

**MANEJO QUÍMICO E FÍSICO DO SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM PARA O  
CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

**PRISCILA ROBERTA LEME ZANFOLIN**

**MANEJO QUÍMICO E FÍSICO DO SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM PARA O  
CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

**PRISCILA ROBERTA LEME ZANFOLIN**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Fisiologia e Tecnologia da Produção Vegetal.

Orientador:

Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego

631.45  
Z27m

Zanfolin, Priscila Roberta Leme.

Manejo químico e físico do solo em área de pastagem para o cultivo de soja em diferentes sistemas de produção/ Priscila Roberta Leme Zanfolin. – Presidente Prudente, 2015.

(77)f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2015.

Bibliografia.

Orientador: Juliano Carlos Calonego

1. Conservação do solo. 2. Preparo mínimo. 3. Estruturação do solo. I. Título.

**PRISCILA ROBERTA LEME ZANFOLIN**

**MANEJO QUÍMICO E FÍSICO DO SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM PARA O  
CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Fisiologia e Tecnologia da Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 16 de Novembro de 2015

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego Orientador  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente-SP

---

Prof. Dr. Edegar Moro  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente-SP

---

Dr. Wander Luis Barbosa Borges  
IES/ IAC – Centro de Seringueiras e Sistemas Agroflorestais  
Votuporanga-SP

## DEDICATÓRIA

À minha família, meus pais José Roberto Zanfolin e Valéria Leme Zanfolin, que por seu exemplo de dedicação, honestidade e luta, me ensinaram a perseverar e ao meu irmão Lorrان Roberto Leme Zanfolin pelo carinho e sempre ser tão companheiro.

A Deus, por me fortalecer durante a jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Desafio tão grande quanto escrever esta dissertação, é agradecer todas as pessoas que estiveram ao meu lado. Houveram contribuições de natureza diversa que não podem e nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

A toda minha família, por nunca ter me deixado faltar tranquilidade e estrutura para que eu pudesse ir em busca de meus ideais.

Ao professor e orientador Dr. Juliano Carlos Calonego, pela atenção e inestimável contribuição científica e intelectual, sempre dedicado para compartilhar seus conhecimentos.

A todos os professores e funcionários da UNOESTE, pelo apoio e ensino de qualidade.

À Instituição de Ensino Unoeste, por me acolher e subsidiar meus estudos e pesquisa.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Agropecuária do Oeste Paulista - GPAGRO pelo companheirismo e os muitos momentos de contribuição para esse trabalho.

À Agrisus, pelo apoio financeiro, o qual possibilitou a execução do trabalho.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

Aos meus colegas Amarildo Francisquini Junior, Wellington Eduardo Xavier Guerra e Willian Takata, que foram indispensáveis na realização, desenvolvimento e interpretação dos resultados da pesquisa, sem os quais, eu jamais teria conseguido.

Ao amigo Pedro Henrique Gorni, que desde o início se fez amigo e companheiro, me ajudando e incentivando durante o curso das disciplinas, amizade que levarei para sempre.

Aos estagiários Eduardo Bassanezi Gasparin, Wilson Antônio Leme de Godoy Junior e Aldelyno Romão Dutra, que não mediram esforços para contribuir para que este trabalho pudesse ser realizado.

Ao ministério de música Estrela da Manhã, por continuarem firmes e me apoiando mesmo com todas as minhas faltas no período de realização desse trabalho.

Ao meu namorado, Roger Ferreira, pela compreensão e carinho nos meus momentos de nervosismo e aflição.

A todos, mais uma vez, meus sinceros agradecimentos.

*“Não devemos chamar o povo à escola para receber instruções, postulados, receitas, ameaças, repreensões e punições, mas para participar coletivamente da construção de um saber, que vai além do saber de pura experiência feita, que leve em conta as suas necessidades e o torne instrumento de luta, possibilitando-lhe ser sujeito de sua própria história”. (Paulo Freire)*



## RESUMO

### **Manejo químico e físico do solo em área de pastagem para o cultivo de soja em diferentes sistemas de produção**

A crescente demanda por alimento aliada a necessidade do país em garantir resultados positivos na balança comercial, direcionam, cada vez mais, estudos visando agricultura com altas produtividades. A fim de alcançar esses resultados com atividades de baixo impacto ambiental, objetivou-se, com esse trabalho, verificar o efeito do preparo mínimo do solo com escarificador e do uso de adubos e corretivos realizados na cultura da braquiária, antecedendo o cultivo da soja, na qualidade de um solo de baixa fertilidade e com estrutura degradada, visando melhorar o ambiente de produção de soja e forragem conduzidas em Sistema Semeadura Direta com integração Lavoura-Pecuária.

O experimento foi conduzido em área de pastagem extensiva na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico. Os tratamentos experimentais são constituídos por talhões submetidos ou não ao manejo mecânico com escarificador tipo matabroto, sendo que cada talhão recebe cinco tratamentos químicos, sendo eles: 1- Sem adubação e sem calagem (testemunha); 2- Com aplicação de calcário; 3- Com aplicação de calcário+gesso; 4- Com aplicação de calcário+gesso+NPK; 5- Com aplicação de calcário+gesso+NPK+micronutrientes. Tanto o manejo com escarificador como os tratamentos químicos foram efetuados 30 dias antes da dessecação da pastagem (45 dias antes da semeadura da soja) no ano de 2013 e foram repetidos no ano de 2014. O delineamento experimental foi em faixas, em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. Para avaliação do efeito dos tratamentos, foi determinado o aporte de palha pela braquiária e foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, as quais foram analisadas fisicamente quanto à densidade do solo, porosidade, curva de retenção de água no solo e estabilidade de agregados. O solo também foi analisado quanto às frações de C e N particulados e associados a minerais. A produtividade da soja foi determinada na safra 2013/2014 e 2014/2015. Durante o cultivo da soja na safra 2014/2015 foi avaliada a umidade do solo no perfil. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste t de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os benefícios trazidos pela escarificação às características físicas do solo não são duradouras, já a qualidade química colabora para a estruturação do solo a médio e longo prazo.

**Palavras-chave:** Conservação do solo; Preparo mínimo; Estruturação do solo.

## ABSTRACT

### **Management chemical and physical soil in pastures area for soybean crop in different production systems**

The growing demand for food ally to the country's need to ensure positive results in the trade balance, direct, increasingly, studies to agriculture with high yields. In order to achieve these results with low-impact activities, was aimed with this work, to verify the effect of no tillage with scarifier and the use of fertilizers and corrective performed in the culture of brachiaria preceding soybean cultivation, as a low fertility soil and degraded structure, to improve soy production environment and forage conducted in no tillage system with integrated Crop-Livestock. The experiment was conducted in extensive grazing area at the Experimental Farm of the University of Western São Paulo - UNOESTE in Presidente Bernardes-SP, in a soil classified as Acrisol dystrophic. The treatments consist of plots submitted or not to mechanical handling with scarifier type mataboto, each plot gets five chemical treatments, as follows: 1. Without fertilization and liming (control); 2- Application of lime; 3 Application of lime + gypsum; 4- Application of lime + gypsum + NPK; 5- Application of lime + gypsum + NPK + micronutrients. Both the management with ripper as chemical treatments were made 30 days prior to desiccation of pasture (45 days before soybean sowing) in 2013 and were repeated in the year 2014. The experimental design was in bands, in factorial scheme 2 x 5, with four replications. To evaluate the effect of the treatments was determined straw contribution by brachiaria and soil samples were collected in the layers 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, which were physically analyzed for density soil, porosity, water retention curve in the soil and aggregate stability. The soil was also analyzed for particulate C and N fractions and associated minerals. Soybean yield was determined in the season 2013/2014 and 2014/2015. During the cultivation of soy in the 2014/2015 crop was evaluated soil moisture profile. Data were subjected to analysis of variance and t test comparison of means at 5% error probability. The benefits brought by scarifying the soil physical properties are not lasting, since the chemical quality contributes to the structuring of the soil medium and long term.

**Keywords:** Soil Conservation; Minimum preparation; Soil structure.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Dados Climáticos e Pluviométricos da Região Oeste Paulista, média de 24 anos. Ciiagro, 2015. ....29
- Figura 2. Dados diários climáticos e pluviométricos para a região oeste paulista, de Dezembro de 2013 a Novembro de 2014. Unoeste, 2014. ....30
- Figura 3. Densidade do solo (A), porosidade total (B), macro (C) e microporosidade (D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2013, no centro das camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. ....40
- Figura 4. Porosidade total (A,B), macro (C,D) e microporosidade (E,F) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014, no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, em função do manejo físico (A,C,E) e químico do solo (B,D,F). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. ....42
- Figura 5. Densidade do solo em amostragem realizada em outubro de 2014, no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, em função do manejo físico (A) e químico do solo (B). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. 43
- Figura 6. Resistência do solo à penetração até 60 cm de profundidade, em avaliação realizada em Outubro de 2013, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente. ....44
- Figura 7. Agregados maiores que 2 mm (A), diâmetro médio geométrico (DMG, B), diâmetro médio ponderado (DMP, C) e índice de estabilidade de agregados (IEA, D), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, em amostragem realizada em outubro de 2013, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). Letras iguais, comparando na mesma profundidade, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.....47
- Figura 8. Agregados maiores que 2 mm, nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey. ....50
- Figura 9. Diâmetro médio geométrico (DMG), nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.....51
- Figura 10. Diâmetro médio ponderado (DMP), nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do

solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.....52

Figura 11. Índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.....53

Figura 12. Teores de carbono (A) e nitrogênio (B) em macro, meso e microagregados do solo, da camada de 0-10 cm de profundidade, em amostragem realizada em outubro de 2013, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). Letras iguais, comparando na mesma fração, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ....56

Figura 13. Teores de C em microagregados, em função da manejo físico (A) e químico (B) do solo, em amostragem realizada na camada de 0-10 cm de profundidade, em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.....58

Figura 14. Desdobramento dos teores de C em macroagregados (A) e mesoagregados (B), em função da interação manejo físico x manejo químico do solo, em amostragem realizada na camada de 0-10 cm de profundidade, em outubro de 2014. Letras iguais não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam os manejos químicos dentro de cada manejo físico. Letras minúsculas comparam os manejos físicos dentro de cada manejo químico.....59

Figura 15. Teores de N em microagregados (A,B), mesoagregados (C,D) e macroagregados (E,F), em função do manejo físico (A,C,E) e químico (B,D,F) do solo, em amostragem realizada na camada de 0-10 cm de profundidade, em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ....60

Figura 16. Desdobramento da umidade do solo nas camadas de 0-10 cm (A), 10-20 cm (B) e 40-60 cm (C) da soja (safra 2015/2016), em função da interação manejo físico x manejo químico do solo. Letras iguais não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam os manejos químicos dentro de cada manejo físico. Letras minúsculas comparam os manejos físicos dentro de cada manejo químico. ....63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de F calculado e coeficiente de variação em função do manejo físico e químico do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014.....	41
Tabela 2. Resistência do solo à penetração em diferentes em avaliação realizada em maio de 2014.....	45
Tabela 3. Resistência do solo à penetração em diferentes profundidades, nas avaliações realizadas em outubro de 2014. ....	46
Tabela 4. Desdobramento dos resultados de resistência do solo à penetração nas profundidades de 35 e 45 cm, para a avaliação realizada em outubro de 2014. ....	46
Tabela 5. Valores de F calculado e coeficiente de variação para os resultados de agregados maiores que 2 mm (agregados >2mm), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA), nas camadas de 0-10 e 10-20cm de profundidade, em função do manejo físico e químico do solo. ....	48
Tabela 6. Resultados de argila dispersa em água (ADA) e grau de flocculação do solo (GF), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade, em função do manejo físico e químico do solo.....	54
Tabela 7. Desdobramento dos resultados de argila dispersa em água do solo, na camada de 0-10 cm de profundidade.....	55
Tabela 8. Desdobramento dos resultados de grau de flocculação do solo, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade.....	55
Tabela 9. Valores de F calculado e coeficiente de variação para os resultados de C e N em macro, meso e microagregados do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014, na camada de 0-10 cm de profundidade, em função do manejo físico e químico do solo. ....	57
Tabela 10. Umidade do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, por ocasião da germinação, florescimento pleno e enchimento de grãos da soja, em função do manejo físico e químico do solo. ....	62
Tabela 11. Produção de forragem em 2013 e em 2014, em função do manejo físico e químico do solo. ....	64
Tabela 12. Produtividade de grãos de soja nas safras 2013/14 e 2014/15, em função do manejo físico e químico do solo. ....	66

## LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 1. DMP = diâmetro médio ponderado (mm);  $x_i$  = diâmetro médio das classes de tamanho de agregados (mm);  $w_i$  = massa das classes de tamanho de agregados após a secagem (g).....34
- Equação 2. DMG = Diâmetro médio geométrico (mm);  $\bar{x}_i$  = diâmetro médio das classes de tamanho de agregados (mm);  $w_i$  = massa das classes de tamanho de agregados após a secagem (g).....34
- Equação 3. Índice de estabilidade de agregados (%);  $w_s$  = massa da amostra original de solo após a secagem (g);  $w_{<0,25}$  = massa de agregados menores que 0.25 mm (g).....34
- Equação 4. Teor de argila (g); A = Argila (g); D = Dispersante (g).....35
- Equação 5. A = Teor de argila dispersa em água; a = leitura da amostra; b = leitura da prova em branco. ....35
- Equação 6. GF = Grau de floculação; a = argila; b = argila dispersa em água. ....35

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Limitações do uso agrícola dos solos arenosos em região de clima tropical .....	17
2.2 Importância econômica da cultura da soja e estratégias para evitar o déficit hídrico .....	18
2.3 Sistemas de cultivo e seus impactos na qualidade do solo.....	19
2.4 Física do solo .....	24
2.5 Escarificação.....	26
3 OBJETIVO .....	28
4 METODOLOGIA.....	29
4.1 Localização e características da área experimental.....	29
4.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	30
4.3 Condução do experimento .....	31
4.4 Coleta e análises de solo .....	32
4.5. Avaliação da umidade do solo .....	37
4.6. Produtividade de forragem e grãos .....	37
4.7. Análise estatística .....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1 Densidade, porosidade total, macro e microporosidade .....	39
5.2. Resistência à penetração.....	43
5.3. Estabilidade de agregados.....	47
5.4. Grau de flocculação da argila e argila dispersa em água .....	53
5.5 Fracionamento físico de C e N no solo .....	55
5.6 Umidade do solo .....	61
5.7 Produção de matéria seca da parte aérea da forrageira.....	64
5.8 Produtividade da soja.....	65
6 CONCLUSÕES .....	67
REFERÊNCIAS.....	68

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os estudos visando uma agricultura que proporcione elevadas produtividades para atender a crescente demanda por alimento e para garantir os resultados positivos na balança comercial do país são recorrentes. Ao mesmo tempo, exige-se cada vez mais que esses aumentos de produção sejam alcançados por meio de atividades agrícolas com baixo impacto ambiental (PRETTY; BHARUCHA, 2014).

A região Oeste Paulista é considerada sócio-economicamente como uma das mais pobres do Estado de São Paulo (OLIVETTE, 2006), sendo a atividade agropecuária a base da economia regional (SILVA; SPOSITO, 2007). Essa região, embora pertencentes ao bioma de Mata Atlântica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), está localizada em uma zona de transição, apresentando muitas características do bioma Cerrado, que é atualmente a maior região produtora de grãos do Brasil. Apresenta solo altamente intemperizado, com baixo teor de argila e com baixa fertilidade natural. O solo de baixa fertilidade, a escassez de chuvas em parte do ano e a baixa retenção de água, devido aos reduzidos teores de matéria orgânica e argila, dificultam o cultivo tanto de lavouras como de pastagens, sendo comuns as baixas produtividades de grãos e forragens. Esse cenário, em muitos casos, desestimula os investimentos no meio rural, agravando ainda mais os problemas químicos e físicos do solo, tornando-o cada vez menos produtivo.

Portanto, torna-se necessário adotar estratégias visando aumentar a produtividade dessas áreas, sendo o Sistema Semeadura Direta (SSD) uma excelente e comprovada técnica de manejo para reduzir os riscos do cultivo da lavoura de grãos em condições edafoclimáticas não apropriadas. Nesse sistema privilegia-se a manutenção do solo coberto com palha, a rotação de culturas e a mínima mobilização do solo. Com isso, entre outros benefícios, reduzirá as altas temperaturas do solo e as perdas de água por evaporação, além do aporte de resíduos vegetais servir de fonte de C para aumentar os estoques de matéria orgânica do solo (MOS).

Em condições de clima tropical e em solos com baixos teores de argila, os desafios para o incremento da MOS são maiores, já que as temperaturas médias elevadas aumentam a atividade microbiana, e os baixos teores de argila reduzem a



formação de agregados e limitam a interação entre a fração orgânica e mineral do solo, deixando a MOS exposta e vulnerável à degradação, o que demanda um elevado e constante aporte de matéria seca (MS) e carbono (C) ao solo (ALVES et al., 2008). Nessas condições, as Urochloas podem assumir essa função, com alta produtividade de fitomassa aérea e radicular, principalmente em solos sem limitações físicas e químicas.

Nesse sentido, a integração Lavoura-Pecuária (ILP) é uma opção promissora para manter os solos produtivos e agregar valor à terra, pois inclui plantas com aptidão edafoclimática para a região, como é o caso das Urochloas, e culturas graníferas com alto retorno financeiro. No caso da soja, mesmo não sendo recomendada para a região, devido aos riscos de déficit hídrico, as chances de sucesso podem aumentar com o aporte de MOS, com a conservação da água no solo, com as melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do perfil, e do crescimento das raízes em profundidade, principalmente em sucessão ao cultivo da Urochloa, com alto aporte de resíduo vegetal da parte aérea e radicular, auxiliando na cobertura e estruturação do solo.

