundo Kiehl (1979) considerado adequado para avaliação de RSP.

**Tabela 41** - Dinâmica da umidade gravimétrica (Ug) do solo no momento da RSP, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Dinâmica da Ug no momento da RSP (2012/13 e 2013/14) |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
|------------------------------------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,00-0,05 m                                          |    |                    |                    |                    |                    | 0,05-0,10 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Meses após escarificação do solo                     |    |                    |                    |                    |                    | Meses após escarificação do solo |                    |                    |                    |                    |
|                                                      | 0  | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 | 0                                | 7                  | 12                 | 21                 | 24                 |
| ----- kg kg <sup>-1</sup> -----                      |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Descompactação mecânica do solo (DM)                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Sem                                                  | -- | 0,16               | 0,24               | 0,22               | 0,20               | --                               | 0,18 a             | 0,23 b             | 0,22               | 0,20               |
| Com                                                  | -- | 0,16               | 0,24               | 0,22               | 0,20               | --                               | 0,17 b             | 0,23 a             | 0,22               | 0,20               |
| Plantas de cobertura (PC)                            |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Pousio                                               | -- | 0,17               | 0,24               | 0,22               | 0,21               | --                               | 0,19bc             | 0,22 b             | 0,24 a             | 0,20               |
| Urochoa                                              | -- | 0,15               | 0,24               | 0,23               | 0,22               | --                               | 0,17ab             | 0,23ab             | 0,21 b             | 0,20               |
| Milheto                                              | -- | 0,17               | 0,25               | 0,23               | 0,20               | --                               | 0,18abc            | 0,24 a             | 0,21b              | 0,20               |
| Crotalária                                           | -- | 0,15               | 0,24               | 0,21               | 0,20               | --                               | 0,16 c             | 0,23ab             | 0,21b              | 0,19               |
| Guandu                                               | -- | 0,17               | 0,25               | 0,21               | 0,20               | --                               | 0,19 a             | 0,23ab             | 0,21b              | 0,19               |
| Valores de F                                         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                   | -- | 1,58 <sup>ns</sup> | 0,83 <sup>ns</sup> | 2,13 <sup>ns</sup> | 0,06 <sup>ns</sup> | --                               | 5,43*              | 8,48*              | 0,89 <sup>ns</sup> | 0,75 <sup>ns</sup> |
| PC                                                   | -- | 3,60*              | 1,84 <sup>ns</sup> | 1,51 <sup>ns</sup> | 2,25 <sup>ns</sup> | --                               | 6,42*              | 4,09*              | 5,59*              | 0,75 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                | -- | 3,04*              | 2,10 <sup>ns</sup> | 1,51 <sup>ns</sup> | 0,36 <sup>ns</sup> | --                               | 1,41 <sup>ns</sup> | 2,26 <sup>ns</sup> | 8,80 <sup>ns</sup> | 0,44 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                   | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | 0,0084             | 0,0063             | --                 | --                 |
| PC                                                   | -- | --                 | --                 | --                 | --                 | --                               | 0,0188             | 0,0143             | 0,022              | --                 |
| CV(%)                                                | -- | 9,43               | 7,16               | 9,36               | 6,61               | --                               | 7,19               | 4,26               | 6,89               | 6,51               |
| 0,10-0,20 m                                          |    |                    |                    |                    |                    | 0,20-0,40 m                      |                    |                    |                    |                    |
| Descompactação mecânica do solo (DM)                 |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Sem                                                  | -- | 0,20               | 0,23               | 0,22 a             | 0,19               | --                               | 0,22               | 0,24               | 0,23               | 0,20               |
| Com                                                  | -- | 0,19               | 0,23               | 0,21 b             | 0,20               | --                               | 0,22               | 0,24               | 0,22               | 0,20               |
| Plantas de cobertura (PC)                            |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| Pousio                                               | -- | 0,20ab             | 0,23               | 0,20 b             | 0,19               | --                               | 0,22               | 0,24               | 0,23               | 0,20               |
| Urochoa                                              | -- | 0,19 b             | 0,23               | 0,22ab             | 0,19               | --                               | 0,22               | 0,24               | 0,24               | 0,20               |
| Milheto                                              | -- | 0,19ab             | 0,24               | 0,23 a             | 0,19               | --                               | 0,22               | 0,25               | 0,25               | 0,20               |
| Crotalária                                           | -- | 0,19 b             | 0,23               | 0,21ab             | 0,21               | --                               | 0,22               | 0,24               | 0,23               | 0,20               |
| Guandu                                               | -- | 0,21 a             | 0,23               | 0,21ab             | 0,19               | --                               | 0,22               | 0,24               | 0,21               | 0,20               |
| Valores de F                                         |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                   | -- | 3,67 <sup>ns</sup> | 0,00 <sup>ns</sup> | 5,39*              | 11,10*             | --                               | 0,15 <sup>ns</sup> | 1,19 <sup>ns</sup> | 6,84*              | 1,04 <sup>ns</sup> |
| PC                                                   | -- | 3,43*              | 0,53 <sup>ns</sup> | 2,94*              | 8,09*              | --                               | 0,83 <sup>ns</sup> | 1,18 <sup>ns</sup> | 7,08*              | 0,55 <sup>ns</sup> |
| DMxPC                                                | -- | 1,76 <sup>ns</sup> | 0,37 <sup>ns</sup> | 0,93 <sup>ns</sup> | 5,96*              | --                               | 0,29 <sup>ns</sup> | 1,60 <sup>ns</sup> | 4,11*              | 1,04 <sup>ns</sup> |
| DMS (5%)                                             |    |                    |                    |                    |                    |                                  |                    |                    |                    |                    |
| DM                                                   | -- | --                 | --                 | 0,0119             | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| PC                                                   | -- | 0,0205             | --                 | 0,0269             | --                 | --                               | --                 | --                 | --                 | --                 |
| CV(%)                                                | -- | 7,24               | 4,73               | 8,57               | 4,46               | --                               | 5,42               | 4,87               | 6,91               | 6,22               |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Fonte: Elaboração do autor.