A partir dessas premissas levanta-se a hipótese de que para aumentar as chances de sucesso dos sistemas integrados de produção, e para diminuir os riscos ao cultivo da soja, devido às condições de solo com baixa capacidade de retenção de água e aos constantes veranicos, necessita-se aumentar a produção de palha pela forrageira, conferindo um importante passo para aumentar os teores de MOS, além de constituir uma barreira para as perdas de água por evaporação. Paralelamente a isso, ocorrerá aumento de oferta de alimento aos animais, conferindo sucesso ao sistema. Porém, para propiciar os aumentos de palha pela forrageira é necessário corrigir possíveis deficiências físicas e químicas do perfil do solo, que contribuirão para o aprofundamento do sistema radicular das culturas e o acesso à água.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Limitações do uso agrícola dos solos arenosos em região de clima tropical

Os solos arenosos têm como características, apresentarem teores de MOS aquém do ideal, já que os resíduos vegetais incorporados ao solo ou mantidos em sua superfície sofrem rápida decomposição principalmente por influência das altas temperaturas e precipitação elevada das regiões tropicais, onde é mais recorrente a presença desse tipo de solo, o que os torna altamente intemperizados (BOLLIGER et al., 2006; RESCK et al., 2008). Além disso, o inverno seco e a distribuição irregular das chuvas dificultam o aporte de C via resíduos vegetais na entressafra, tornando o uso de plantas de cobertura nessa época uma prática fundamental (CASTRO; CALONEGO; CRUSCIOL, 2011).

Silva e Resck (1997) também citaram como características dos solos tropicais o baixo teor de argila e baixa fertilidade natural em decorrência de serem altamente intemperizados, e a fração argila desses solos ser constituída por minerais 1:1 e óxidos de ferro e alumínio (o que oferece pouca ou nenhuma substituição isomórfica), o que determina uma baixa densidade de carga superficial líquida negativa e, em consequência, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), em relação aos minerais de argila 2:1 e a MOS.

Outra característica dos solos tropicais é apresentar elevada acidez, toxicidade por Al e baixos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Nesse contexto se faz imprescindível a correção desses problemas por meio da calagem a fim de viabilizar esses solos no âmbito produtivo (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991). Com a modernização da agricultura, práticas de correção da acidez e adubações contribuíram para a melhoria da fertilidade construída dos solos (BERNARDI; MACHADO; SILVA, 2002). Solos de fertilidade construída são definidos como aqueles que, com o manejo ao longo do tempo, passam a apresentar condições físicas, biológicas e químicas adequadas para as culturas expressarem seu potencial produtivo (KAPPES; ZANCANARO, 2014). Castro, Calonego e Crusciol (2011) observaram que o uso de corretivos da acidez do solo elevaram a produção de matéria seca das culturas, o que resultou em maior aporte de palhada à superfície do solo.

## 2.2 Importância econômica da cultura da soja e estratégias para evitar o déficit hídrico

A soja está entre as principais culturas brasileiras, sendo empregada para diversas finalidades, como fonte de alimento para produção animal, extração de óleo, representando 80 a 85% da matéria prima para produção de biodiesel no Brasil, e proteína para alimentação humana. Apresenta alto valor econômico a nível nacional e internacional por sua versatilidade (SILVA et al., 2006).

Anualmente, cerca de 314,37 milhões de toneladas de soja são produzidas no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2015). A safra 2014/2015 no Brasil, chegou a 95.919.800 t em 31.621.800 ha, conferindo um incremento de 4,8 e 11,4% respectivamente, com relação a safra passada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015), e as perspectivas para o futuro são promissoras, pois a população mundial tende a crescer, assim como a demanda por alimento e energia, somado a isso, o aumento do poder aquisitivo da população na Ásia impulsiona o consumo de carnes de aves e suínos nesse continente, criações que utilizam a soja como fonte de proteína na alimentação. Esses fatores e o uso da soja como matéria prima para produção de biodiesel, tinta, entre outros, fazem com que a demanda por essa *commodity* se mantenha alto e o preço altamente atrativo aos produtores rurais (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Desclaux, Huinh e Roumet (2000) e Neumaier, Nepomuceno e Farias (2000) enfatizaram como causa de redução drástica na produção e rendimento de grãos da soja, as secas no período reprodutivo da cultura (florescimento). Visando aumentar a disponibilidade de água para as plantas e diminuir o déficit hídrico e estresses térmicos, estratégias que aumentem o volume e a profundidade do sistema radicular são fundamentais pois auxiliam a diminuir as perdas produtivas na ocorrência de veranicos. Queiroz-Voltan, Nogueira e Miranda (2000) destacaram aprofundamento das raízes de extrema importância em sistema de cultivo de soja em sequeiro, como estratégia para o aprofundamento das raízes, e citaram descompactação do solo. Além disso, a manutenção da palhada da cultura da entressafra sobre o solo traz como benefício, a manutenção da umidade do solo (SCHICK et al., 2000), o que também diminui os efeitos negativos do déficit hídrico para a cultura da soja.

### 2.3 Sistemas de cultivo e seus impactos na qualidade do solo

Aidar e Kluthcouski (2003) e Garcia (2010) afirmam que a recuperação dos teores de MOS pode ser feita com redução do revolvimento do solo e adoção de um sistema de rotação de culturas com a inclusão de espécies de alta produção de resíduos, como é o caso das Urochloas. Assim, a ILP, em conjunto com o SSD, merece destaque nesse contexto (SALTON et al., 2011; TIRLONI et al., 2012), principalmente em solos de extrema fragilidade, como os arenosos, pois, devido à grande produção de raízes finas, juntamente com as hifas de fungos, auxiliarão na estabilização física dos agregados do solo (BRAIDA et al., 2011).

Além disso, os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) figuram como opção interessante para assegurar a expansão da agropecuária, com baixa pressão sobre o avanço da fronteira agrícola, e estão de acordo com uma estratégia de baixa emissão de carbono (GOUVELLO, 2010; HERRERO et al., 2010).

Recentemente, as plantas de cobertura têm recebido expressiva atenção de pesquisas, pois constituem alternativa para elevar a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Plantas como o milheto e as Urochloas têm destaque, pois é possível tê-las em sucessão a lavouras comerciais de milho ou soja, o que viabiliza a exploração de pastagens na entressafra de verão, em sistema de integração lavoura-pecuária, e ainda produzir palhada para o SSD (SORATTO; ROSOLEM; CRUSCIOL, 2011). Salton et al. (2011) observaram que sistemas com o uso de forrageiras para produção de palha (Urochloas), em comparação aos exclusivamente com lavouras, apresentaram maiores teores de C, o que deve estar associado ao elevado aporte de material vegetal comumente proporcionado pelas pastagens, corroborando resultados obtidos por Dieckow et al. (2005) e Nunes et al. (2011), que atribuem às forrageiras grande capacidade de acumular C no solo. O uso de Urochloas para a formação de palha tem se tornado uma alternativa viável para a manutenção do SSD na região central do Brasil (TIMOSSO; DURIGAN; LEITE, 2007; ANDRIOLI, 2004; NUNES et al., 2006). Segundo Garcia, Li e Rosolem (2013) e Rossi et al. (2011), sistemas que privilegiam o aporte de resíduos vegetais, como é o caso dos sistemas que utilizam forrageiras como plantas de cobertura, aumentam os estoques de C no solo na fração de maior labilidade. Nunes et al. (2011) verificaram maiores estoques de carbono orgânico total e carbono particulado (lábil) em SSD com uso de milheto como planta de cobertura em relação à mucuna preta,

e atribuíram esse resultado ao maior aporte de matéria seca pelo milheto. Portanto, em SSD é comum o aumento dos teores de C nessa fração da MOS, principalmente nas camadas superficiais, devido ao aporte e manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo, conforme constatado por Nascente, Li e Crusciol (2013). Assim, a necessidade de fracionamento da MOS é uma realidade, já que apenas o estudo da matéria orgânica total pode não detectar o efeito dos manejos.

A *Urochloa* apresenta alto potencial para cobertura do solo e opção para aporte de C no solo em SSD devido a sua longevidade, alto rendimento de biomassa e adaptação ao bioma do Cerrado, segundo pesquisas de Kluthcouski e Aidar (2003) e Crusciol e Borghi (2007). Além do aporte de C por essa forrageira, a palhada mantida na superfície do solo é importante para impedir um aquecimento excessivo do solo, bem como a perda de água por evaporação (PERES; SOUZA; LAVORENTI, 2010). Na literatura são comuns os resultados benéficos da produção de soja quando cultivada sobre a palhada de *Urochloa* em SSD (PITOL; GOMES; ERBES, 2001; CHIODEROLI et al., 2012), sendo esses resultados atribuídos a melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (FRANCHINI et al., 2010; LOSS et al., 2011), principalmente em regiões em que há inverno seco e estação chuvosa de curta duração (LOSS et al., 2011; CHIODEROLI et al., 2012). Segundo Franchini et al. (2009), a cobertura do solo proporcionada por sistemas produtivos que incluam forrageiras tropicais, associada às melhorias na qualidade física do solo e no enraizamento da soja, tem refletido no aumento da produtividade desta cultura em relação a outros sistemas de produção.

Vários estudos têm mostrado efeitos benéficos de plantas de cobertura nas propriedades do solo e no rendimento das culturas, decorrentes da produção de fitomassa, acúmulo e posterior liberação de nutrientes pela decomposição da palhada (CALONEGO; FOLONI; ROSOLEM, 2005; TORRES et al., 2005; BOER et al., 2007). Contudo, Machado e Assis (2010) não observaram efeito de oito espécies de cobertura do solo usadas na entressafra da soja, sobre a produtividade de grãos, apesar da elevada produção de palhada pelas espécies.

No SSD, o carbono incorporado aos tecidos vegetais através da fotossíntese tem sua velocidade de decomposição reduzida, devido ao revolvimento do solo ausente ou mínimo, intensificando o processo de estabilização da MOS (STEWART et al., 2009). Além disso, os agregados do solo não são rompidos, preservando a matéria orgânica protegida no seu interior, evitando assim o ataque

por microorganismos. Segundo alguns autores, a formação de cobertura morta permite, dependendo de condições climáticas, não só a manutenção, mas também um aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000; COSTA et al., 2004). Outro fator importante no SSD que favorece o aumento no teor de MOS é o fato de se priorizar a rotação de culturas (CHUNG; GROVE, 2008; SALVO; HERNÁNDEZ; ERNST, 2010), principalmente quando há elevado aporte de resíduos vegetais, C e N, potencializando o influxo de CO<sub>2</sub> ao solo (COSTA et al., 2008).

Entre as medidas conservacionistas da qualidade do solo, o Sistema Semeadura Direta (SSD) tem sido muito utilizado e estudado na agricultura brasileira, tendo sua área estimada superado 37 milhões de hectares nos últimos anos (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2014). Vários benefícios têm sido verificados a partir uso do SSD em relação ao sistema convencional de preparo do solo, como a maior produtividade a longo prazo (FRANCHINI et al., 2009), a redução da erosão (BERTOL; FISHER, 1997; SCHICK et al., 2000), a maior retenção da umidade do solo (SALTON; MIELNICZUK; 1995), a preservação da agregação do solo, o aumento da capacidade de troca catiônica do solo, (CIOTTA et al., 2003) e a necessidade de menor investimento em fertilizantes minerais. Segundo Martha Junior et al. (2004), quanto maior a taxa de mineralização da MOS (aumento da quantidade de N-mineral no solo), menor a quantidade necessária de fertilizantes nitrogenados para atingir um determinado nível de produção de forragem.

A MOS, resultante do aporte constante de C pelos resíduos vegetais, é considerada como indicador da qualidade do solo, pois proporciona uma série de benefícios, que incluem a melhoria das características físicas (estruturação do solo, macro e microagregados, capacidade de armazenamento de água), químicas (aumento da CTC, redução da toxidez por Al<sup>+3</sup> e maior suprimento de nutrientes), biológicas (fonte de energia para os microorganismos do solo), como descrito por Bayer e Mielniczuk (2008). Segundo Follett (2001) e Nunes et al. (2011), o SSD constitui uma prática agrícola que promove o aumento no teor de MOS, tanto pelo aporte constante de material vegetal, como pela redução da taxa de decomposição da MOS.

Os preceitos da agricultura conservacionista que compõem o SSD compreendem: mobilização de solo apenas na linha ou na cova de semeadura;

manutenção dos restos culturais na superfície do solo; diversificação de espécies pela rotação, pela sucessão ou pela consorciação de culturas; proporcionando redução do intervalo de tempo entre colheita e semeadura; aporte de grande quantidade de material orgânico ao solo, com qualidade e frequência compatíveis com sua demanda biológica; e cobertura permanente do solo (DENARDIN; KOCHHANN; FAGANELLO, 2011). Porém, a compactação do solo é apontada como uma das consequências importantes resultantes dessa prática (VEIGA et al., 2008; REICHERT et al., 2009; NUNES et al., 2014).

Uma alternativa para melhorar a qualidade estrutural do solo refere-se ao uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer (SILVA; ROSOLEM, 2001). As limitações promovidas pela baixa CTC, bem como pela baixa capacidade de retenção de água nos solos, podem ser amenizadas pelo aumento da MOS (SILVA; MENDONÇA, 2007). Além disso, Calonego e Rosolem (2010) concluíram que no SSD, o cultivo de plantas de cobertura com sistema radicular volumoso e capaz de romper camadas compactadas, favorece o crescimento das raízes das plantas sucessoras mais sensíveis à compactação, como é o caso da soja, pois permite que essas aproveitem os canais deixados (“bioporos”) para crescimento em profundidade, mesmo em condições de elevada resistência mecânica à penetração detectada pelo penetrômetro.

Ehlers et al. (1983) também afirmam que em SSD os canais verticais contínuos servem como rotas, ligando a superfície do solo às camadas mais profundas, proporcionando maior colonização das raízes em profundidade. Henklain (1997) após 20 anos, observou menor densidade do solo e maior volume total de poros e macroporosidade em SSD, em comparação com outros métodos de preparo do solo. Lanzasova (2010) após 16 anos da adoção do SSD com diferentes rotações de culturas e adubos verdes, observaram menor densidade do solo e maior volume total de poros e macroporosidade em comparação com o tratamento mantido sem cobertura do solo. Calonego, Borghi e Crusciol (2011) concluíram que o cultivo de *Urochloa* em consórcio com o milho por dois anos consecutivos melhora as condições físicas e estruturais do solo na camada de 20 a 40 cm, em relação ao milho solteiro, com redução da resistência mecânica à penetração e aumento da densidade crítica do solo.

Além disso, práticas conservacionistas, como o SSD e o uso de pastagens na entressafra, que revolvem menos o solo e promovem maior aporte de resíduos orgânicos, geralmente têm sido eficientes em aumentar a estabilidade de agregados (SALTON, 2005; CALONEGO; ROSOLEM, 2008; BLANCO-CANQUI; STONE; STAHLMAN, 2010). O maior aporte de resíduos vegetais no perfil do solo, em SSD, resulta em aumento no teor de MOS, o que concorre para a formação de agregados estáveis, em razão da ação cimentante e aglutinadora que a MOS exerce sobre as partículas minerais do solo (WENDLING et al., 2005; BRAIDA et al., 2011). De acordo com Franzluebbbers (2002) e Braida et al., 2011, solos com maior teor de MOS como os conduzidos em SSD, permitem maior estabilidade do sistema poroso, aumentando a capacidade do solo em suportar cargas sem sofrer compactação adicional, pois aumenta a força de união entre as partículas, aumentando a estabilidade dos agregados.

O acúmulo de C na fração lábil, conhecida como matéria orgânica leve (MOL) ou matéria orgânica particulada (MOP), comum em SSD (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2004; DIECKOW et al., 2005; VIEIRA et al., 2007, SALTON et al., 2011), é um indicativo que esse sistema pode alterar a qualidade da MOS, a curto prazo, sem necessariamente alterar o estoque de C (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2004; COSTA et al., 2004). Essa fração lábil da MOS é caracterizada pela sua alta disponibilidade aos microorganismos do solo e pela sensibilidade às alterações do meio, como verificado por Roscoe e Burman (2003). A MOP normalmente tem influência maior sobre a agregação do solo, devido tratar-se de uma fonte mais facilmente assimilável de C e de energia pelos microorganismos heterotróficos (CHAN, 1997), cujos compostos do metabolismo microbiano atuam na estabilização de macroagregados, podendo auxiliar na proteção física da MOS (COSTA et al., 2004). No entanto, devido ao curto tempo médio de residência (TMR), há necessidade de aporte constante de material orgânico no solo, sendo os sistemas agrícolas envolvendo pastagens bem manejadas uma boa estratégia (SILVA; MENDONÇA, 2007; SALTON et al., 2011). Em estudo realizado por Rossi et al. (2012) e Loss et al. (2012) com rotações de culturas em SSD em solo de Cerrado, os autores concluíram que a introdução de *Urochloa* em rotação com soja aumentou a produção de palhada, e aumentou o acúmulo de C no solo, preferencialmente na fração correspondente à fração lábil. Nesse mesmo estudo,



Rossi et al. (2012) também verificaram aumento no teor de C na fração húmica em áreas com rotação soja/Urochloa.

Os resultados positivos no acúmulo de MOS em sistemas conservacionistas estão relacionados à redução do efluxo de C do solo para atmosfera devido à diminuição das taxas de decomposição da MOS (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2000) e devido à rotação de culturas com alto aporte de resíduos vegetais, que aumentam o influxo de C atmosférico no solo (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013). Os sistemas de manejo conservacionistas também contribuem com o sequestro de C atmosférico à medida que proporcionam maior integridade estrutural aos agregados, o que reduz a oxidação da MOS (COSTA et al., 2008). Em revisão realizada por Bayer et al. (2011) e Braida et al. (2011), os autores descrevem que a contínua deposição de resíduos vegetais estimula a formação de microagregados, que se unem para formar os macroagregados, com importante papel das hifas de fungos, das raízes de plantas e da fauna do solo (SIX et al., 2000; MIELNICZUK et al., 2003). Segundo Edwards e Bremner (1967) e Tisdall e Oades (1982), o processo de formação dos macroagregados a partir da união entre microagregados altamente estáveis resulta em incremento de C no solo.

## **2.4 Física do solo**

O surgimento de camadas compactadas em áreas agrícolas torna-se comum, seja pelas pressões externas exercidas sobre o solo, como tráfego de máquinas ou animais (LIMA et al., 2004), ou mesmo por um processo natural de acomodação das partículas constituintes do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997), fazendo com que ocorra uma reorganização dessas partículas, que passam a ocupar menor volume (DIAS JÚNIOR, 2000). Em áreas preparadas mecanicamente a compactação em subsuperfície pode ocorrer em virtude da pressão exercida pelos equipamentos de preparo do solo (grades e arados), no ponto de apoio das ferramentas no limite inferior da profundidade de trabalho (CENTURION; DEMATTÊ, 1985; PEDROTTI et al., 2001).

Hakoyama et al. (1995) observaram que, em sistema convencional, a compactação do solo localiza-se entre 8 e 27 cm de profundidade. Já em SSD essa

camada de maior densidade localiza-se mais superficialmente, entre 5 e 12 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Pedrotti et al. (2001). A maioria dos trabalhos aponta para uma compactação na camada superficial em SSD, em experimentos de curta duração (GILL; GAJRI; CHOUDHARY, 1996; FERRERAS et al., 2001; BEUTLER et al., 2001; TORMENA et al., 2002; CALONEGO; ROSOLEM, 2008).

Em decorrência do acréscimo na compactação de determinadas camadas, ocorre a redução da porosidade total, aumento da resistência à penetração das raízes e aumento da densidade do solo (BORGES et al., 1999; MORAES; BENEZ; LIBARDI, 1995), causando impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular, podendo restringir o movimento do ar e da água ao longo do perfil. Essa somatória de fatores pode acelerar o processo erosivo do solo (RICHART et al., 2005; STONE; SCHLEGEL, 2010; TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010). Segundo Marschner (1995), em solo compactado o número de macroporos é reduzido e a densidade é maior, o que, em solo seco, resulta em maior resistência física ao crescimento das raízes e em solo úmido, ocasiona falta de oxigênio para a respiração das raízes, principalmente em solo argiloso.

Torres et al. (1998) avaliando o desempenho da cultura da soja em um Nitossolo Vermelho eutrófico com diferentes níveis de compactação na camada de 8 a 16 cm, observaram que o efeito da compactação foi variável de ano para ano. Nos anos de melhor distribuição de chuvas, praticamente não ocorreu efeito da compactação sobre a produtividade da soja. No entanto, nos anos mais secos o rendimento da soja foi afetado entre valores de densidade do solo de 1,27 a 1,33 g dm<sup>-3</sup>.

Segundo Torres e Saraiva (1999) a concentração superficial de raízes em PC quase sempre está relacionada à queda de produtividade, o que pode não ocorrer em SSD, pois a manutenção da cobertura do solo com palha e o maior teor de MOS nesse sistema conservacionista mantém a umidade do solo, podendo proporcionar condições satisfatórias para o desenvolvimento das culturas.

## 2.5 Escarificação

De acordo com a American Society Of Agricultural Engineers (1997), na norma ASAE EP 291.1, os sistemas de preparo do solo são classificados em categorias, são elas: preparo convencional, que seria a combinação de duas ou mais operações, preparo reduzido, apenas uma operação, e semeadura direta, semeadura em solo não preparado. Dallmeyer (1994) cita que o preparo reduzido, por não inverter as leivas do solo, proporciona menor incorporação de resíduos vegetais em menor número de operações, sendo vantajoso em relação aos sistemas convencionais em função do menor custo do preparo e redução nas perdas de água e solo.

As mudanças na estrutura do solo e a quebra dos agregados, decorrentes do uso agrícola intensivo, normalmente restringem o crescimento radicular e reduz a exploração de água e nutrientes pelas culturas (PEDROTTI et al., 2001). Essas alterações ocasionam altos níveis de compactação, além de porosidade e velocidade de infiltração de água no solo reduzida, acúmulo de água sobre a superfície do solo e erosão hídrica (STONE; SCHLEGEL, 2010; TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010). O depauperamento físico do solo compromete o desenvolvimento das plantas e restringe a produtividade das culturas (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Nesse contexto, 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. Considerado um manejo conservacionista, os escarificadores são equipamentos preferencialmente indicados para a descompactação mecânica, devido à formação de fissuras com mínima mobilização do solo, mantendo grande parte da cobertura morta e com pequeno impacto nos teores de matéria orgânica (TORRES et al., 1998). Nesse sentido, Torres e Saraiva (1999) afirmaram que a melhoria das condições físicas do solo tem reflexos positivos na produtividade das culturas, porém o aumento da porosidade total promovida pela ação de implementos mecânicos de mobilização do solo e de rompimento da compactação não garantem o maior crescimento das raízes, pois destroem a continuidade dos macroporos. Além disso, após o manejo mecânico, caso não sejam tomadas medidas preventivas

como a utilização de plantas com sistema radicular abundante e que incrementa o teor de MOS para estabilizar os agregados do solo, a tendência é a acomodação das partículas do solo ocorrendo, com o passar do tempo, o retorno da reconsolidação do solo (KOCHHANN; DENARDIN; BERTON, 2000). Segundo Araújo et al. (2004) e Busscher, Bauer e Frederick (2002), apesar dos efeitos positivos do preparo mínimo, existem evidências de que esses efeitos são de curta duração, de acordo com Calonego e Rosolem (2008; 2010), os efeitos da escarificação sobre as propriedades físicas do solo não persistem por mais de três anos. Nunes et al. (2014) observaram que os efeitos da escarificação do solo em profundidade mostraram-se mais efêmeros do que em superfície, contudo, o melhor desenvolvimento radicular e a tendência do engrossamento dos colmos indicam que a escarificação do solo possibilitou melhor desenvolvimento das plantas nos primeiros cultivos subsequentes à operação.

### **3 OBJETIVO**

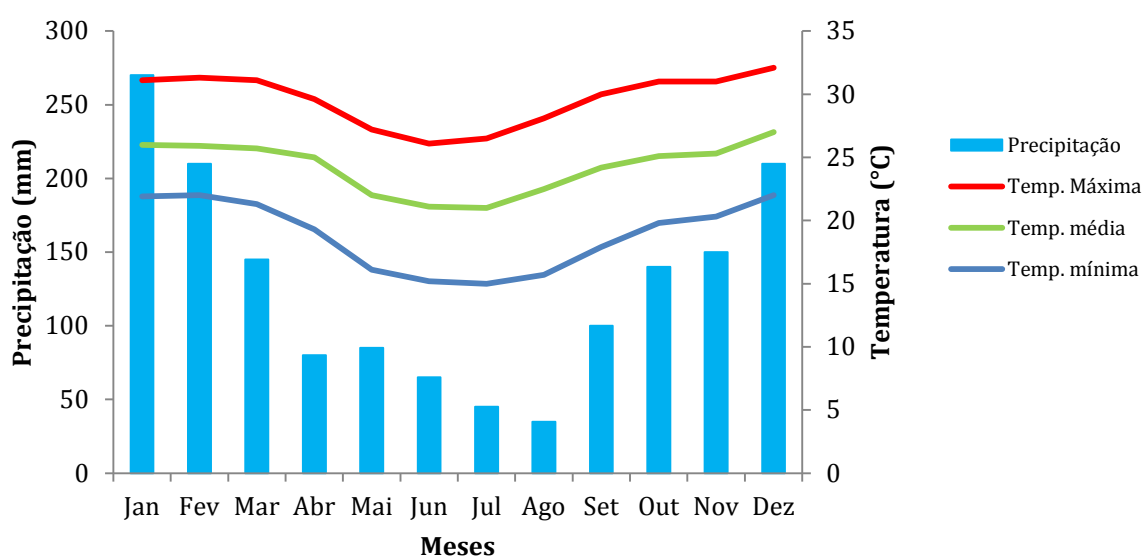
Objetivou-se com esse trabalho verificar o efeito do preparo mínimo do solo com escarificador e do uso de adubos e corretivos realizados em pastagem degradada, visando melhorar o ambiente de produção de soja e forragem de inverno.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Localização e características da área experimental

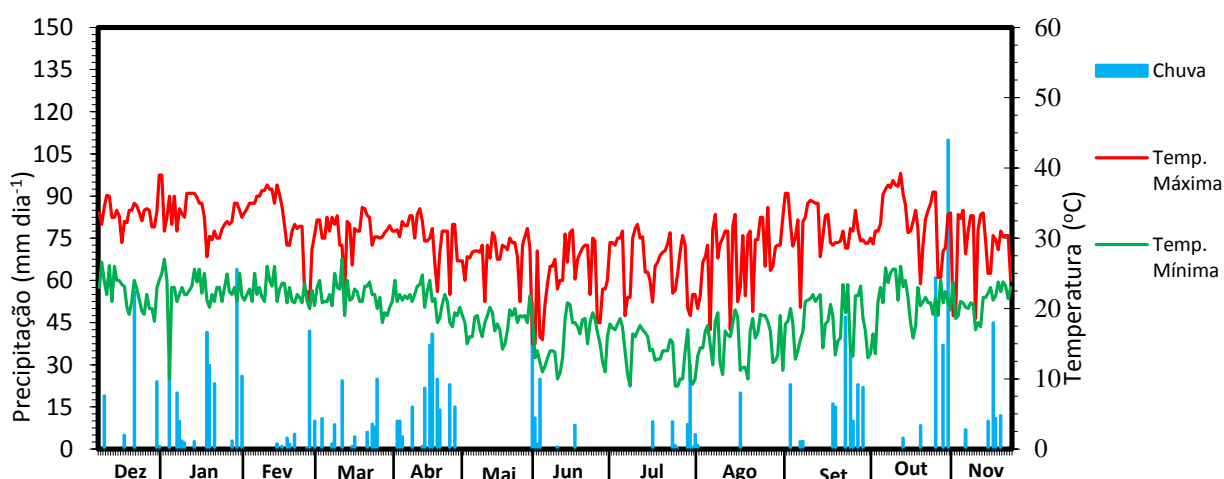
O experimento foi instalado em Julho de 2013 em área de pastagem extensiva na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) com relevo suave ondulado. O teor de argila na camada de 0-20 cm é de  $160 \text{ g Kg}^{-1}$ , e o de areia é de  $783 \text{ g Kg}^{-1}$ , segundo análise de solo realizada no início do experimento. A localização da área experimental está definida pelas coordenadas geográficas:  $22^{\circ} 07' 32''$  Latitude Sul e  $51^{\circ} 23' 20''$  Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 475 metros. O clima da região de Presidente Prudente-SP, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com temperaturas médias anuais em torno de  $25^{\circ}\text{C}$  e regime pluvial caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso de outubro a março e outro de baixa precipitação pluvial de abril a setembro (Figura 1).

**Figura 1.** Dados Climáticos e Pluviométricos da Região Oeste Paulista, média de 24 anos. Ciiagro, 2015.



Além da característica de ter um período seco no ano, a região passa rotineiramente por períodos de veranicos, podendo chegar a 50 dias sem uma chuva de mais que 15 mm no período entre junho e julho, e até 20 dias sem pluviosidade superior a 15 mm em outubro, como exemplificado na Figura 2.

**Figura 2.** Dados diários climáticos e pluviométricos para a região oeste paulista, de Dezembro de 2013 a Novembro de 2014. Unoeste, 2014.



## 4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em faixas, em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. A área experimental, de 60225 m<sup>2</sup>, considerada homogênea por ter recebido sempre o mesmo manejo químico e físico do solo, e por ter sido ocupada sempre com pastagem, foi dividida em dois talhões de 167 m de largura por 160 m de comprimento cada. Em Julho de 2013 um dos talhões foi manejado mecanicamente com escarificador hidráulico tipo “mata broto” modelo EBT 165-M, IKEDA, regulado para atuar a uma profundidade de 30 cm, tracionado por um trator de 175 cv. Já o outro talhão não foi escarificado. Nessa ocasião, foram delimitados cinco piquetes de 32 m de largura por 167 m de comprimento dentro de cada talhão, os quais receberam cinco diferentes manejos químicos, sendo esses:

- 1- Sem adubação e sem calagem (testemunha);
- 2- Com aplicação de calcário;

- 3- Com aplicação de calcário+gesso;
- 4- Com aplicação de calcário+gesso+NPK;
- 5- Com aplicação de calcário+gesso+NPK+micronutrientes;

### 4.3 Condução do experimento

Em julho de 2013 foram retirados os animais da área para vedação do pasto e foi realizada a escarificação do talhão que compreendia esse manejo. Também foram coletadas amostras de solo para caracterização física e química nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Além disso, fez-se a aplicação de calcário e gesso nos tratamentos que compreendiam esse manejo químico, utilizou-se o calcário dolomítico com 28,6% de CaO, 16,3% de MgO e PRNT de 84%, na dose de 1200 kg ha<sup>-1</sup> para elevar a SB a 70% segundo Raji et al. (1997). Nos tratamentos com gessagem utilizou-se o gesso agrícola com as seguintes características, 26% de CaO e 15% de S, na dose de 1000 kg ha<sup>-1</sup> para elevar o V% a 50% (VITTI, 2004). As correções químicas foram lançadas em área total com auxílio de calcareadeira JAN.

Para os tratamentos envolvendo NPK, em Setembro de 2013 aplicou-se 50, 90 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Foi aplicado 50 kg de Nitrogênio, sendo considerados 13 kg ha<sup>-1</sup> de N via adubo formulado 08-28-16 e o restante complementado do uréia. O P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi aplicado todo via adubo formulado 08-28-16. E o potássio foi aplicado via formulado 8-28-16, que forneceu 50,9 kg ha<sup>-1</sup>, sendo o restante complementado e via KCl, visando elevar a o teor de K em 4% da CTC.

Nos tratamentos envolvendo aplicação de micronutrientes, realizou-se em outubro de 2013 a aplicação de 0,5, 1,0, 0,5 e 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de B, Zn, Cu e Mn, respectivamente. As fontes utilizadas foram ácido bórico, sulfato de zinco, sulfato de cobre e sulfato de manganês. Foi aplicado em toda área 1,964 Kg ha<sup>-1</sup> de S (elementar), com exceção dos tratamentos que envolviam adubação com micronutrientes, para balancear o enxofre aplicado via sulfato.

Ainda em outubro de 2013, fez-se a dessecação da forrageira com herbicida dessecante, glyphosate, com volume de calda de 330 L ha<sup>-1</sup> na dose de 2,4 kg ha<sup>-1</sup> de i.a.



Na semeadura da soja foram utilizadas sementes tratadas com 10 ml de inseticida Cropstar por Kg de semente, 9 g de inoculante turfoso por Kg de semente e 7,5 g de Profol NiCoMo Dry por Kg de semente (2,4% Co, 26% Mo e 1,2% Ni). O cultivar utilizado foi o BMX Potência RR, peneira 6,5, no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e 17 sementes por metro (5 cm de profundidade) com semeadora de 7 linhas John Deere, série 1100, com auxílio de facão de corte.

A colheita da soja foi realizada por meio de máquina colhedora de parcela Marca Jumil, modelo JM 390, arrastada com trator de 145 cv, em fevereiro de 2014. Após a colheita, foi realizada a semeadura da *Urochloa brizantha* cv Marandu, utilizando o equivalente a 35 sementes  $m^{-1}$  por meio de semeadora, com disco de corte, colocando as sementes a 2 cm de profundidade, com espaçamento de 0,45 m entrelinhas. A forrageira foi conduzida por aproximadamente 60 dias, quando foram introduzidos os animais na área (bovinos de corte com peso médio de 350 kg), oriundos de um lote homogêneo, respeitando uma lotação de 2,3 UA  $ha^{-1}$ . Os animais foram mantidos na área até rebaixamento do pasto a uma altura entre 20 e 30 cm do solo, respeitando um período de descanso da forrageira entre 30 e 40 dias.

Em setembro de 2014 a área foi vedada e em outubro de 2014 foram realizadas a dessecação da pastagem e semeadura da soja conforme realizado na safra 2013/2014.

#### **4.4 Coleta e análises de solo**

Em Outubro de 2013, foram abertas 4 trincheiras na parcela testemunha com escarificação e 4 trincheiras na parcela testemunha sem escarificação, cada trincheira apresentava 1 m de profundidade x 1 m de largura x 1 m de comprimento. Para avaliar a densidade do solo, a porosidade total, a macro e a microporosidade, utilizou-se procedimento descrito em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). As amostragens foram realizadas no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, utilizando um suporte de aço para anel volumétrico, denominado “castelinho”, que, com o auxílio de marreta de 1 kg, introduziu anéis volumétricos de 5 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro no solo. Após a coleta das amostras, ainda no campo, retirou-se o excesso de solo dos bordos dos

anéis com o auxílio de um estilete. Posteriormente, os anéis volumétricos foram vedados com tampas plásticas para evitar possíveis danos e deformações, e armazenados em refrigerador a 2 °C. Em seguida, as amostras indeformadas foram colocadas para saturar em bandejas plásticas com cerca de 2/3 da altura dos anéis. Para evitar a perda de solo, o bordo inferior do anel foi envolvido com tecido de poliéster e atilho de borracha, permitindo somente a passagem da água. Após 48 horas de imersão das amostras, obteve-se a massa saturada das amostras, e em seguida, por meio de mesa de tensão (KIEHL, 1979), iniciou-se a drenagem das amostras na tensão de 0,006 MPa, obtendo a massa úmida das amostras em equilíbrio nessa tensão, para em seguida serem colocadas para secar a 105° C por 48 horas em estufa de aeração forçada para obtenção de massa de solo seco.