#### 4.7 DINÂMICA DA PRODUTIVIDADE DE MATÉRIA SECA (MS) NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE COBERTURA, GRÃOS DO ARROZ DE TERRAS ALTAS E DO FEIJÃO “DE INVERNO” NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE.

Houve decréscimo constante da produtividade de MS da parte aérea das plantas de cobertura em todos os tratamentos do primeiro em relação ao segundo ano, exceto para o cultivo de milheto (Figura 52). Destacou-se a pré-safra de milheto, independente da escarificação que resultou em maior incremento na produtividade de MS na parte aérea nos dois anos (Figura 52 e 53).

Ocorreu menor da produtividade do arroz de terras altas em todos os tratamentos do primeiro em relação ao segundo ano de cultivo. A escarificação mecânica do solo, assim como, o cultivo anterior de guandu resultaram em incrementos da produtividade do arroz de terras altas no primeiro ano, todavia não influenciaram na produtividade do arroz de terras altas no segundo ano (Figura 52).

Notou-se acréscimo da produtividade do feijão “de inverno” em todos os tratamentos do primeiro em relação ao segundo ano de cultivo. Os cultivos antecessores de crotalária e milheto com escarificação resultaram em maiores incrementos de produtividade do feijão “de inverno” nos dois anos. (Figura 52 e 53).

Outros autores obtiveram resultados semelhantes. Secco; Reinert (1997) observaram aumento da produtividade de grãos de milho no solo escarificado em relação ao SPD. Ferreras et al. (2001) obtiveram produtividade de soja 47,88 % inferior no SPD em relação ao SPD com escarificação mecânica e atribuíram essa redução ao menor desenvolvimento radicular em função da resistência mecânica que afeta a absorção de água e nutrientes. Klein et al. (2004) obtiveram produtividade do milho em SPD com escarificação mecânica do solo superior em 805 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao SPD.

Esses dados corroboram os resultados de Erickson (1982) e Stepniewski, Glinski e Ball (1994) de que o manejo do solo é capaz de melhorar a difusão de gases no solo. Nesse caso, a escarificação mecânica do solo, após seis anos sob PD, foi capaz de melhorar as condições físico-hídricas do solo para o desenvolvimento das plantas. Já Klein et al. (2008), avaliando a porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e produtividade de trigo em SPD escarificado, concluíram que escarificação mecânica do solo sob sistema plantio direto há seis anos aumentou a produtividade de grãos de trigo semeado sete meses após a escarificação e diminuiu a densidade e a densidade relativa do solo, aumentando a porosidade total e a porosidade livre de água durante o ciclo da cultura do trigo.

Os resultados desta pesquisa foram semelhantes aos obtidos por Kappes (2012), que notou que a utilização de crotalaria e de consórcio (milheto + crotalaria) como antecessoras, associada à aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura do milho sob SPD, proporcionou maior produtividade da cultura.

Para Secco et al. (2004), a escarificação anual ou a cada três anos não altera a produtividade da soja e do milho em SPD. Klein; Camara (2007) também relataram que a escarificação de um Latossolo Vermelho, embora melhore a condição física do solo, não aumenta a produtividade da soja em comparação ao obtido em solo não escarificado.

No entanto, Secco et al. (2009) constataram que a escarificação mecânica aumenta a produtividade de grãos de milho e trigo em SPD, na comparação com o solo sob SPD sem escarificação. Klein et al. (2008) observaram que a escarificação em solo manejado há seis anos sob plantio direto aumentou a produtividade de grãos de trigo semeado sete meses após a escarificação. A divergência de resultados possivelmente deve-se ao fato de a produtividade das plantas não ser função apenas do solo, o que faz com que a melhor condição física do solo não resulte, necessariamente, em maior produtividade. Collares et al. (2008) verificaram que a escarificação de Latossolo Vermelho manejado sob plantio direto favoreceu o crescimento radicular e aumentou a área foliar e a altura de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), mas não afetou a produtividade da cultura.

Nunes et al. (2014) verificaram que os efeitos positivos da escarificação sobre os atributos físicos do solo e sobre o desenvolvimento radicular das plantas de milho não persistem por mais de 18 meses. A escarificação do solo não proporciona melhoria efetiva e duradoura à estrutura de solos argilosos sob SPD.

Diferenças nas produtividades podem ser reflexos das melhorias na qualidade física, química e biológica, associados ao grande aporte de matéria orgânica e de nutrientes ao solo, principalmente de N, conforme relatado por Spagnollo et al. (2002) num Latossolo Vermelho, nos sistemas com leguminosas de maior produção de matéria seca. Assim, em áreas com camadas superficiais compactadas, elevada acidez e baixa fertilidade do solo como a deste estudo, a introdução dessas espécies contribui para melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade das culturas comerciais.