Obteve-se a densidade aparente como quociente da massa das amostras secas a 105° C e o volume do anel volumétrico. Considerando que a tensão de drenagem de 0,006 MPa é necessária para retirar a água situada nos macroporos, foi possível determinar o volume de microporos de acordo com procedimentos descritos em Danielson et al. (1986). Com a diferença entre a massa das amostras saturadas com água e secas a 105 °C, e com volume conhecido das amostras, calculou-se a porosidade total. A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Para avaliação da estabilidade de agregados com agitação via seca (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997; KIEHL, 1979), monólitos de aproximadamente 10 cm de altura, 10 cm de largura e 10 cm comprimento foram retirados das trincheiras nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm com auxílio de uma espátula. Os agregados foram pré-selecionadas, fazendo-se o destorroamento manual dos monólitos, respeitando os pontos de fratura do solo. O material destorroadado foi colocado sobre uma peneira com malha de 4 mm, tendo logo abaixo uma peneira com malha de 2 mm. Foram utilizados 100 gramas de solo que passou pela peneira de 4 mm e ficou retido na de 2 mm, que foi colocado sobre um jogo de peneiras sobrepostas com malhas de 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,105 mm. As peneiras foram submetidas a um agitador de peneiras, modelo Produteste Mod T, marca Granuteste, a 10 rpm por 20 min. Após o período de agitação, o material de cada peneira foi coletado e pesado e a partir dos valores de massa, e conhecendo-se os teores de umidade das amostras originais de solo submetidas ao tamisamento, foram calculados a porcentagem de agregados retidos

na peneira de 2 mm (agregados > 2 mm), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG). Também foi calculado o índice de estabilidade de agregados (IEA), conforme Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998). Para as determinações de DMP, DMG e IEA foram utilizadas as equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

**Equação 1.** DMP = diâmetro médio ponderado (mm);  $\bar{x}_i$  = diâmetro médio das classes de tamanho de agregados (mm);  $w_i$  = massa das classes de tamanho de agregados após a secagem (g).

$$\text{DMG} = \exp\left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i}\right]$$

**Equação 2.** DMG = Diâmetro médio geométrico (mm);  $\bar{x}_i$  = diâmetro médio das classes de tamanho de agregados (mm);  $w_i$  = massa das classes de tamanho de agregados após a secagem (g).

$$\text{IEA} = \frac{w_s - w_{<0,25}}{w_s} \cdot 100$$

**Equação 3.** Índice de estabilidade de agregados (%);  $w_s$  = massa da amostra original de solo após a secagem (g);  $w_{<0,25}$  = massa de agregados menores que 0.25 mm (g).

Também nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação do grau de flocculação e dos teores de argila dispersa em água. O procedimento consistiu em colocar 20 g de solo (TFSA) em copo plástico de 250 ml. Adicionou-se 100 ml de água e 10 ml de solução normal de hidróxido de sódio. Agitou-se com bastão de vidro e deixando em repouso durante uma noite. O conteúdo foi transferido para copo metálico do agitador elétrico “stirrer” com o auxílio de um jato de água, deixando o volume em torno de 300 ml. Colocou-se o copo no agitador e proceder à agitação durante 5 minutos. Passou-se o conteúdo através de peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº 270), colocada sobre um funil apoiado em um suporte, tendo logo abaixo uma proveta de 1.000 ml ou um cilindro de sedimentação. Lavou-se o material retido

na peneira com água e completou-se o volume do cilindro até o aferimento, com o auxílio de uma pisseta. Agitou-se a suspensão durante 20 segundos com um bastão, tendo este, na sua extremidade inferior, uma tampa de borracha contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que o da proveta. Preparou-se a prova em branco, colocando o dispersante utilizado em proveta de 1000 ml contendo água. Completou-se o volume, agitou-se durante 20 s e colocou-se em pipetador automático de borracha, até a profundidade de 5 cm, e coletou-se a suspensão, que foi transferida para o bequer de vidro numerado e de peso conhecido, juntamente com a porção proveniente da lavagem da pipeta. A operação foi repetida para a prova em branco. Colocou-se os bequers na estufa até evaporar completamente a suspensão, concluindo, assim, a determinação da argila e do resíduo da prova em branco, através da equação 4 (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

$$TA = (A + D) - D \times 1000$$

**Equação 4.** Teor de argila (g); A = Argila (g); D = Dispersante (g).

Para a determinação da argila dispersa em água, colou-se 50 g de solo em copo plástico de 250 ml. Adicionou-se 125 ml de água, foi agitado com bastão de vidro, e deixado em repouso durante uma noite. Transferiu-se o conteúdo para o copo do agitador, procedeu-se a agitação, passou-se o material através da peneira de 0,053 mm, lavou-se as areias, completou-se o volume para 1000 ml, agitou-se a suspensão por 20 segundos, paralelamente, efetuou-se uma prova em branco (Equação 5).

$$A = 20x(a + b)$$

**Equação 5.** A = Teor de argila dispersa em água; a = leitura da amostra; b = leitura da prova em branco.

Para a determinação do grau de floculação, utilizou-se a equação 6.

$$GF = \frac{100(a - b)}{a}$$

**Equação 6.** GF = Grau de floculação; a = argila; b = argila dispersa em água.

Em outubro 2013 e em maio de 2014, após o estabelecimento da pastagem foram realizadas avaliações de resistência à penetração com utilização de um Penetrômetro de impacto (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1983; STOLF, 1991). Com os dados de número de impactos  $\text{dm}^{-1}$  para aprofundamento da haste em três pontos por parcela, calculou-se a média de RP em MPa multiplicando o resultado obtido pela equação de Stolf pela constante 0,0981 nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 cm. Os testes de RP foram efetuados sempre com a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

Em outubro de 2014, antes da dessecação da pastagem, foram coletadas, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, novas amostras com estrutura indeformada, conforme realizado em 2013, porém, avaliando todas as parcelas. Nessa ocasião também foram coletados monólitos de solo para nova avaliação da estabilidade de agregados, conforme procedimentos descritos anteriormente. O solo retido em cada peneira foi utilizado para análise de C e N, para avaliação do fracionamento físico do C e N, ou seja, para avaliação do C e N em macro, meso e microagregados. Foram considerados macroagregados o solo retido nas peneiras de 1 e 2 mm, os mesoagregados o solo retido nas peneiras de 0,25 e 0,5 mm, e os microagregados o solo com diâmetro de agregados menor que 0,25 mm. Após esse agrupamento em macro, meso e microagregados, o solo foi encaminhado para o Laboratório de Relação Solo-Planta do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da FCA/UNESP – Botucatu (SP) para análise dos teores de C e N em analisador elementar automático (LECO-TruSpec<sup>®</sup> CHNS), considerado como padrão mundial de determinação da matéria orgânica do solo (SWIFT, 1996). Para essa avaliação utilizou-se amostras de solo apenas da camada de 0 a 10 cm de profundidade. Por ocasião da coleta de amostras de solo, em outubro de 2014, também foi realizada nova avaliação da compactação do solo por meio de testes de resistência mecânica à penetração com penetrômetro de impacto (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1983; STOLF, 1991), conforme descrito anteriormente.

#### **4.5. Avaliação da umidade do solo**

Durante o cultivo da soja da safra 2014/2015 foi monitorada a umidade do solo para verificar os tratamentos que permitem a maior conservação da água em momentos críticos de desenvolvimento da soja, ou seja, na germinação/emergência, florescimento pleno e enchimento dos grãos, sempre após um período de estiagem. Para isso, foi realizada amostragem de solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, com trado tipo sonda. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos vedados e em caixas térmicas. Após cada coleta as amostras foram encaminhadas para determinação da umidade gravimétrica (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

#### **4.6. Produtividade de forragem e grãos**

A colheita da soja foi realizada com auxílio de máquina colhedora de cereais JM 390. Para determinação da produtividade das safras 2013/2014 e 2014/2015, de cada parcela, foram coletadas separadamente em sacos de rafia quatro repetições de 20m lineares de 10 linhas por tratamento e cada saco foi pesado individualmente e as massa obtidas foram convertidas para  $\text{Mg ha}^{-1}$ , com correção do teor de umidade nos grãos para 13%.

A produção de matéria seca da *Urochloa* foi estimada por meio de uma moldura de madeira quadrangular (0,5 m x 0,5 m), a qual foi lançada quatro vezes por tratamento de forma aleatória, toda a massa de forragem existente na área da molduram foram cortadas rentes ao solo e encaminhadas para o laboratório de tecido vegetal da UNOESTE, onde foram secas em estufa de aeração forçada a 65°C até atingir massa constante. Em seguida esses materiais tiveram a massa seca determinada e o resultado convertido em  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Este procedimento foi realizado para a pastagem já existente na área, no ano de 2013 e para a pastagem após soja, no ano de 2014.

#### **4.7. Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

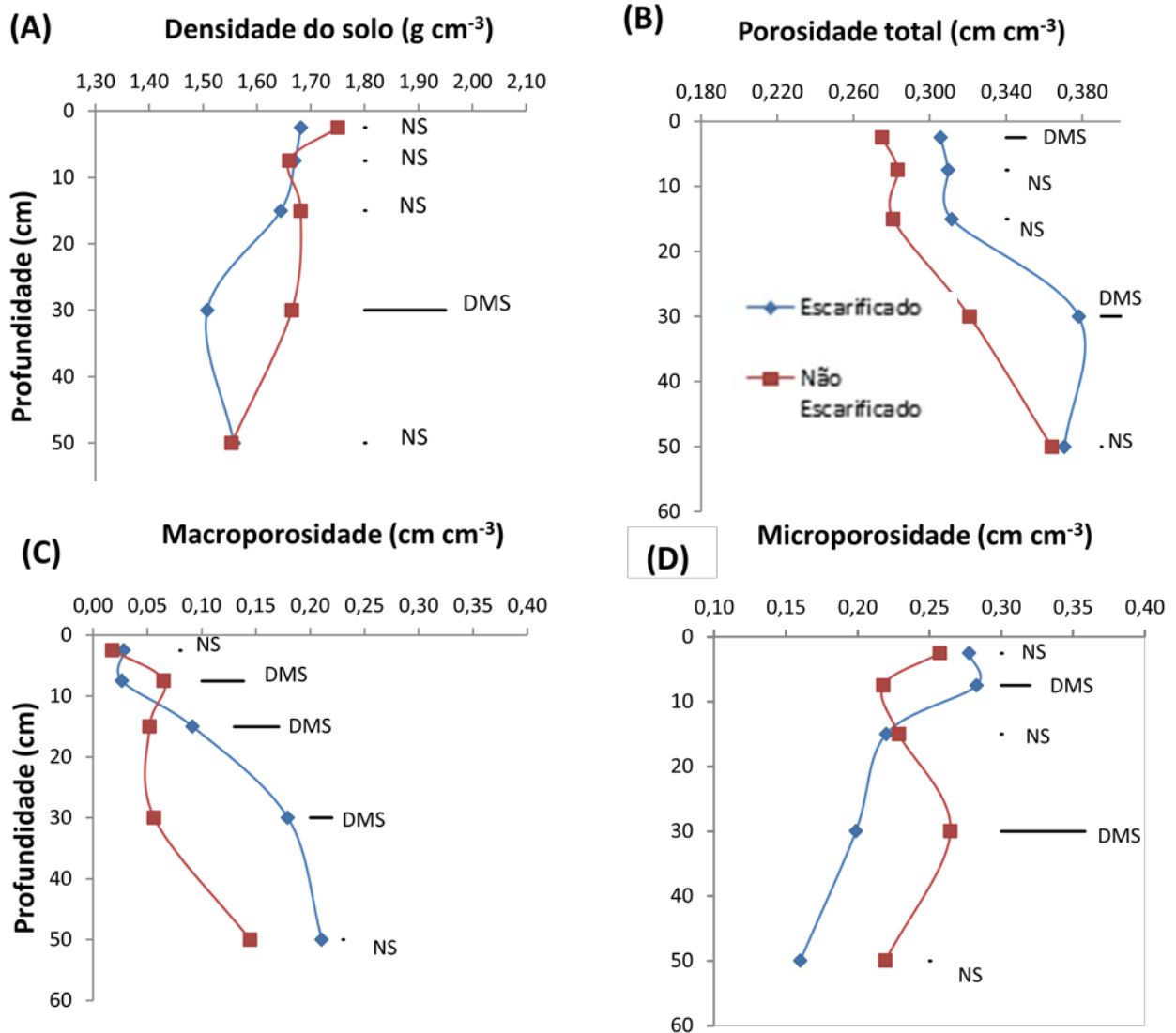
### **5.1 Densidade, porosidade total, macro e microporosidade**

A escarificação do solo realizada em julho de 2013 promoveu redução da compactação do solo e melhoria das propriedades físicas, constatadas em avaliação realizada três meses após a realização da operação, sendo esses resultados mais evidentes na camada de 20 a 40 cm de profundidade. Nos resultados apresentados na figura 3 observa-se, em área escarificada, menor densidade do solo na camada de 20-40 cm (Figura 3A), maior porosidade total nas camadas de 0-5 e 20-40 cm (Figura 3B), maior macroporosidade nas camadas de 5-10, 10-20 e 20-40 cm (Figura 3C) e redução da microporosidade na camada de 20-40 cm (Figura 3D). Porém, verificou-se na camada de 5-10 cm que a escarificação prejudicou a relação entre macro e microporos, pois reduziu a macroporosidade e aumentou a microporosidade do solo.

Nas avaliações realizadas em outubro de 2014 verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores testados (manejo físico e químico do solo). Houve efeito do manejo físico para a porosidade total nas camadas de 0-10 e 20-40 cm de profundidade, e para a densidade do solo na camada de 40-60 cm. Não houve efeito do manejo químico nesses parâmetros avaliados (Tabela 1).



**Figura 3.** Densidade do solo (A), porosidade total (B), macro (C) e microporosidade (D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2013, no centro das camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente.



Para os resultados de porosidade e densidade do solo obtidos em amostras coletadas um ano após o início do experimento, verificou-se que em áreas não escarificadas houve aumento da porosidade total (Figura 4 A) com relação à avaliação de 2013, fazendo com que os valores de porosidade atingissem valores semelhantes aos obtidos com a escarificação e até mesmo superiores, como observados na camada de 0-10 cm de profundidade, indicando que a escarificação

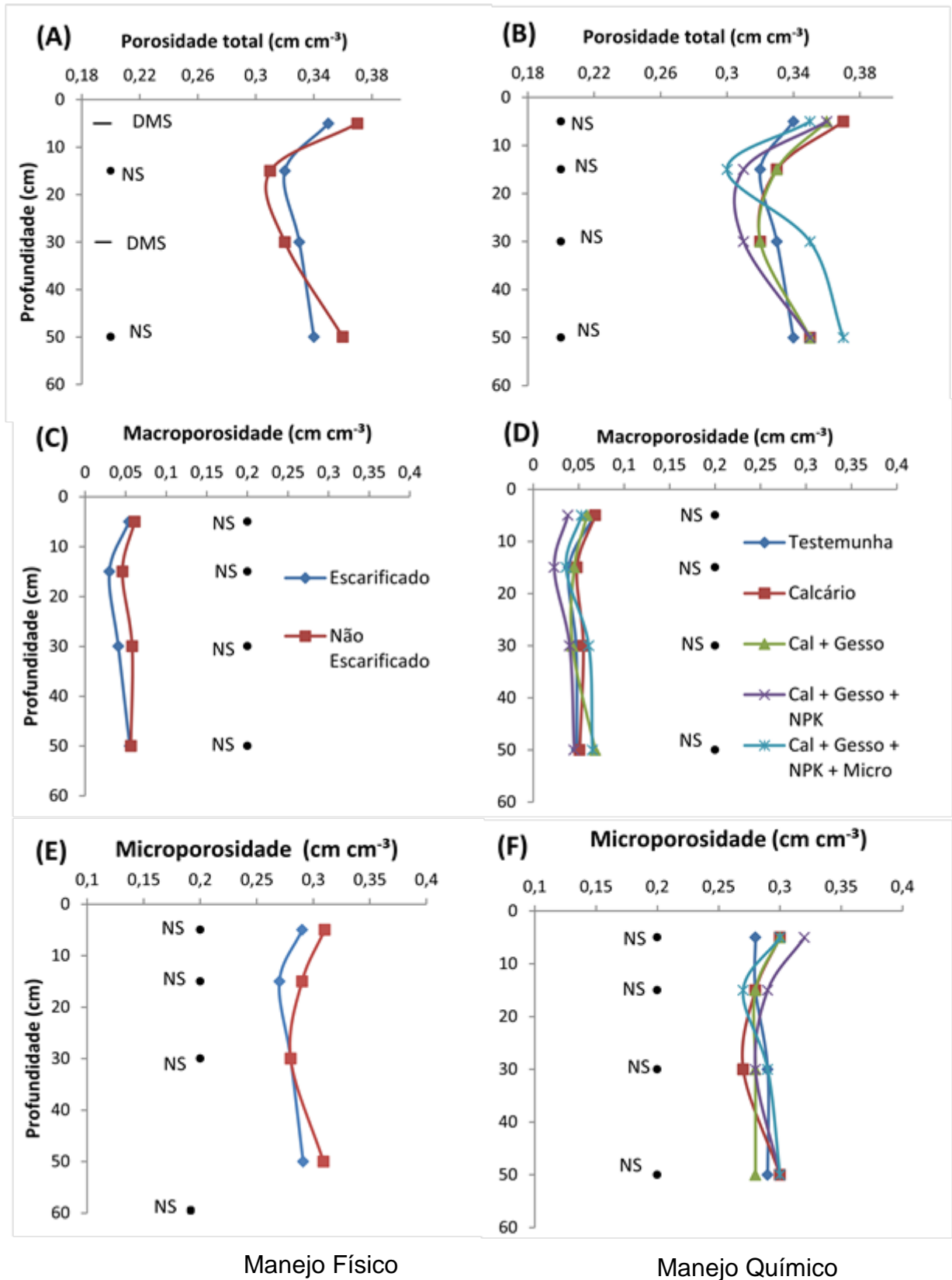
tem efeito imediato e não duradouro no aumento da porosidade total, como mencionado por Araújo et al. (2004), Busscher, Bauer e Frederick (2002) e Calonego (2007), os quais alegam que apesar dos efeitos positivos da escarificação, existem evidências de que esses efeitos são de curta duração. No caso da densidade do solo observou-se inclusive aumento da densidade do solo na camada de 40-60 cm no tratamento com escarificação (Figura 5A).

**Tabela 1.** Valores de F calculado e coeficiente de variação em função do manejo físico e químico do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014.

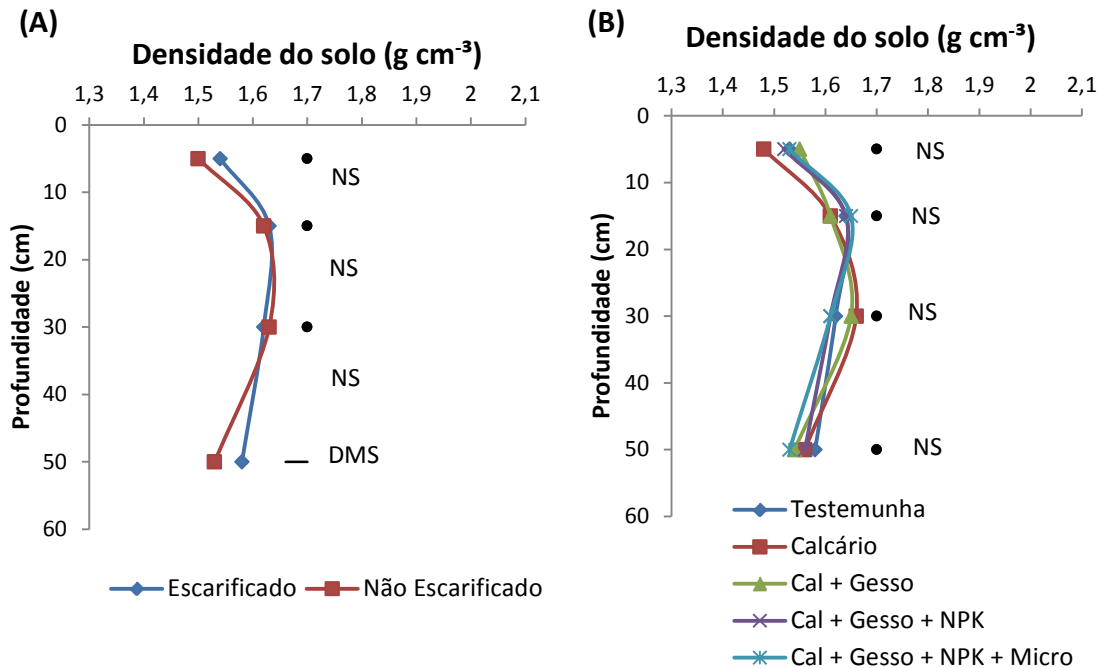
Fatores de Variação	Porosidade Total	Microporosidade	Macroporosidade	Densidade do solo
<b>Camada de 0 a 10 cm</b>				
Escarificação (MF)	23,934*	0,575ns	0,0300ns	2,379ns
Manejo Químico (MQ)	0,630ns	1,539ns	0,980ns	0,412ns
MFxMQ	2,081ns	1,935ns	0,558ns	2,398ns
C. V. (MF)	3,24	15,82	65,86	5,64
C. V. (MQ)	10,56	12,22	60,03	7,17
<b>Camada de 10 a 20 cm</b>				
Escarificação (MF)	1,443ns	3,810ns	4,890ns	0,048ns
Manejo Químico (MQ)	0,757ns	0,197ns	0,467ns	0,519ns
MFxMQ	0,394ns	0,066ns	0,184ns	0,608ns
C. V. (F)	5,43	12,71	57,89	3,59
C. V. (MQ)	10,45	16,37	106,49	4,65
<b>Camada de 20 a 40 cm</b>				
Escarificação (F)	20,037*	0,058ns	20252ns	0,490ns
Manejo Químico (MQ)	1,365ns	0,620ns	0,859ns	0,851ns
FxMQ	0,376ns	0,380ns	1,013ns	0,574ns
C. V. (F)	3,15	9,13	71,12	2,73
C. V. (MQ)	9,61	11,2	52,75	4,27
<b>Camada de 40 a 60 cm</b>				
Escarificação (MF)	5,959ns	3,652ns	0,073ns	11,577*
Manejo Químico (MQ)	1,343ns	1,316ns	1,224ns	1,300ns
FxMQ	0,652ns	1,531ns	0,898ns	1,231ns
C. V. (F)	7,04	5,15	27,16	2,54
C. V. (MQ)	6,24	7,63	47,82	3,5

Ns = não significativo, \* = significativo a 5% pelo teste Tukey.

**Figura 4.** Porosidade total (A,B), macro (C,D) e microporosidade (E,F) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014, no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, em função do manejo físico (A,C,E) e químico do solo (B,D,F). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente.



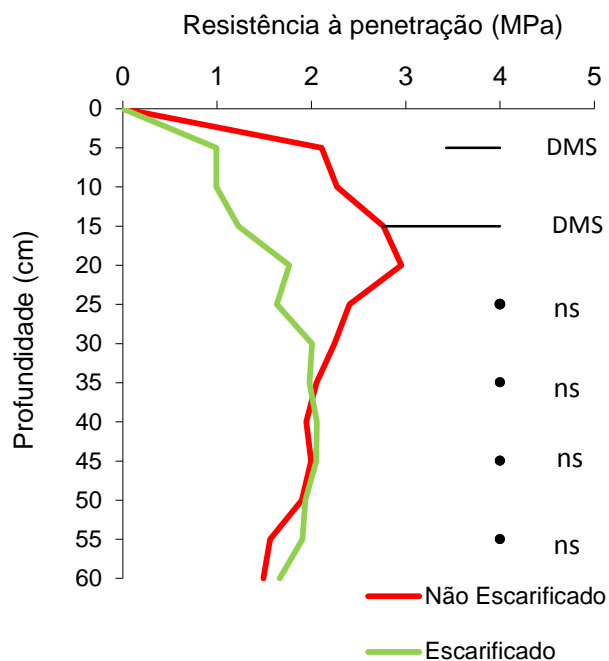
**Figura 5.** Densidade do solo em amostragem realizada em outubro de 2014, no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, em função do manejo físico (A) e químico do solo (B). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente.



## 5.2. Resistência à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) também reduziu logo após a escarificação do solo, em teste realizado em outubro de 2013 (três meses após a escarificação), porém com efeito significativo somente até 15 cm de profundidade (Figura 6). Calonego e Rosolem (2008) também constataram efeito da escarificação na redução da RP, porém com o uso de escarificador com hastes, sendo os efeitos significativos observados até 25 cm de profundidade.

**Figura 6.** Resistência do solo à penetração até 60 cm de profundidade, em avaliação realizada em Outubro de 2013, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). NS e DMS = não significativo e diferença mínima significativa a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente.



Em teste de RP realizado em maio de 2014 (após a colheita da soja e antes da entrada dos animais na área), verificou-se novamente efeito da escarificação, sendo constatados menores valores de RP em área submetida a esse manejo mecânico do solo, nas profundidades de 5 e 25 cm de profundidade. Porém, a 60 cm de profundidade observou-se maior RP em área escarificada (Tabela 2), talvez pelo resultado da pressão exercida pela ferramenta de preparo do solo (haste do escarificador).

Nessa avaliação de compactação do solo observou-se efeito do manejo químico, com maiores valores de RP no tratamento testemunha, ou seja, que não recebeu calagem, gesso e fertilizantes. Esse efeito foi significativo na profundidade de 15 cm do perfil do solo. Esse resultado possivelmente está relacionado à maior produção de raízes da *Urochloa* e da soja em solos corrigidos e adubados, favorecendo a descompactação do solo. Segundo Calonego e Rosolem (2010), os sistemas de manejo do solo que proporcionam maior ocupação do solo por raízes ajudam a diminuir a RP do solo. E Castro, Calonego e Crusciol (2011)

enfaticamente que a correção da acidez do solo melhora as suas condições físicas, inclusive com redução da RP, sendo esses resultados atribuídos à maior produção de raízes pelas plantas.

**Tabela 2.** Resistência do solo à penetração em diferentes em avaliação realizada em maio de 2014.

Fatores de Variação	Profundidades						
	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	45 cm	55 cm	60 cm
Com escarificação	1,21 A	2,02 A	1,94 A	1,61 A	1,49 A	1,34 A	1,39 B
Sem escarificação	1,37 B	2,85 A	2,33 B	1,67 A	1,48 A	1,24 A	1,30 A
Testemunha	1,36 a	3,93 b	2,66 b	1,99 b	1,77 b	1,32 a	1,42 a
Calcário	1,29 a	2,11 a	2,13 ab	1,78 ab	1,35 ab	1,21 a	1,21 a
Cal + Gesso	1,26 a	2,03 a	1,97 ab	1,55 ab	1,40 ab	1,41 a	1,41 a
Cal + Gesso + NPK	1,28 a	2,29 a	2,02 ab	1,65 ab	1,65 ab	1,32 a	1,39 a
Cal + Gesso + NPK + Micro	1,26 a	1,84 a	1,91 a	1,25 a	1,26 a	1,21 a	1,30 a
<b>Anava</b>							
Manejo Físico (MF)	16,64*	4,792 ns	12,210*	0,119 ns	0,005 ns	2,007 ns	16,909*
Manejo Químico (MQ)	0,42 ns	5,90*	3,16*	4,63*	3,65*	0,94 ns	0,67 ns
MF x MQ	0,21 ns	0,39 ns	1,77 ns	1,77 ns	0,99 ns	0,91 ns	0,83 ns
CV% (MF)	9,82	48,86	16,64	32,96	24,31	17,34	4,67
CV% (MQ)	14,23	40,35	22,53	21,72	21,34	19,75	23,23

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si dentro cada profundidade de amostragem. Letras maiúsculas comparam o manejo físico e letras minúsculas o manejo químico do solo. Ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação de RP realizada em outubro de 2014, após a retirada dos animais da área e antes da semeadura da soja da safra 2014/2015, não observou-se mais efeito isolado da escarificação do solo na RP do solo. Ocorreu interação significativa entre os manejos físico e químico do solo na camada de 35 cm de profundidade (Tabela 3). As áreas escarificadas apresentaram menor resistência à penetração quando foi realizado manejo químico com Calcário, Gesso e NPK ou Calcário, Gesso, NPK e Micronutrientes. Em área não escarificada a menor RP foi observada com o tratamento envolvendo a aplicação de Calcário, Gesso e NPK. A escarificação do solo promoveu menor RP apenas em área que recebeu também a aplicação de calcário (Tabela 4).

**Tabela 3.** Resistência do solo à penetração em diferentes profundidades, nas avaliações realizadas em outubro de 2014.

Tratamentos	Profundidades						
	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	45 cm	55 cm	60 cm
Com escarificação	1,33 A	2,04 A	2,21 A	2,19	1,94 A	1,71 A	1,73 A
Sem escarificação	1,34 A	2,15 A	2,75 A	2,24	1,71 A	1,51 A	1,46 A
Testemunha	1,35 a	2,39 a	2,32 a	2,21	1,81 a	1,60 a	1,63 a
Calcário	1,33 a	2,21 a	3,39 b	2,59	1,78 a	1,64 a	1,64 a
Cal + Gesso	1,28 a	2,25 a	2,19 a	2,55	1,76 a	1,52 a	1,54 a
Cal + Gesso + NPK	1,28 a	1,79 a	2,29 a	1,60	1,53 a	1,54 a	1,47 a
Cal + Gesso + NPK + Micro	1,45 a	1,83 a	2,22 a	2,14	2,24 a	1,75 a	1,69 a
<b>Anava</b>							
Manejo Físico (MF)	0,046 ns	0,200 ns	2,864 ns	0,116 ns	0,460 ns	4,790 ns	4,647 ns
Manejo Químico (MQ)	1,576 ns	1,084 ns	7,003*	6,078*	2,185 ns	0,550 ns	0,524 ns
MF x MQ	0,935 ns	0,538 ns	1,615 ns	5,944*	3,552*	1,892 ns	2,495 ns
CV% (MF)	19,41	37,36	40,7	21,08	57,95	18,7	24,62
CV% (MQ)	11,67	34,39	21,92	20,6	26,83	22,18	21,14

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si dentro cada profundidade de amostragem. Letras minúsculas comparam o manejo físico e letras minúsculas o manejo químico do solo. Ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

**Tabela 4.** Desdobramento dos resultados de resistência do solo à penetração nas profundidades de 35 e 45 cm, para a avaliação realizada em outubro de 2014.

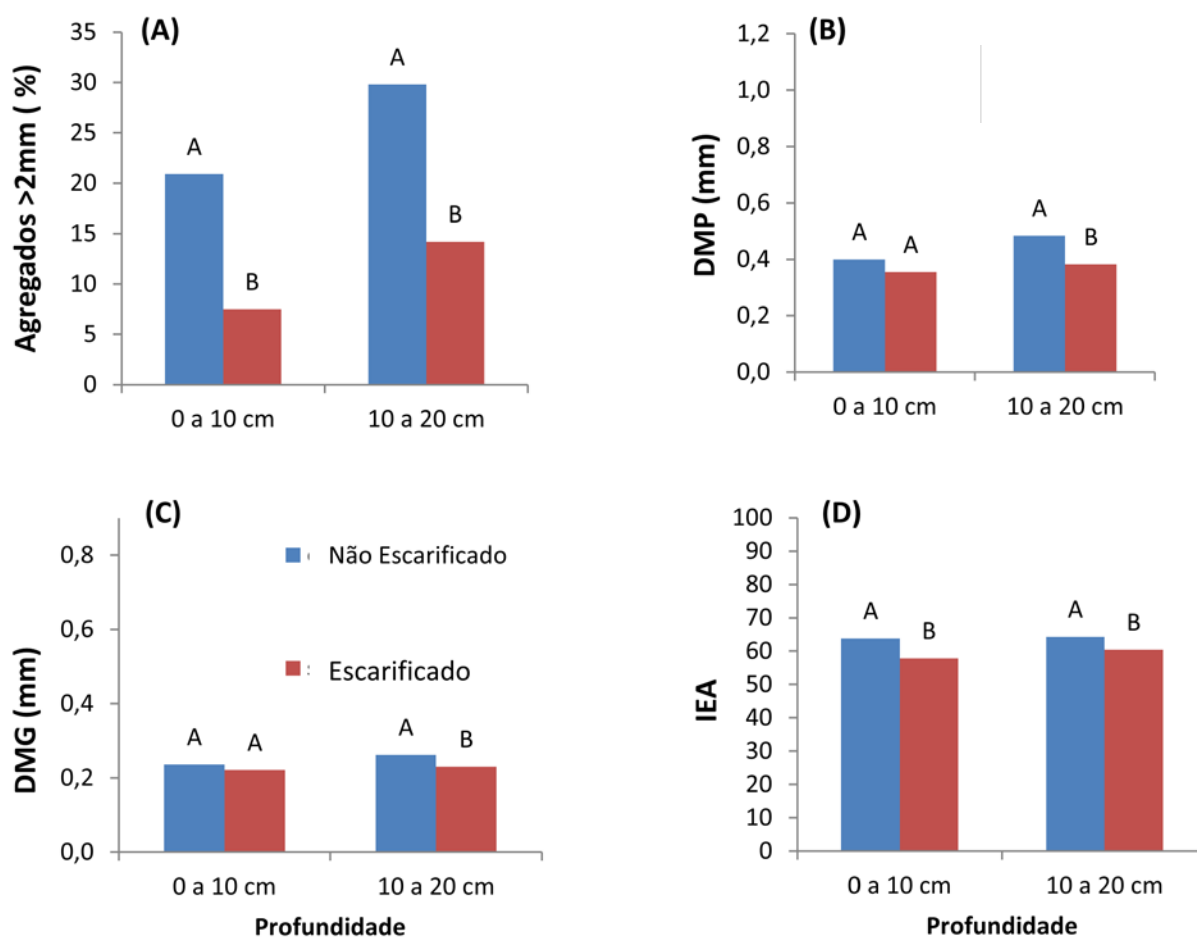
Tratamentos	Escarificado	Não escarificado	Escarificado	Não Escarificado
	35 cm		45 cm	
	-----MPa-----			
Testemunha	2,52 aAB	1,90 aAB	1,75 aA	1,88 aA
Calcário	2,01 aAB	3,18 bC	1,49 aA	2,07 aA
Cal + Gesso	2,86 aB	2,25 aABC	1,86 aAB	1,67 aA
Cal + Gesso + NPK	1,74 aA	1,47 aA	1,79 aA	1,28 aA
Cal + Gesso + NPK + Micro	1,86 aA	2,43 aBC	2,82 bB	1,66 aA

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 5.3. Estabilidade de agregados

Na primeira avaliação de estabilidade de agregados realizada em solo coletado em outubro de 2013, apenas para avaliar o efeito do manejo físico do solo com escarificador, verificou-se que a escarificação, diminuiu a porcentagem de agregados maiores que 2 mm (Figura 7A), e foi responsável pela redução do índice de estabilidade de agregados nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Figura 7D), pela redução do diâmetro médio geométrico (Figura 7C) e do diâmetro médio ponderado (Figura 7B) na camada de 10 a 20 cm. Isso demonstra que, apesar de ser um equipamento considerado como de preparo mínimo do solo, causa uma certa desestruturação da sua estrutura, já que reduz a proporção de macroagregados e aumenta de microagregados, o que é um sinal de desestruturação do solo.

**Figura 7.** Agregados maiores que 2 mm (A), diâmetro médio geométrico (DMG, B), diâmetro médio ponderado (DMP, C) e índice de estabilidade de agregados (IEA, D), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, em amostragem realizada em outubro de 2013, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). Letras iguais, comparando na mesma profundidade, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.





Para a avaliação da estabilidade de agregados com amostras coletadas em outubro de 2014 (avaliando o manejo físico e químico), a análise de variância não indicou diferença significativa entre os tratamentos para a camada de 0-10 cm de profundidade. Para a camada de 10-20 cm a Anava indicou efeito apenas do manejo físico para agregados maiores que 2 mm, DMP e IEA (Tabela 5).