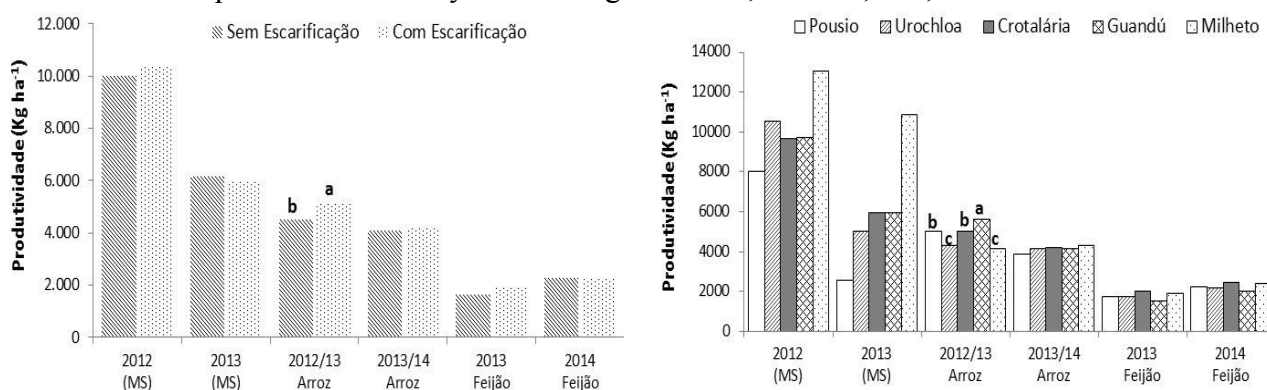
No sistema plantio direto, a compactação tem sido constatada na camada superficial (ALVES; SUZUKI, 2004). Em alguns locais, reduz a produtividade das culturas (LETEY, 1985; ISHAQ et al., 2001). Efeitos mais pronunciados desse problema são observados quando o solo é cultivado sob sucessão de culturas. Em sistemas com rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, pode melhorar a qualidade química (BAYER; MIELNICZUK, 1997a;



BAYER; MIELNICZUK; PAVINATO, 1998) e física do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; TORMENA et al., 2004; ARGENTON et al., 2005), mas, a curto prazo, isso não foi observado por Genro Junior, Reinert e Reichert (2004).

Diante disso, recomenda-se a prática de escarificação mecânica em Latossolos no Cerrado, desde que alicerçada com adoção de um planejamento da sucessão/rotação de culturas comerciais adequada para região e cultivos de plantas de cobertura (gramíneas e leguminosas) na entressafra para contribuir na maior persistência dos efeitos da escarificação mecânica na desagregação e rompimento da camada compactada do solo bem como proporcionar melhorias positivas nos atributos físicos e químicos do solo e ascrescimos e/ou manutenção da produtividade das culturas comerciais sucedâneas, principalmente na região do Cerrado Sul-Matogrossense.

**Figura 52** - Comportamento da descompactação mecânica do solo (2 anos) e cultivos sucessivos de PC (2 anos) na produção de MS na parte aérea das PC, produtividade de grãos do arroz de terras altas e feijão de inverno em sucessão, em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, e maiúscula, para DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.



Fonte: Dados do próprio autor.

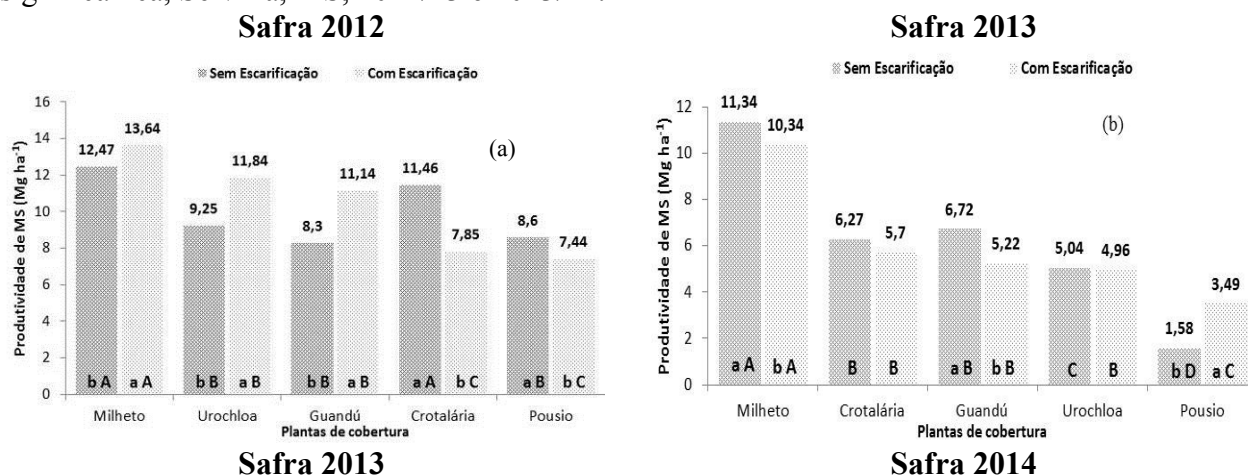
**Tabela 42** - Valores de F, DMS (5%) e coeficiente de variação (CV) para produtividade de MS na parte aérea das PC, produtividade de grãos do arroz e feijão em sucessão, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