**Tabela 5.** Valores de F calculado e coeficiente de variação para os resultados de agregados maiores que 2 mm (agregados >2mm), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA), nas camadas de 0-10 e 10-20cm de profundidade, em função do manejo físico e químico do solo.

Fatores	>2mm	DMP	DMG	IEA
<b>Camada de 0 a 10 cm</b>				
Escarificação (MF)	3,325 ns	3,861 ns	3,336 ns	6,855 ns
Manejo Químico (MQ)	0,514 ns	0,297 ns	0,416 ns	0,147 ns
MFxMQ	1,388 ns	1,229 ns	1,187 ns	1,779 ns
C.V. (MF)	78,52	64,91	74,09	16,17
C.V. (MQ)	76,12	44,82	55,08	10,57
<b>Camada de 10 a 20 cm</b>				
Escarificação (MF)	9,318*	9,991*	3,112 ns	13,880*
Manejo Químico (MQ)	0,555 ns	0,640 ns	0,766 ns	0,694 ns
MFxMQ	0,226 ns	0,277 ns	0,114 ns	0,536 ns
C.V. (MF)	82,31	55,62	71,48	16,67
C.V. (MQ)	71,8	58,24	63,62	14,47

Ns = não significativo, \* = significativo a 5% pelo teste Tukey.

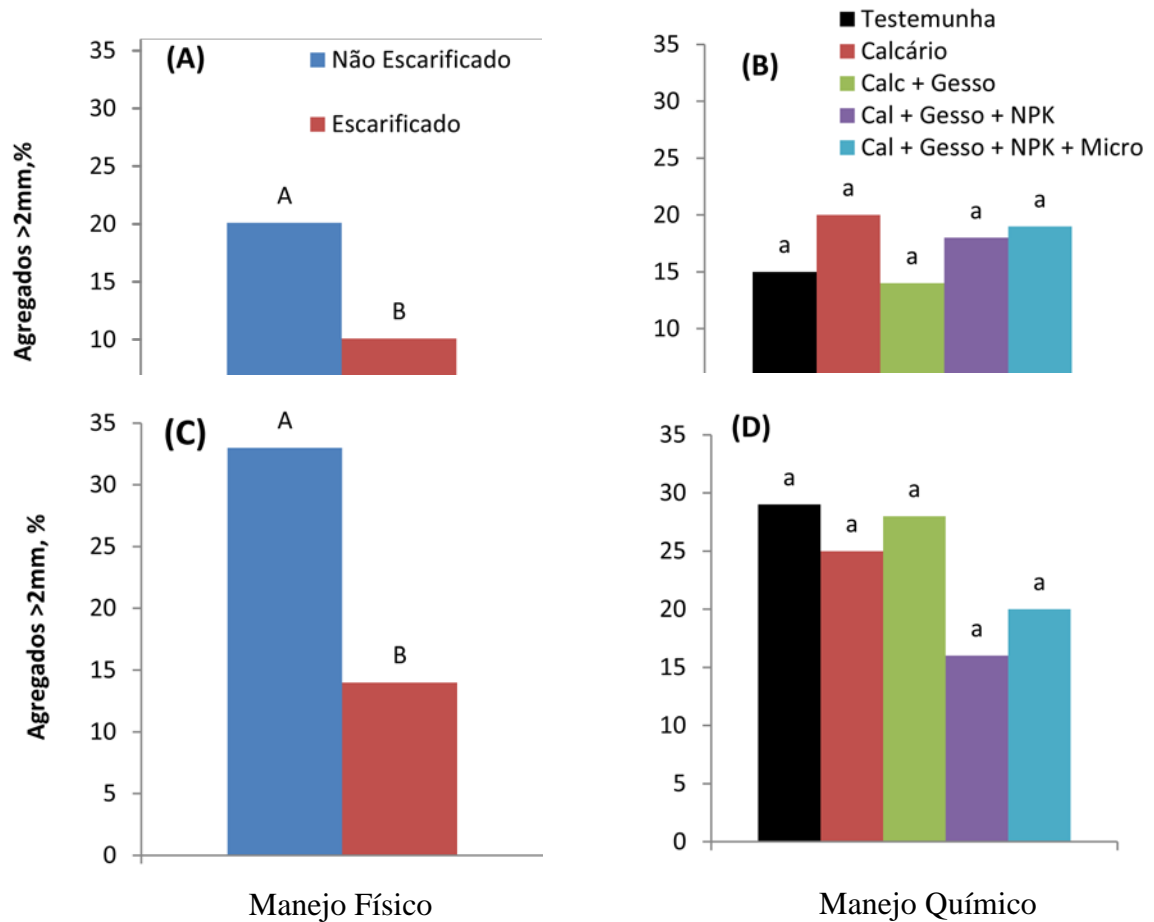
Já o teste de médias revelou que o manejo físico do solo influenciou significativamente na estabilidade de agregados tanto na camada de 0-10 cm como na de 10-20 cm, não sendo observados efeitos do manejo químico (Figuras 8,9 e 10). De forma geral, em área que não foi submetida ao manejo físico com escarificador, obteve-se maior porcentagem de agregados > 2 mm (Figura 8), além de agregados com maior DMG (Figura 9), DMP (Figura 10) e maior IEA (Figura 11), em ambas as camadas amostradas.

Esses resultados indicam que a escarificação prejudicou a formação de agregados, enquanto a manutenção da área sem o manejo físico foi suficiente para manter a agregação do solo, inclusive com ganhos na estruturação em relação com a avaliação realizada no ano anterior. Isso comprova a importância do cultivo de

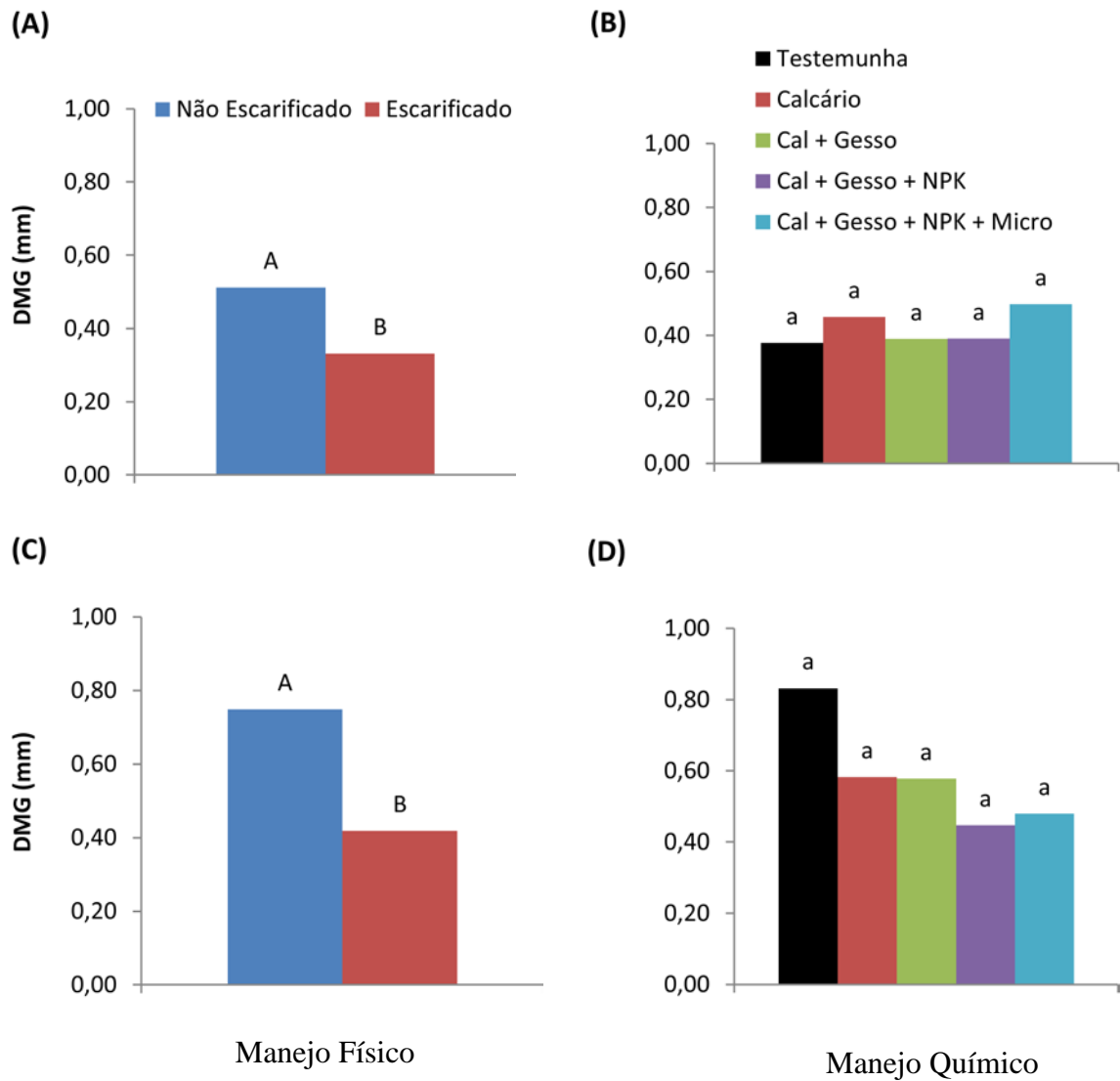
plantas com grande produção de raízes na estruturação do solo, como mencionado por Calonego e Rosolem (2008) e Castro, Calonego e Crusciol (2011). Segundo esses autores, a agregação do solo, dimensionada na proporção de agregados de maior diâmetro, no diâmetro médio ponderado (DMP), no diâmetro médio geométrico (DMG) e no índice de estabilidade de agregados (IEA), é geralmente favorecida pelo manejo de sistemas de culturas com grande capacidade de formação de raízes e incremento de matéria orgânica, incluindo-se frações lábeis e estáveis (CASTRO; CALONEGO; CRUSCIOL, 2011). A contribuição da matéria orgânica do solo (MOS) na formação de agregados estáveis é atribuída a processos como a formação de pontes catiônicas, a cimentação entre partículas e a estabilidade promovida por exsudatos radiculares e microbianos ao redor e dentro de agregados (TISDALL; OADES, 1982; CASTRO et al., 2015).

O crescimento das raízes no perfil do solo favorece a agregação das partículas, favorecendo o processo de recuperação de solos degradados ou compactados (GARCIA; ROSOLEM, 2013; CASTRO; CALONEGO; CRUSCIOL, 2011). Sendo assim, as gramíneas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular (CALONEGO; ROSOLEM, 2010) são melhores opções para serem usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo, seja pela melhor distribuição dos exsudatos radiculares, ou pelo fato do crescimento das raízes promove a aproximação das partículas minerais à medida que exercem pressão sobre as mesmas no seu avanço pelo espaço poroso, além disso, a absorção de água pelo sistema radicular também causa secamento na região adjacente às raízes, promovendo aumento na força de coesão entre as partículas.

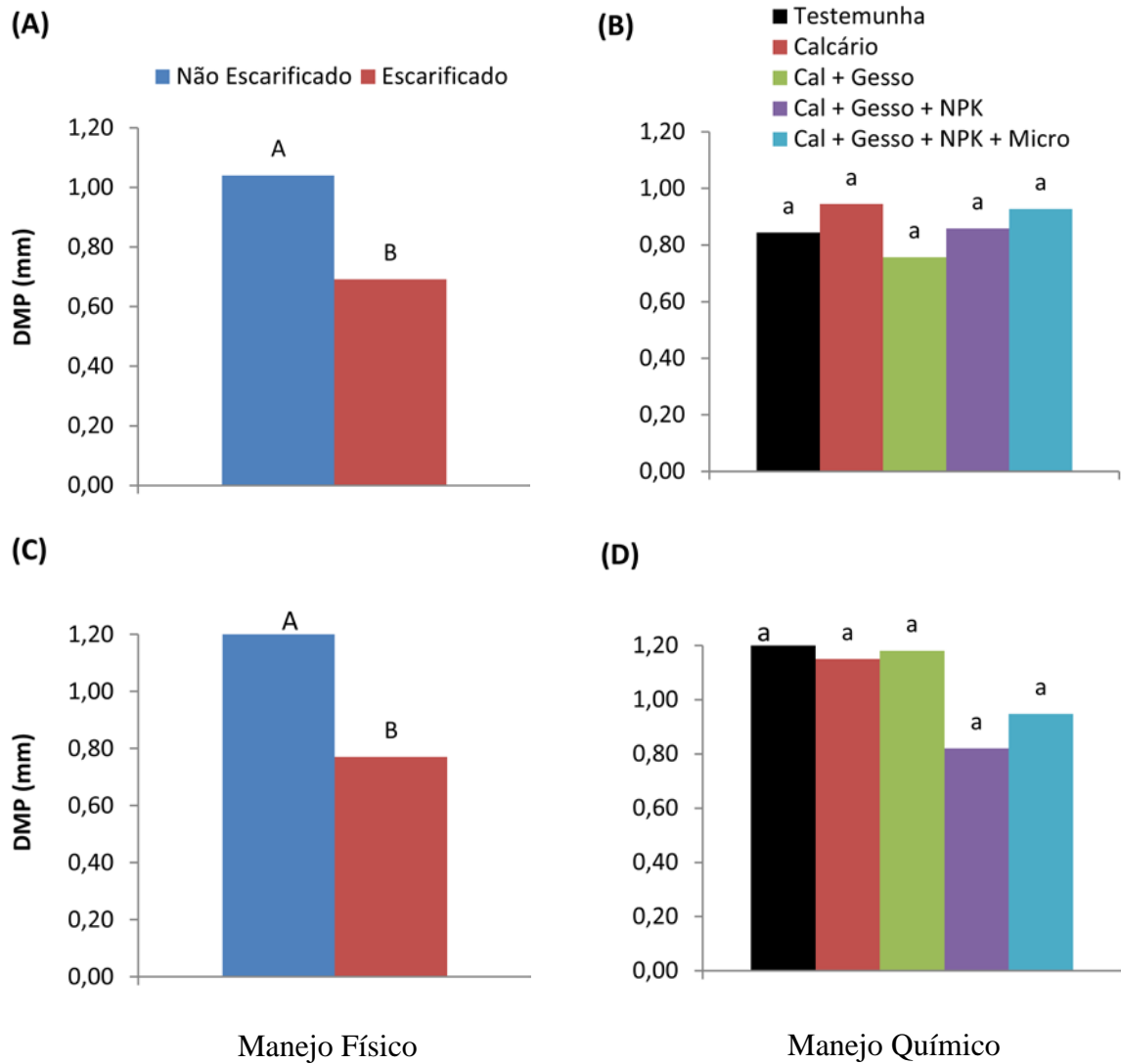
**Figura 8.** Agregados maiores que 2 mm, nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função do manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.



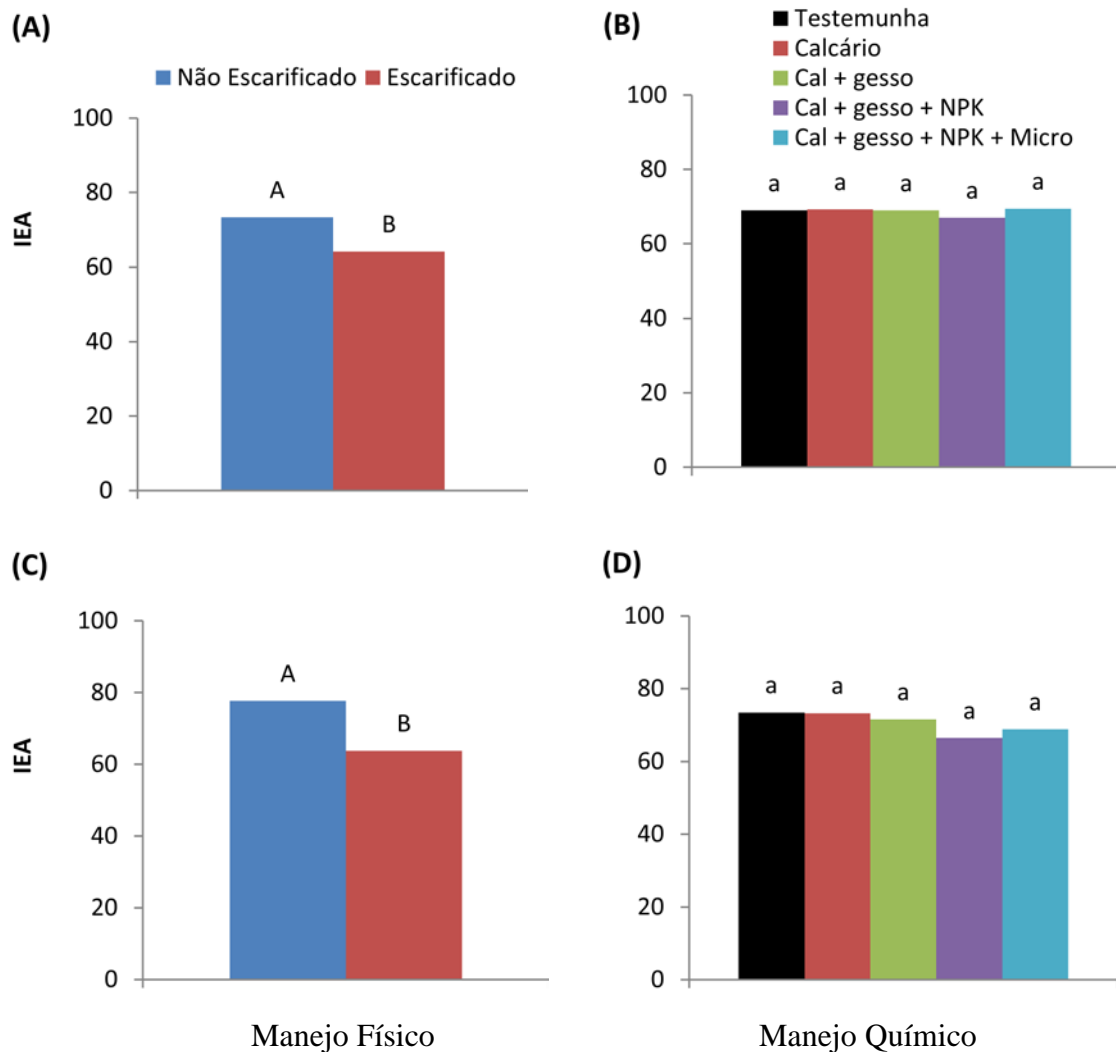
**Figura 9.** Diâmetro médio geométrico (DMG), nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.