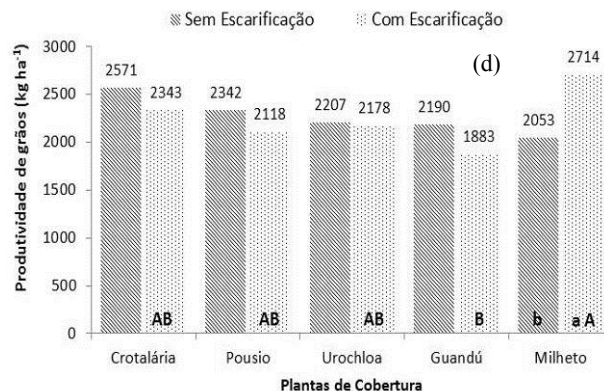
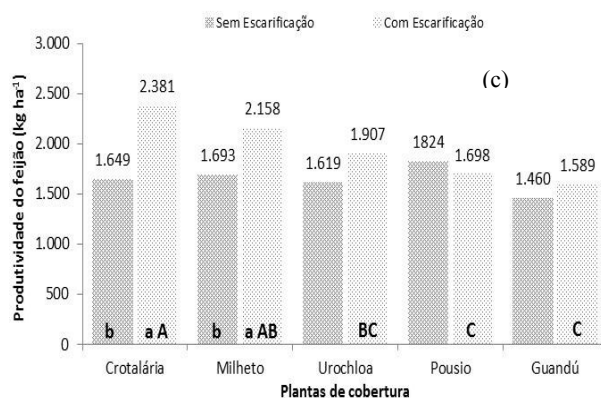
|                     | MS                              |                    | Produtividade de grãos          |                    |        |                    |
|---------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|--------|--------------------|
|                     | ----- Mg ha <sup>-1</sup> ----- |                    | ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |                    |        |                    |
|                     | (68 DAS)                        | (63 DAS)           | Arroz                           | Arroz              | Feijão | Feijão             |
|                     | 2012                            | 2013               | 2012/13                         | 2013/14            | 2013   | 2014               |
| <b>Valores de F</b> |                                 |                    |                                 |                    |        |                    |
| DM                  | 2,69 <sup>ns</sup>              | 1,85 <sup>ns</sup> | 22,86*                          | 1,51 <sup>ns</sup> | 18,97* | 0,08 <sup>ns</sup> |
| PC                  | 52,22*                          | 219,77*            | 21,58*                          | 2,26 <sup>ns</sup> | 6,02*  | 2,58 <sup>ns</sup> |
| DM x PC             | 28,46*                          | 10,46*             | 2,04 <sup>ns</sup>              | 1,87 <sup>ns</sup> | 4,56*  | 3,74*              |
| <b>DMS (5%)</b>     |                                 |                    |                                 |                    |        |                    |
| DM                  | --                              | --                 | 236,56                          | --                 | --     | --                 |
| PC                  | --                              | --                 | 532,60                          | --                 | --     | --                 |
| <b>CV(%)</b>        | 7,09                            | 9,49               | 7,57                            | 7,35               | 12,01  | 12,86              |

Nota: <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 53.** Desdobramento das interações referente a produção de massa seca (MS) da parte aérea das Plantas de cobertura (PC), em 2012 (a) e 2013 (b), e produtividade de grãos do feijão em 2013 (c) e 2014 (d), após descompactação mecânica do solo (1º ano) em Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 12 anos. Médias seguidas de mesma letra minúscula, para PC dentro de DM, e maiúscula, na DM dentro de PC, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.





Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 43** - Valores de DMS (5%) e CV (%) para a produtividade de MS na parte aérea das PC e produtividade de grãos do feijão, após descompactação mecânica e cultivos de PC-arroz (7 meses)-feijão (12 meses)-PC-arroz (21 meses)-feijão (24 meses) no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13 e 2013/14.

| Figura | PC dentro de DM            | DM dentro de PC            | CV (%) |
|--------|----------------------------|----------------------------|--------|
| 53 a   | 1,05 Mg ha <sup>-1</sup>   | 1,49 Mg ha <sup>-1</sup>   | 7,09   |
| 53 b   | 0,84 Mg ha <sup>-1</sup>   | 1,19 Mg ha <sup>-1</sup>   | 9,49   |
| 53 c   | 313,31 kg ha <sup>-1</sup> | 416,12 kg ha <sup>-1</sup> | 12,01  |
| 53 d   | 421,71 kg ha <sup>-1</sup> | 600,47 kg ha <sup>-1</sup> | 12,86  |

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 DINÂMICA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, APÓS DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA, SEGUIDA DE CULTIVO DO ARROZ E FEIJÃO EM SUCESSÃO NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE

- A descompactação mecânica e biológica do solo na entressafra, seguida de cultivo do arroz e feijão, proporcionou adição e estabilidade da matéria orgânica, CTC e estoque total de carbono do solo até a profundidade de 0,40 m, além disso, resultou em redução da acidez e maior disponibilidade de P e bases trocáveis (Ca, Mg e K), com reflexos positivos na SB, CTC e V até 0,20 m de profundidade, e promoveu lixiviação intensa do S, com acúmulo na camada de 0,20-0,40 m do solo;

### 5.2 DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, APÓS DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA, SEGUIDA DE CULTIVO DO ARROZ E FEIJÃO EM SUCESSÃO NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE

- A descompactação mecânica e biológica do solo na entressafra, seguida de cultivo de arroz e feijão em sucessão, resultou em melhorias nos atributos físicos, como aumento da porosidade total e de aeração, e redução da densidade e da resistência do solo à penetração até 0,20 m, após 24 meses.

- A pré-safra de *Urochloa ruziziensis*, *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan* com escarificação promoveram aumento da macroporosidade no perfil do solo; a palhada do milheto, independente da escarificação, resultou em baixa condutividade térmica do solo abaixo 0,05 m de profundidade.

### 5.3 DINÂMICA DA PRODUTIVIDADE DE MS NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE COBERTURA, GRÃOS DO ARROZ DE TERRAS ALTAS E DO FEIJÃO “DE INVERNO” NO CERRADO SUL-MATOGROSSENSE

- A espécie de *Pennisetum glaucum*, independente da escarificação, promoveu maior incremento na produtividade de matéria seca na parte aérea; a escarificação mecânica do solo e/ou entressafra de guandu proporcionaram incrementos na produtividade do arroz, no primeiro ano; a pré-safra de *Crotalaria juncea* e *Pennisetum glaucum* com escarificação, seguida do cultivo de arroz, proporcionaram maiores incrementos de produtividades do feijão.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 SUBPROJETO 1. ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE COBERTURA EM SPD EM ÁREAS COMPACTADAS.

- A espécie de *Pennisetum glaucum*, independente da escarificação, promoveu maior produtividade de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea bem como maior persistência de resíduos vegetais.

- A *Urochloa ruziziensis* e *Cajanus cajan*, independente da escarificação, apresentaram potencial de produtividade de matéria seca e acúmulo de alguns macronutrientes na parte aérea, todavia com menor persistência de resíduos vegetais.

### 6.2 SUBPROJETO 2 - ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS

- A entressafra de *Pennisetum glaucum*, independente da escarificação, resultou em melhorias com mais frequência nas características agronômicas e produtivas do arroz.

- A escarificação mecânica do solo, assim como, o cultivo anterior de *Cajanus cajan* proporcionaram maiores produtividades do arroz, no primeiro ano, todavia não influenciaram na produtividade do arroz no segundo ano.

### 6.3 SUBPROJETO 3 - ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA E COBERTURAS VEGETAIS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO “DE INVERNO” IRRIGADO EM SUCESSÃO A CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS

- A pré-safra de *Cajanus cajan*, independente da escarificação, e *Pennisetum glaucum* com escarificação, seguida de cultivo do arroz, promoveram melhorias com mais frequência nas características agronômicas e produtivas do feijão em sucessão.

- Os cultivos antecessores de *Crotalaria juncea* e *Pennisetum glaucum* com escarificação, seguida de cultivo do arroz, proporcionaram incrementos na produtividade do feijão “de inverno” em sucessão.

#### 6.4 ALTERAÇÕES OCORRIDAS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO APÓS SUBPROJETOS 2 E 3 NO CERRADO SUL-MATOGRESENSE

- A pré-safra de *Pennisetum glaucum*, *Crotalaria juncea* e *Urochloa ruziziensis* independentes da escarificação proporcionaram melhorias com mais frequência nos atributos químicos no perfil do solo.

- A escarificação mecânica do solo promoveu maior porosidade total e aeração e reduziu a densidade e a resistência do solo à penetração até a profundidade de 0,20 m.

- A entressafra de *Crotalaria juncea* e *Urochloa ruziziensis* com escarificação resultou em melhorias com mais frequência nos atributos físicos no perfil do solo.

- As palhadas de *Pennisetum glaucum* e *Cajanus cajan*, independente da escarificação proporcionaram condutividade térmica baixa, abaixo da profundidade de 0,05 m do solo, nos cultivo do arroz de terras altas e feijão “de inverno” em sucessão, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDEL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: I: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p.115-119, 1995.
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003.
- ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1227-1237, 2008.
- ANDREOTTI, M. **Adubação nitrogenada do consórcio milho/braquiária para manutenção do sistema plantio direto no Cerrado Sul-Matogrossense**. 2012. 85 f. Dissertação (Livre-docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36. 2001.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ VAN, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas : IAC, 1997. p. 187-203 (Boletim Técnico,100).



ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78 f. Tese (Livre-docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

ANGHINONI, I.; NICOLODI, M. Estratégias de calagem no sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTBIO 2004, 26., 2004, Lages. **Anais...** Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. p. 1-10. CD-ROM.

ARF, O.; AFONSO, R. J.; ROMANINI JUNIOR, A.; SILVA, M. G.; BUZETTI, S. Efeito de mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.105-112, 1997a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 235-239, 1997b.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 23-28, 1998.

BERTIN, E. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 379-386, 2005.

BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BERTOLINI, E.V.; GAMERO, C.A. Demanda energética e produtividade da cultura do milho com adubação de présemadura em dois sistemas de manejo do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n.3, p.1-23, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 365-371, 2004.

BODDEY, R.; RAO, I.M.; THOMAS, R.J. Nutrient cycling and environmental impact of Brachiaria pastures. In: MILES, J.; MAASS, B.L.; DO VALLE, C. B. (Ed). *Brachiaria: Cali/Brasília; CIAT/Embrapa*, 2006. p. 72-86.

BOER, C.A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 9, p. 269-1276, 2007.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, F. C. M.; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado: enciclopédia Biosfera. **Centro Científico Conhecer**, Itapetinga, v. 7, n. 12, p. 1-8, 2011.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Soil Science**, New York, v. 46, p. 1-37, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações sobre a cultura do feijão**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 17 jul. 2013.

BRAZACA, S. G. C.; SALGADO, J. M.; MANCINI FILHO, J.; NOVAES, N. J. Avaliação física, química, bioquímica e agrônômica de cultivares de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L) Mill). **Alimentos e Nutrição**, Marília, v. 7, p. 37-45, 1996.

CABRAL, C. E. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; BONELLI, E. A.; SILVA, T. J. A. DA; CABRAL, C. H. A.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Compactação do solo e macronutrientes primários na *Brachiaria brizantha* cv. piatã e *Panicum maximum* cv. mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.362-367, 2012.

CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 80, p. 62-70, 2004.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 99-108, 2005.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Intervalo hídrico ótimo em solo sob rotação de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 759-771, 2011.

CÂMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PITRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p.121-126, 1995.

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 51-70, 1990.

CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz de sequeiro. In: 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. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p.

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 Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDES, M.L.F.; ARF, O.; SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verde no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF , v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

COLLARES, G. L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF , v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 933- 942, 2008.

COLONEGO, 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, MG, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.

COLONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 242-249, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2014/2015: quarto levantamento – Janeiro/2015**. Brasília, DF: Conab, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R.A.; PARIZ, C.M.; BUZETTI, S.; LOPES, K.S.M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 8, p.1038-1047, 2012.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; BORGHI, E.; MATEUS, G.P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agrônomicas**, Campinas, n. 125, p. 2-15, 2009.

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, J.M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 71, p.29-32, 2002.