**Figura 10.** Diâmetro médio ponderado (DMP), nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.



**Figura 11.** Índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-10 cm (A,B) e 10-20 cm (C,D) de profundidade, em função da manejo físico (A,C) e químico (B,D) do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.



#### 5.4. Grau de floculação da argila e argila dispersa em água

Na Tabela 6 estão os resultados de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação da argila (GF) do solo das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Observou-se interação significativa entre os fatores de variação para a ADA na camada de 0-10 cm e para o GF em ambas as camadas.

**Tabela 6.** Resultados de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação do solo (GF), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade, em função do manejo físico e químico do solo.

Tratamentos	ADA (g kg <sup>-1</sup> )		GF (%)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Com escarificação	31,65	55,95 A	78,65	61,05
Sem escarificação	39,35	66,70 A	73,60	67,15
Testemunha	65,37	60,25 ab	57,37	69,00
Calcário	61,50	54,37 ab	60,12	70,50
Cal + Gesso	29,87	67,37 ab	79,75	58,12
Cal + Gesso + NPK	10,62	76,87 b	91,25	52,62
Cal + Gesso + NPK + Micro	10,12	47,75 a	92,12	70,25
<b>Anava</b>				
Manejo Físico (MF)	15,320*	3,406 ns	7,865 ns	4,189 ns
Manejo Químico (MQ)	17,52*	30,04*	60,657*	6,745*
MF x MQ	6,310*	2,274 ns	6,007*	4,010*
CV% (MF)	17,52	30,04	7,48	14,7
CV% (MQ)	28,32	31,15	7,93	13,96

Médias seguidas de mesma letra, na coluna e dentro de cada fator de variação, não diferem entre si dentro cada profundidade de amostragem. Letras maiúsculas comparam o manejo físico e letras minúsculas o manejo químico do solo. Ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

No desdobramento da interação para os resultados de ADA e GF do solo da camada de 0-10 cm (Tabelas 7 e 8, respectivamente) fica evidente o efeito da aplicação de corretivos e fertilizantes na redução dos teores de ADA e aumento do GF. A aplicação de Calcário + Gesso + NPK e Cal + Gesso + NPK + Micronutrientes em área escarificada e de Calcário + Gesso, Calcário + Gesso + NPK e Calcário + Gesso + NPK + Micronutrientes em área não escarificada aumentaram os teores de ADA (Tabela 7), sendo esses resultados acompanhados pelo GF, apresentados na tabela 8. Esses resultados podem estar relacionados ao efeito da correção da fertilidade do solo em aumentar a capacidade do solo em estabelecer pontes catiônicas entre seus minerais devido ao aumento da CTC proporcionada pela correção da acidez, já que se trata de um solo com cargas dependentes de pH, e da presença de cátions polivalentes, responsáveis em estabelecer as pontes entre as partículas coloidais do solo (CASTRO et al., 2015). Na comparação entre as áreas com e sem escarificação verificou-se que, na

camada de 0-10 cm, em área escarificada o GF foi menor quando aplicou-se calcário+gesso. Já na camada de 10-20 cm o GF foi maior em área escarificada no tratamento com calcário + gesso e menor com calcário+gesso+NPK (Figura 8).

**Tabela 7.** Desdobramento dos resultados de argila dispersa em água do solo, na camada de 0-10 cm de profundidade.

Tratamentos	Escarificado	Não escarificado
	-----g kg <sup>-1</sup> -----	
Testemunha	57,0 bA	73,7 bB
Calcário	68,0 bA	55,0 bA
Cal + Gesso	46,2 bB	13,5 aA
Cal + Gesso + NPK	13,7 aA	7,5 aA
Cal + Gesso + NPK + Micro	8,5 aA	11,7 aA

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Desdobramento dos resultados de grau de floculação do solo, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade.

Tratamentos	Escarificado	Não escarificado	Escarificado	Não Escarificado
	0-10 cm		10-20 cm	
	-----%-----			
Testemunha	61,7 bA	53,0 aA	73,2 aA	64,7 aA
Calcário	57,5 bA	62,7 aA	71,7 aA	69,2 aA
Cal + Gesso	69,5 bB	90,0 aA	71,2 aA	45,0 bB
Cal + Gesso + NPK	88,2 aA	94,2 aA	48,7 bB	56,5 aA
Cal + Gesso + NPK + Micro	91,0 aA	93,2 aA	70,7 aA	69,7 aA

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

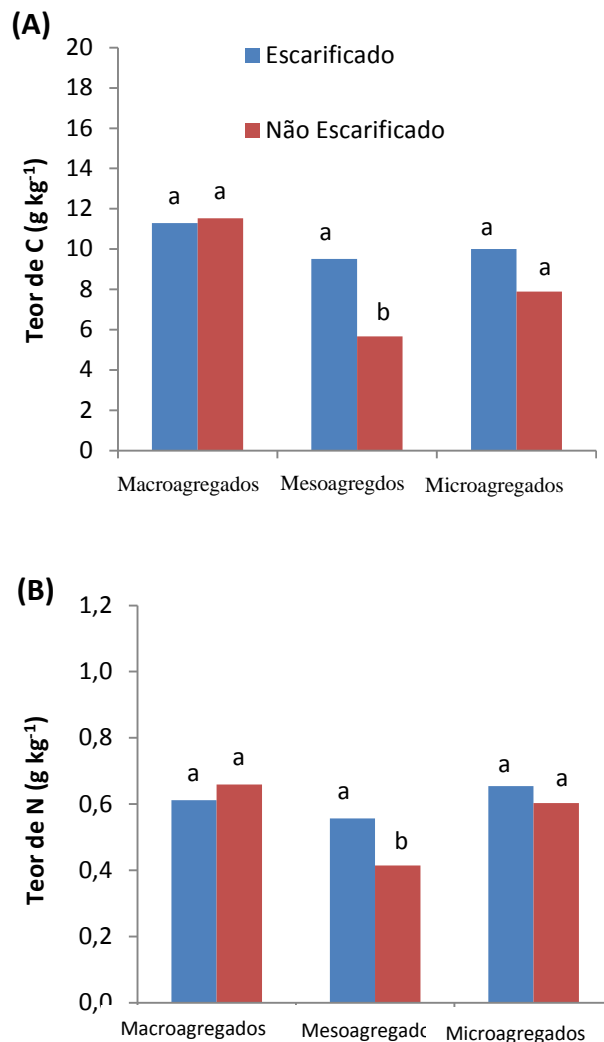
## 5.5 Fracionamento físico de C e N no solo

No fracionamento físico do C e N do solo coletado em outubro de 2013, verificou-se que em área escarificada encontraram-se os maiores teores de C e N nos mesoagregados (Figura 12), o que pode ser explicado pela formação de mesoagregados a partir de macroagregados através do manejo com escarificador, já que nos resultados revelaram redução do DMP, DMG e IEA com o uso de escarificador (Figuras 9, 10 e 11). Já nos resultados de análise de solo da



amostragem de outubro de 2014, observou-se interação significativa entre os fatores testados para os teores de C em meso e macroagregados. O manejo físico influenciou nos teores de C e N em micro e mesoagregados (Tabela 9). Verificou-se que o manejo químico afetou os teores de C em todas as frações de agregados avaliadas e não influenciou nos teores de N (Tabela 9).

**Figura 12.** Teores de carbono (A) e nitrogênio (B) em macro, meso e microagregados do solo, da camada de 0-10 cm de profundidade, em amostragem realizada em outubro de 2013, em função do manejo físico do solo (com e sem escarificação). Letras iguais, comparando na mesma fração, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



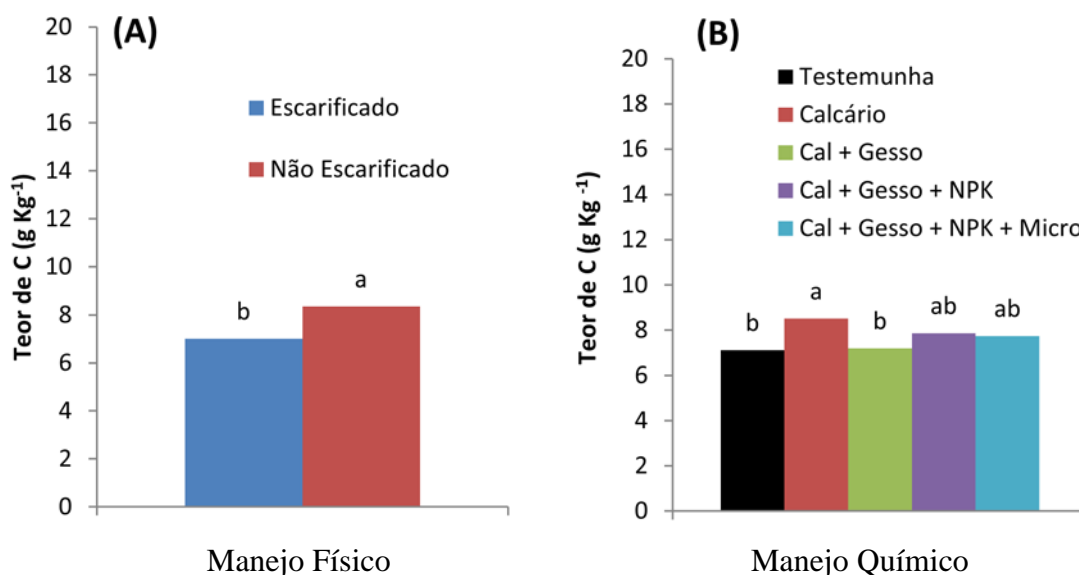
**Tabela 9.** Valores de F calculado e coeficiente de variação para os resultados de C e N em macro, meso e microagregados do solo, em amostragem realizada em outubro de 2014, na camada de 0-10 cm de profundidade, em função do manejo físico e químico do solo.

Tratamentos	Microagregados	Mesoagregados	Macroagregados
<b>Teores de C</b>			
Escarificação (MF)	22,928*	27,776*	1,181 ns
Manejo Químico (MQ)	3,675*	4,578*	5,710*
MF x MQ	1,645 ns	5,406*	5,710*
C.V. (MF)	11,59	10,05	11,93
C.V. (MQ)	10,88	11,72	18,33
<b>Teores de N</b>			
Escarificação (MF)	12,262*	19,308*	1,942 ns
Manejo Químico (MQ)	1,192 ns	1,821 ns	2,041 ns
MF x MQ	0,631 ns	2,210 ns	1,101 ns
C.V. (MF)	14,43	14,38	28,04
C.V. (MQ)	25,47	16,4	33,02

Ns = não significativo, \* = significativo a 5% pelo teste Tukey.

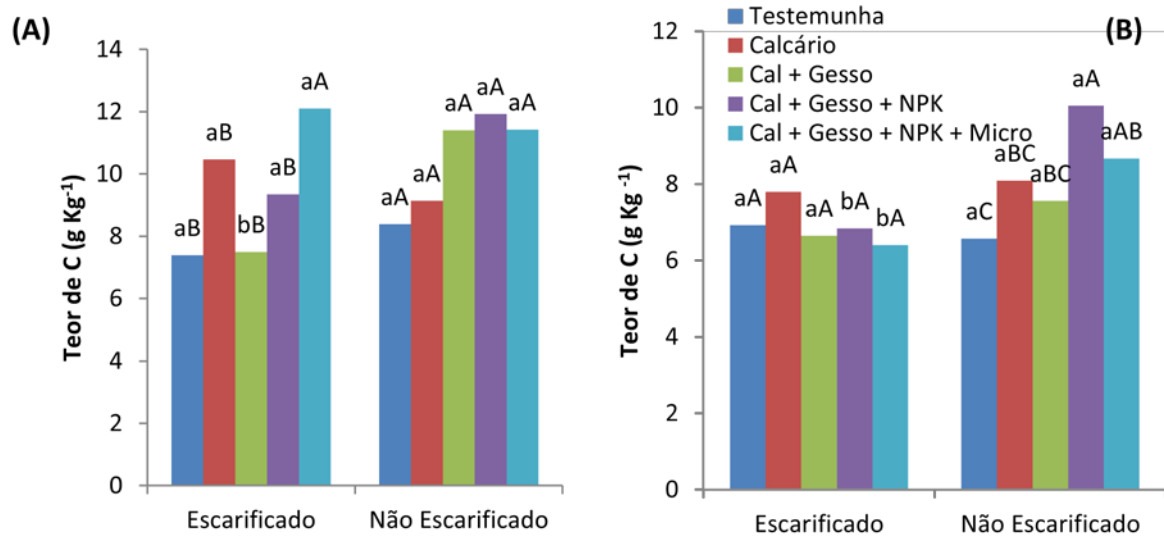
Como já era esperado, em área não escarificada os teores de C em microagregados foram superiores aos teores obtidos em área escarificada (Figura 13A), apesar do manejo com escarificador ter proporcionado maior quantidade de agregados nessa fração, conforme resultados de IEA (Figura 11). Esse resultado pode ser explicado pelo efeito do manejo mecânico do solo da quebra de agregados (inclusive de microagregados) expondo a MO protegida ao processo de degradação. A mesma discussão se aplica aos resultados de N apresentados na Figura 15. Quanto ao manejo químico, verificou-se que o uso exclusivo de calcário aumentou o teor C em microagregados, diferindo significativamente do tratamento testemunha e do calcário+gesso. O maior teor de C em microagregados no tratamento com calcário em relação à testemunha pode estar relacionado à maior formação de microagregados através de pontes catiônicas (CASTRO et al., 2015), já que se trata de um solo como cargas variáveis (dependente de pH). Porém, quando aplicou-se calcário+gesso houve uma redução nos teores de C em microagregados (Figura 13 B), mesmo havendo nesse tratamento maior GF da argila (Tabela 6). No entanto, é importante salientar que o aumento do teor de C no solo será resultado de ações que promovam aumento do aporte de MO, maior proteção física dessa MO e redução da decomposição da MO.

**Figura 13.** Teores de C em microagregados, em função da manejo físico (A) e químico (B) do solo, em amostragem realizada na camada de 0-10 cm de profundidade, em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

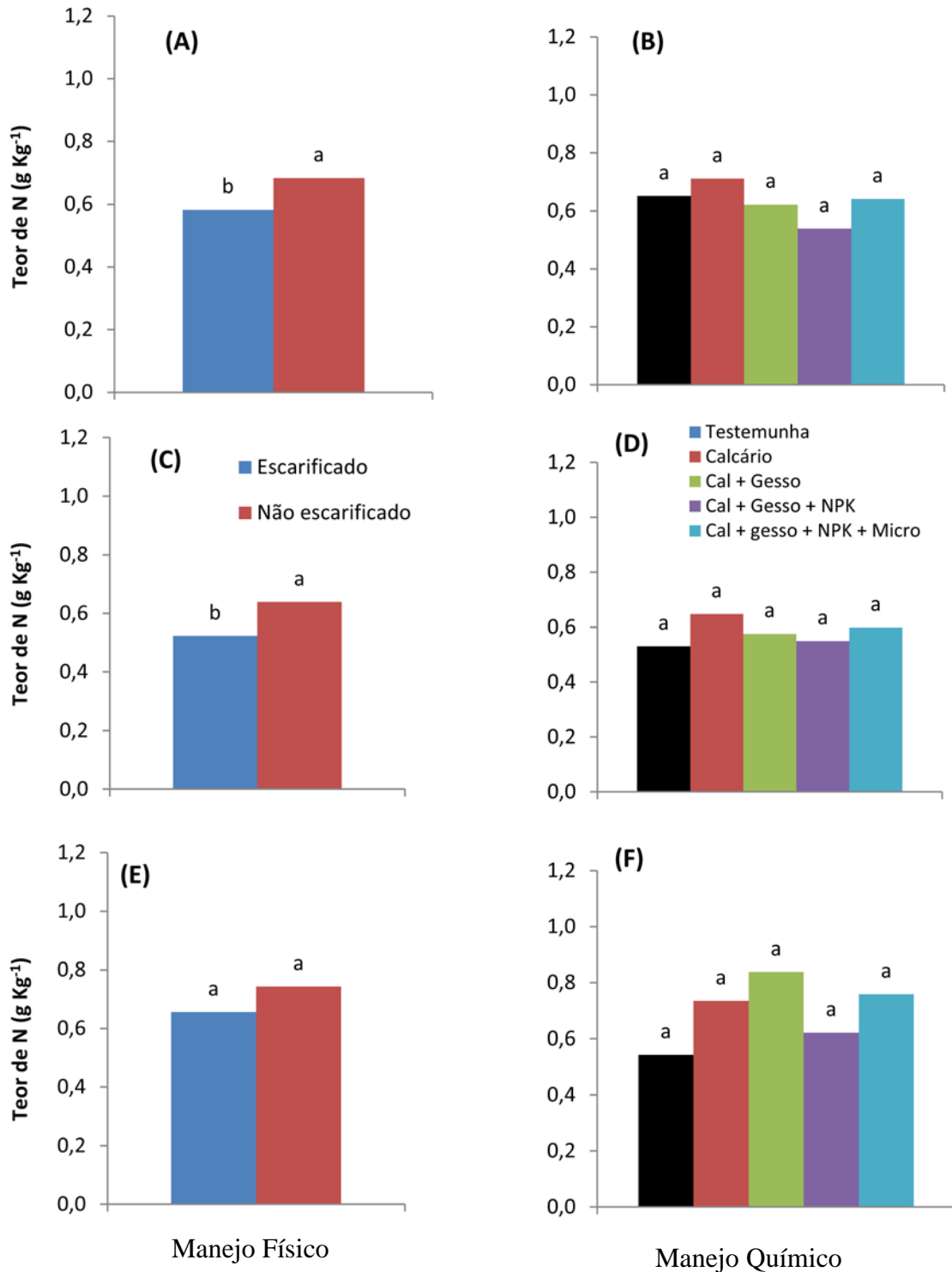


Quanto aos teores de C em macroagregados, obteve-se em área escarificada maior teor quando se fez a aplicação de calcário+gesso+NPK+micronutriente (Figura 14 A). Já em área não escarificada não observou-se diferença significativas entre os diferentes níveis de adubação e calagem, apesar de terem sido encontrados teores de C em torno de 30% superiores nos tratamentos onde foram aplicados no mínimo calcário e gesso. Apenas no tratamento com calcário+gesso houve diferença entre as áreas com e sem escarificação, onde na presença do manejo físico do solo os teores de C em macroagregados foram menores (Figura 14A). Para C em mesoagregados também observou-se maiores teores em área não escarificada, porém com a aplicação de, no mínimo, calcário+gesso+NPK (Figura 14B) .