DA ROSA, D.P.; REICHERT, J.M.; SATTTLER, A.; REINERT, D.J.; MENTGES, M.I.; VIEIRA, D.A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 395-400, 2008.

D'ANDRÉA, A.; SILVA, M. N.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DEMATTÊ, J.L.I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 44p.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BACALTCHUK, B.; SATTTLER, A.; DENARDIN, N.D'A.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.1251-1273.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. Predicting tillage effects on infiltration. In: VAN DOREN, D.M. et al. (Ed.). **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: ASA, 1982. Cap. 6, p. 1-104. (ASA. Special Publication, 44).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. **Soil Science**, Silver Spring v. 36, p. 2733-2757, 2005.

FERREIRA, D.F., SISVAR: **Sistema de análise de variância**: versão 4.2. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000.

FERRERAS, L. A.; BATTISTA, J. J.; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p.161-170, 2001.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 57, n. 1, p. 25-29, 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Site**. [S. l.], 2011. Disponível em: <[http://www.fao.org/docrep/016/al993e/al993e00.pdf](http://http://www.fao.org/docrep/016/al993e/al993e00.pdf)> Acesso em: 15 mar. 2015.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H. Manejo da compactação do solo no sistema plantio direto na palha. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2009, Foz do Iguaçu. **Palestras...** Ponta Grossa, FEBRAPDP, 2009. p. 27-38.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, 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.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.

FRIBOURG, H. A. Summer annual grasses. In: BARNES, R. F.; MILLER, D. A.; NELSON, C. J. **Forages**: an introduction to grassland agriculture. 15.ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. p. 463-472.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 328, n. 3, p. 477-484, 2004.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERTII, D.J.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 65-73, 2009.

GODOY, S. G.; STONE, L. F. ; FERREIRA, E. P. B. ; COBUCCI, T. ; LACERDA, M. C. Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 119-125, 2015.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; FRANCHINI, J. C.; TORRES, E. **Decomposição de resíduos de milho e soja em função do tempo e do manejo do solo**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 3).

GREENLAND, D. J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v. 31, p. 301-322, 1981.

GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. de. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 38, p.421- 431, 1996.

GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p.703-707, 2001.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; CASTRO, E.M. Comportamento de cultivares de arroz de terras altas no SPD em duas profundidades de adubação. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v.22, n.1, p. 53-59, 2006.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. 244p. (Boletim Técnico, 23).

ISHAQ, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; IBRAHIM, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab Pakistan. I. Soil physical properties and crop yield. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 59, p. 57-65, 2001.

JANEGITZ, M.C.; INOUE, B.S.; ROSOLEM, C.A. Formas de fósforo no solo após o cultivo de braquiária e tremoço branco. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p. 1381-1386, 2013.

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

KAMIMURA, K.M.; ALVES, M.C.; ARF, O.; BINOTTI, F.F.S. Propriedades físicas de um latossolo vermelho sob cultivo do arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 723-731, 2009.

KAPPES, C. **Coberturas vegetais, manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho**. Ilha Solteira, 2012. 204 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2012.

KAPPES, C. Utilizações e benefícios da crotalária na agricultura. **Revista Panorama Rural**, Ribeirão Preto, n.147, p.16-17, 2011.

KERR, R.A. **How hot will the greenhouse world will be?** Science, Amsterdam, v. 309, p.100, 2005.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W.; CANDATEN, A.; BORTOLOTTI, D.R.; DALPAZ, R.C. Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p. 307-311, 1995.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

KLEIN, V.A.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 36, n.1, p. 21-28, 2006.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.185-223.

KOOLEN, A.J.; KUIPERS, H. **Agricultural soil mechanics**. Germany: Springer-Verlag, 1983. 242p.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 150-158, 2005.

LANDERS, F. N. **Fascículo de experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1995. 261p.

LARA-CABEZAS, W. A. R.; ALVES, B.J.R.; CABALLERO, S. S. U.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema semeadura direta e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, 2004.

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

LIER, Q.J van. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

MACEDO, M.C.M.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009. Suplemento especial.

MAGALHÃES, E.N.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. Recuperação estrutural e produção do capim-Tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, Goiania, v. 10, n.1, p. 68-76, 2009.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 201 p.

MATERECHERA, S.A.; DEXTER, A.R.; ALSTON, A.M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 135, n.1, p.31-41, 1991.

MONTANARI, R. **Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistemas de manejo de elevado nível tecnológico**. Ilha Solteira, 2009. 172f. Tese. (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MONTANARI, R., CARVALHO, M. P., ANDREOTTI, M., DALCHIAVON, F. C., LOVERA, L. H., HOMORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.6, p.1811-1822, 2010.

NICOSOLO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E., GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.4, p.1723-1734, 2008.

NUNES, M.R; PAULETTO, E. A.; JOSÉ ELOIR DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. PINTO, L. F.S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 7, p. 531-539, 2014.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.538-544, 2005.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, Df, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCÓPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura



na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008.

PACHECO, L.P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p.1228-1236, 2013.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Massa seca e composição bromatológica de quatro espécies de braquiárias semeadas na linha ou a lanço, em consórcio com milho no sistema plantio direto na palha. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 32, n.2, p.147-154, 2010.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, F. A.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p 2029-2037, 2011.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n.3, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E.; STONE, L. F.; CHIEPPE JUNIOR, J. B. Efeitos de níveis de cobertura sobre a temperatura do solo sob feijoeiro irrigado, no sistema plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14.; ENCONTRO LATINOAMERICANO DE IRRIGAÇÃO, DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES, 1., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABID, 2004. 1 CD-ROM.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.

PEZZOPANE, J. E. M.; CUNHA JÚNIOR, G. M.; ARNSHOLZ, E.; COSTA LONGA JÚNIOR, M. Temperatura do solo em função da cobertura morta por palha de café. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Maria, v. 4, n. 2, p. 7-10, 1996.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRANDO, M.B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A.P.E.; ROSOLEM, C.A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 693-700, 2010.

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

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Potafos, 1991. 343p.

REDEL, Y.D.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; BORIE, F. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, p.388-396, 2007.

REGITANO NETO, A.; GALLO, P.B.; RAMOS JUNIOR, E. U.; KIIHL, T. A. M.; AZZINI, L. E. IAC 203 and IAC 204: new upland rice varieties for the State of São Paulo. **Crop Breeding and App. Biotech.**, Amsterdam, , v.13, p.367-370, 2013.

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

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME, F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n.3, p. 310-319, 2009a.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, p. 242-254, 2009b.

RESCK, D. V.S. Agricultural intensification sytems and their impacto on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. (Ed.) **Soil quality and agricultural sustainability**. Chelsea: Ann Arbor Press, 1998, p. 288-300.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R.; SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1827-1835, 2008.

ROSIM, D.C.; MARIA, I.C.; SILVA, R.L.; SILVA, A.P. A compactação de um Latossolo Vermelho Distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 502-508, 2012.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, Amsteden, v.36, n.7/8, p. 1063-1074, 2005.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **SPD. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa – SPI, Dourados: Embrapa – CPAQ, 1998, 248p.

SANTOS, P. A.; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

SECCO, D.; REINERT, D.; REICHERT, J.M; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, .28, n.5, p.797-904, 2004.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C.; DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.422-427, 1985.

SILVA, S.G.C.; SILVA, A.P. da; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; SÁ, J.C.M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 547-555, 2012.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BORTOLUZZI, E.C. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 1097-1104, 2009.

SILVEIRA JUNIOR, S. D.; SILVA, A. P. FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1854-1867, 2012.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JUNIOR, J. ; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 24, n.3, p. 53-59, 2008.

SOARES FILHO, C. V. Recomendações de espécies e variedades de Brachiaria para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM. 11, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.25-48.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004a. 416 p.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004b, p.129-144.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; NUNES, R.S. Fósforo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R., eds. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, IPNI, 2010. p. 67-132. 2 v.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p.27-34, 2003a.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003b.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003c.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; PROENÇA, M.M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n.2, p. 417-423, 2002.

SPEEDING, C.R.W.; LARGE, R.V. Apoit quadrat method for the description of pasture in terms of height and density . **Journal Britanica Grasses Society**, Amsterdam, v.12, p.229-234, 1957.

STEPNIEWSKI, W.; GLINSKI, J.; BALL, B.C. Effects of compaction on soil aeration properties. IN: SOANE, B. D., VAN OUWERKERK, C. **Soil Compaction in Crop Production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 167-189. (Developments in Agricultural Engineering 11).

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n.2, p.395-401, 2001.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DIAS, O.S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E.A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 1, p. 1477-1483, 1992.

TAYLOR, J.C.; BELTRAME, L.F.S. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. **Lavoura Arrozeira**, v. 3, n.320, p. 34-44, 1980.

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 Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, 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, MG, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.

TORRES, J. L. R. **Estudo de plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no Cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um

solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p.609-618, 2005.

UNGER, W.P.; KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 759-766, 1994.

VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p.1437-1446, 2008.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

VIEIRA, M.L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 104f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de Passo Fundo.

VILLAMIL, M. B.; BOLLERO, G. A.; DARMODY, R. G.; SIMMONS, F. W.; BULLOCK, D. G. No-till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. **Soil Science**, Amsterdam, v.70, p.1936-1944, 2006.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n.5, p. 891-900, 2004.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para o uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília, DF, : Embrapa, 2014, 507p.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; TORMENA, C. A.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S. D.; ALONSO, D. G.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 537-545, 2007.

**APÊNDICE A - Fotos da área experimental (2012)**  
**(Caracterização física e química da área e adubação de correção)**

**Figura 1** - Área experimental em junho de 2012, antes da instalação do experimento (esquerda) e coletando-se amostras na camada estratificadas do solo para caracterização física do solo (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 2**- Detalhe da coleta de amostras indeformadas do solo para caracterização inicial (esquerda) e coletando-se amostras para análise química do solo com trado de rosca (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 3-** Aplicação do calcário com distribuidor a lanço em área total (esquerda) e dessecação da área com dessecante específico (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

## APÊNDICE B – Fotos do subprojeto 1 (2012 e 2013)

**Figura 4-** Preparo do solo com escarificador (esquerda) e vista da área após a passagem do escarificador em parte desta (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 5-** Preparo do solo com uma grade niveladora na parte escarificada (esquerda) e a passagem de semeadora-adubadora vazia somente riscando o solo antes da semeadura das plantas de cobertura (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 6-** Semeadura manual das plantas de cobertura, com uso de matraca, sem Fertilizante mineral na safra 2012 (esquerda) e na safra 2013 (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012 e 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 7-** Parcela de *Crotalaria juncea* na fase de florescimento pleno (esquerda) e *Cajanus cajan* no momento da dessecação aos 68 dias após semeadura (DAS) (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 8-** Parcela de *Urochloa ruziziensis* (esquerda) e *Pennisetum glaucum* (direita), no momento da dessecação aos 63 DAS, no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 9-** Parcela do pousio sem (esquerda) e com escarificação mecânica (direita), ambas no momento da dessecação aos 68 DAS, no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 10-** Parcela de *Crotalaria juncea* (esquerda) e *Cajanus cajan* no momento da dessecação aos 63 DAS (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 11-** Parcela de *Urochloa ruziziensis* (esquerda) e *Pennisetum glaucum* (direita) no momento da dessecação aos 63 DAS (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 12-** Parcela do pousio sem (esquerda) e com escarificação mecânica (direita) no momento da dessecação aos 63 DAS, no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 13-** Dessecação das plantas de cobertura com herbicida específico (esquerda) e após 10 dias da dessecação (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 14-** Operação com triturador mecânico em todas as parcelas (esquerda) e vista geral da área após operação (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 15-** Detalhe da coleta MS das plantas de cobertura com quadrado de ferro de dimensão de 0,5 x 0,5 m (esquerda) e ponto amostrado com retirada da amostra de MS das plantas de cobertura (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

## APÊNDICE C - Fotos do subprojeto 2 (2012/13 e 2013/14)

**Figura 16-** Semeadura mecânica do arroz de terras altas (esquerda) e vista geral da cultura do arroz aos 4 dias após a emergência (DAE) das plantulas (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 17-** Vista geral da cultura do arroz de terras altas aos 38 DAE das plantas (esquerda) e avaliação de persistência de resíduos vegetais após a semeadura da cultura do arroz (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 18-** Vista geral da cultura do arroz aos 60 dias após a emergência (esquerda) e detalhe das estacas com sensores de temperatura do solo (Ibuttons) no momento da instalação no campo (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 19-** Estaca instalada no campo com sensores registrando a temperatura do solo na entrelinha do arroz, na profundidade de 0,05 m abaixo no nível do solo (esquerda) e vista geral da cultura do arroz aos 103 DAE (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 20-** Detalhe da coleta de amostras indeformadas do solo após a colheita do arroz (esquerda) e retirando-se os anéis volumétricos nas camadas supracitadas (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 21-** Vista geral da área experimental no momento de coleta de amostras de química do solo (esquerda) e detalhe do acondicionamento e identificação de amostras químicas nas camadas supracitadas do solo, no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 22-** Avaliação de resistência do solo à penetração após a colheita do arroz (esquerda) e amostras de física do solo no laboratório de física do solo (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 23-** Pesagem de amostras do solo em balança analítica após saturação em água durante 24 horas (esquerda) e detalhe das amostras de física do solo na mesa de tensão para determinação de macroporosidade do solo (direita), no Laboratório de Física do solo na UNESP, Ilha Solteira, SP, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 24-** Contagem de grãos da cultura do arroz de terras altas no Laboratório de Fitotecnia da UNESP/FEIS (esquerda) e vista geral da área experimental após a colheita da cultura do arroz (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 25-** Detalhe da preparação e passagem na peneira de 2 mm das amostras químicas do solo (esquerda) e cachimbando as amostras (direita), no Laboratório de Fertilidade do solo da UNESP/FE, Ilha Solteira, SP, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 26-** Detalhe da agitação das amostras químicas do solo para determinação do pH (esquerda) e determinando o valor do pH em peagâmetro (direita), no Laboratório de Fertilidade do solo da UNESP/FE, Ilha Solteira, SP, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 27-** Detalhe da preparação e desestruturação das partículas do solo para determinação do fósforo e cátions trocáveis pelo método da resina trocadora de íons (esquerda) e realizando as leituras no espectrômetro de chama (direita), no Laboratório de Fertilidade do solo da UNESP/FE, Ilha Solteira, SP, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

## APÊNDICE D – FOTOS DO SUBPROJETO 3 (2013 E 2014)

**Figura 28-** Vista geral da área experimental após dessecação e antes da semeadura do feijão “de inverno” (esquerda) e no momento da semeadura mecânica do feijão (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 29-** Detalhe da avaliação de população inicial de feijão “de inverno” aos 4 DAE (esquerda) e vista geral da cultura do feijão aos 8 DAE (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 30-** Aplicação de herbicida em pós-emergência na cultura do feijão “de inverno” (esquerda) e sensor (Ibuttons) de temperatura do solo instalado e funcionando na entrelinha da cultura do feijão “de inverno”(direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2012/13.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 31-** Momento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão “de inverno” (esquerda) e plantas de feijão coletadas do tratamento sem escarificação com raízes retorcidas e defeituosas (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 32-** Plantas de feijão coletadas na parcela com escarificação mecânica, apresentando-se raízes vigorosas e sem defeitos (esquerda) e vista geral da cultura do feijão na fase R8 (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 33-** Detalhe da vagem e grãos do feijão “de inverno” em estágio R8 (esquerda) e cultura do feijão no estágio de maturação fisiológica em estágio R9 (direita), 2014.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 34-** Coleta de dez plantas de feijão ao acaso na parcela (esquerda) e acondicionamento em sacos de papel para posterior avaliação dos componentes de produção (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 35-** Avaliação da produtividade das parcelas, usando régua para colheita de duas linhas de 3 metros (esquerda) e no momento da contagem de vagens das 10 plantas coletadas de cada parcela (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 36-** Trilhagem mecânica das plantas de feijão (esquerda) e vista geral do momento da coleta de amostras físicas e químicas do solo, após cultivo de feijão (direita), Safra 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 37-** Avaliação da resistência do solo a penetração com PenetroLog, ao lado do ponto da amostra física do solo em cada da parcela (esquerda) e coleta de amostra química do solo, com trado de rosca nas camadas supracitadas (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2014.



Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 38-** Coleta de amostras indeformadas do solo nas diferentes camadas, após cultivo do feijão (esquerda) e amostras coletadas e devidamente identificadas em campo (direita), no Cerrado Sul-Matogrossense, Selvíria, MS, Safra 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 39-** Apresentação de artigo científico e delegação da UNESP/Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira no Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado (CBAI 2013), realizado em Santa Maria-RS (esquerda) e no Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária (SIAGRO 2014), realizado em São Carlos-SP.



Fonte: Elaboração do autor.