**Figura 14.** Desdobramento dos teores de C em macroagregados (A) e mesoagregados (B), em função da interação manejo físico x manejo químico do solo, em amostragem realizada na camada de 0-10 cm de profundidade, em outubro de 2014. Letras iguais não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam os manejos químicos dentro de cada manejo físico. Letras minúsculas comparam os manejos físicos dentro de cada manejo químico.



**Figura 15.** Teores de N em microagregados (A,B), mesoagregados (C,D) e macroagregados (E,F), em função do manejo físico (A,C,E) e químico (B,D,F) do solo, em amostragem realizada na camada de 0-10 cm de profundidade, em outubro de 2014. Letras iguais, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



## 5.6 Umidade do solo

A umidade do solo avaliada por ocasião da germinação da soja não foi influenciada pela escarificação ou pelo manejo químico do solo (Tabela 10). Esse resultado pode estar relacionado com a ausência de diferença na microporosidade do solo entre os tratamentos, sendo essa fração da porosidade responsável pela retenção de água no solo. Além disso, a elevada quantidade de palha produzida pela *Urochloa* (Tabela 11) pode ter contribuído para a manutenção da umidade evitando as perdas de água por evaporação. Já por ocasião do florescimento pleno da soja verificou-se menor umidade do solo no tratamento envolvendo a aplicação de Calcário+Gesso+ NPK+Micronutrientes nas camadas de 0-10 e 20-40 cm (Tabela 10). Esses resultados podem estar relacionados à menor produção de forragem pela braquiária com esse tratamento (Tabela 11), resultando em menor cobertura do solo com palha, e conseqüentemente em maior aquecimento do solo e perda de água por evaporação.

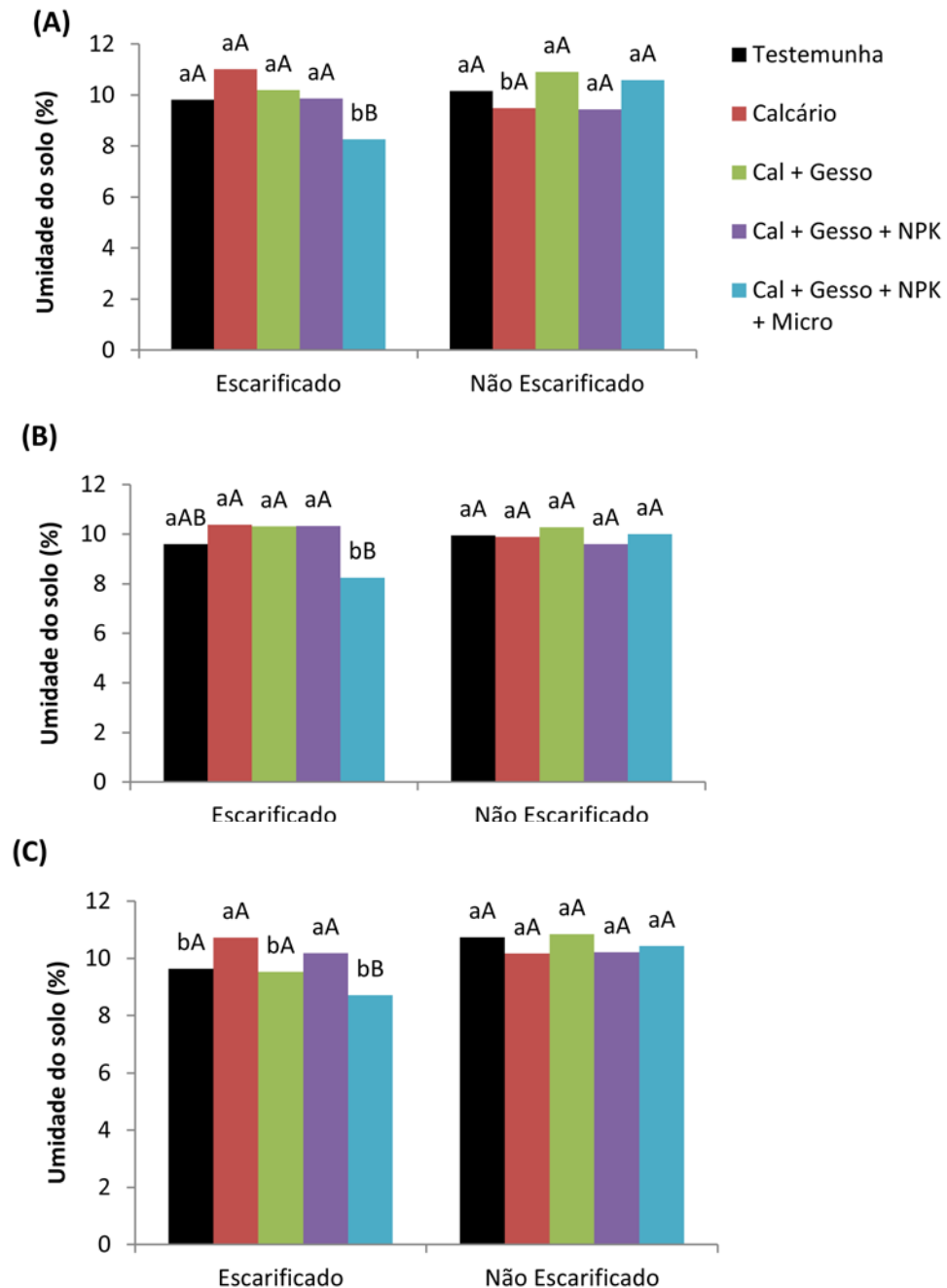
Para a avaliação realizada no enchimento dos grãos, constatou-se interação significativa entre os fatores de variação, sendo observada menor umidade do solo com o tratamento envolvendo a aplicação de Calcário+Gesso+ NPK+Micronutrientes em área escarificada, nas camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm de profundidade (Figura 16), o que pode ser explicada novamente pela menor produção de palha com esse manejo químico, sendo a retenção de água reduzida em área escarificada devida à desestruturação do solo, conforme apresentado nas figuras 8, 9, 10 e 11.

**Tabela 10.** Umidade do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, por ocasião da germinação, florescimento pleno e enchimento de grãos da soja, em função do manejo físico e químico do solo.

Fator de variação	Umidade (%)			
	0 a 10cm	10 a 20cm	20 a 40cm	40 a 60cm
<b>Germinação da soja</b>				
Com escarificação	11,8 A	10,3 A	11,0 A	11,0 A
Sem escarificação	12,0 A	11,3 A	11,0 A	11,2 A
Testemunha	11,5 a	9,7 a	10,7 a	11,0 a
Calcário	12,5 a	11,3 a	11,0 a	11,0 a
Cal + Gesso	12,7 a	11,0 a	11,4 a	11,1 a
Cal + Gesso + NPK	11,9 a	11,3 a	11,3 a	11,6 a
Cal + Gesso + NPK + Micro	10,9 a	10,8 a	10,6 a	11,0 a
Manejo Físico (MF)	0,075 ns	7,019 ns	0,007 ns	0,231 ns
Manejo Químico (MQ)	1,479 ns	1,205 ns	0,940 ns	1,279 ns
MF x MQ	1,014 ns	0,638 ns	0,750 ns	2,23ns
CV% (MF)	22,49	11,14	3,8	10,15
CV% (MQ)	14,36	15,05	9,23	6,18
<b>Florescimento pleno da soja</b>				
Com escarificação	8,92 A	8,52 A	9,57 A	10,32 A
Sem escarificação	7,82 A	8,42 A	9,36 A	9,56 A
Testemunha	8,03 ab	8,52 a	9,42 ab	9,67 a
Calcário	9,45 a	8,74 a	9,75 ab	10,47 a
Cal + Gesso	8,93 ab	8,05 a	9,19 ab	9,43 a
Cal + Gesso + NPK	8,15 ab	8,93 a	10,30 a	10,38 a
Cal + Gesso + NPK + Micro	7,29 b	8,10 a	8,70 b	9,51 a
Manejo Físico (MF)	1,527ns	0,192ns	0,901ns	1,613ns
Manejo Químico (MQ)	3,746*	2,052ns	3,270*	1,843ns
MF x MQ	1,487ns	1,271ns	1,832ns	3,101ns
CV% (MF)	11,73	8,91	7,34	6,52
CV% (MQ)	14,67	9,04	9,89	10,41
<b>Enchimento dos grãos da soja</b>				
Com escarificação	9,83 A	9,77 A	10,37 A	9,76 A
Sem escarificação	10,12 A	9,95 A	10,55 A	10,48 A
Testemunha	9,98 ab	9,77 ab	10,51 a	10,19 a
Calcário	10,25 ab	10,14 ab	10,62 a	10,45 a
Cal + Gesso	10,55 a	10,30 a	10,60 a	10,19 a
Cal + Gesso + NPK	9,65 ab	9,97 ab	10,15 a	10,20 a
Cal + Gesso + NPK + Micro	9,42 b	9,12 b	10,41 a	9,57 a
Manejo Físico (MF)	4,943ns	1,147ns	2,013ns	2,261ns
Manejo Químico (MQ)	3,105*	3,220*	0,547ns	1,569ns
MF x MQ	7,762*	3,732*	2,365ns	3,926*
CV% (MF)	4,16	1,45	3,71	4,81
CV% (MQ)	7,27	7,28	6,98	6,7

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si dentro cada profundidade de amostragem. Letras maiúsculas comparam o manejo físico e letras minúsculas o manejo químico do solo Ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

**Figura 16.** Desdobramento da umidade do solo nas camadas de 0-10 cm (A), 10-20 cm (B) e 40-60 cm (C) da soja (safra 2015/2016), em função da interação manejo físico x manejo químico do solo. Letras iguais não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam os manejos químicos dentro de cada manejo físico. Letras minúsculas comparam os manejos físicos dentro de cada manejo químico.





### 5.7 Produção de matéria seca da parte aérea da forrageira

Como já era esperado, a produção de forragem no ano de 2013 não foi influenciada pelos manejos físicos e químicos do solo, devido ao curto período entre a realização dos tratamentos e a avaliação da matéria seca para esse ano. Porém, na avaliação realizada em 2014, após a safra da soja, a escarificação influenciou positivamente na produção da forragem, com aumento de, aproximadamente, 1800 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca da parte aérea (Tabela 11). Esses resultados contrariam observações feitas por Corrêa (2002) que atribuiu ao não revolvimento do solo, maiores chances de adição de palhada em superfície. Porém, a redução da RP observada na tabela 2 pode ter contribuído para esse aumento na produção de forragem. Além disso, uma possível aceleração do processo de mineralização da matéria orgânica do solo, promovida pelo manejo mecânico, pode ter aumentado a disponibilização de nutrientes para as plantas, especialmente de N.

**Tabela 11.** Produção de forragem em 2013 e em 2014, em função do manejo físico e químico do solo.

	2013	2014
	-----Kg ha <sup>-1</sup> -----	
Com escarificação	1631 a	4497 a
Sem escarificação	1688 a	3599 b
Testemunha	1655 a	3683 b
Calcário	1492 a	3932 b
Cal + Gesso	1575 a	3997 b
Cal + Gesso + NPK	1973 a	5192 a
Cal + Gesso + NPK + Micro	1602 a	3338 c
Manejo Físico (MF)	1,215 ns	117,233 *
Manejo Químico (MQ)	1,070 ns	8,959 *
MF x MQ	1,129 ns	0,734 ns
CV% (MF)	9,77	3,71
CV% (MQ)	30,47	13,12

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si dentro de cada época de amostragem. Ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Quanto ao manejo químico, verificou-se que o uso de Calcário + Gesso + NPK proporcionou a maior produtividade de matéria seca de forragem no ano de

2014, com produção de 10384 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 11). Castro, Pereira e Paiva (2009) e Castro, Calonego e Crusciol (2011) obtiveram resultados que demonstraram que a produção de matéria seca de forragem se elevou com a aplicação de corretivos de acidez em superfície. Porém, no atual experimento, as respostas foram maiores quando a aplicação do corretivo foi acompanhada de gesso e NPK, não respondendo à aplicação de micronutrientes (Tabela 11). Cabe salientar que, com exceção do tratamento Calcário + Gesso + NPK todos os demais resultaram em produção de forragem semelhantes à testemunha (7366 kg ha<sup>-1</sup>), o até mesmo inferior no caso do tratamento Calcário + Gesso + NPK + micronutriente, porém, com produções de matéria seca muito superior à obtida no ano anterior (média de 1655 kg ha<sup>-1</sup>), antes da renovação da pastagem.

## 5.8 Produtividade da soja

A produtividade da soja da safra 2013/2014 não foi influenciada significativamente pelos tratamentos (Tabela 12), provavelmente por se tratar do primeiro ano de experimento e por ter ocorrido uma severa estiagem durante os meses de janeiro e fevereiro de 2014. Porém, esperava-se que as melhorias nas condições físicas do solo promovidas pela escarificação, como a redução da densidade do solo (Figura 3A), o aumento da porosidade total (Figura 3B), o aumento da macroporosidade (Figura 3C) e a redução da resistência à penetração (Figura 6), proporcionassem maiores produtividades de grãos nessa safra. Torres e Saraiva (1999) afirmam que a escarificação causa descontinuidade de macroporos e por isso, apesar de promover a descompactação do solo, não garante maior produtividade da cultura. Calonego e Rosolem (2010) constataram maiores produtividades de soja em safra realizada logo após a escarificação de um solo de textura argilosa compactado, porém, em safras posteriores o efeito da escarificação foi reduzindo, sendo obtidas produtividades de grãos iguais ou até mesmo superiores em parcelas experimentais não escarificadas e cultivadas com plantas de cobertura do solo.

Já a produtividade de grãos de soja da safra 2014/2015 foi influenciada pelo manejo químico do solo (Tabela 12), obtendo-se a maior produtividade com o manejo químico completo, ou seja, com a aplicação de calcário,

gesso, NPK e micronutrientes, no cultivo da forrageira que antecedeu a soja. No entanto, uma análise econômica seria necessária para determinar a viabilidade desse manejo da adubação, já que esse tratamento que aumentou a produtividade de grãos de soja não foi o mesmo que aumentou a produção de forragem. Além disso, fica evidente a necessidade de avaliações a longo prazo para obter-se conclusões mais precisas.

**Tabela 12.** Produtividade de grãos de soja nas safras 2013/14 e 2014/15, em função do manejo físico e químico do solo.

	2013/2014	2014/2015
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----	
Com escarificação	1483 a	2240 a
Sem escarificação	1523 a	2417 a
Testemunha	1560 a	2313 b
Calcário	1762 a	2240 b
Cal + Gesso	1443 a	2074 b
Cal + Gesso + NPK	1283 a	2344 b
Cal + Gesso + NPK + Micro	1468 a	2674 a
Manejo Físico (MF)	0,160 ns	0,570 ns
Manejo Químico (MQ)	1,912 ns	2,837 *
MF x MQ	11,178 ns	0,843 ns
CV% (MF)	21,16	31,83
CV% (MQ)	23,92	35,8

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si dentro de cada época de amostragem. Ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

## 6 CONCLUSÕES

A escarificação com equipamento tipo “matabroto” reduz a compactação do solo, com efeitos positivos em profundidade entre 20 a 40 cm no perfil. Porém, os efeitos desse manejo são pouco duradouros, promovem a desestruturação do solo e a redução dos teores de carbono e nitrogênio protegidos em microagregados. Além disso, a escarificação não promove alterações na produtividade de soja.

O uso de fertilizantes e corretivos na forrageira, antes da dessecação para o cultivo de soja, tem potencial para melhorar as condições físicas do solo por meio da redução da resistência do solo à penetração e aumento do grau de flocculação da argila. Além disso, possibilita o aumento dos teores de C em macroagregados e mesoagregados e a produtividade de grãos e forragem.

## REFERÊNCIAS

- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. **Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos cerrados**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavourapecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 25-58.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.27, p,799-806, 2003.
- ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78p. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - SP.
- ARAÚJO, M. A. et al. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.495-504, 2004.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: **ASAE standards 1997: standards engineering practices data**. St Joseph, 1997. p. 254-275.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Till. Res.**, v.53, p.215-230, 2000.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A. et al. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.
- BAYER, C. et al. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. (eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: 2011. v.7. p.55-118.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.39, p.677-683, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.599-607, 2000.
- BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J.R.R. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.61-77.
- BERTOL, O.J.; FISCHER, I.I. Semeadura direta versus sistemas de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, v.17, p. 87-96, 1997.

BEUTLER, A.N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; STAHLMAN, P.W. Soilresponse to long term cropping systems on an Argiustoll in thecentral Great Plains. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.74, p.602-611, 2010.

BOER, C.A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.42, p.1269-1276, 2007.

BOLLIGER, A. et al. Taking stock of the Brazilian "Zero Till Revolution". **Adv. Agron.**, v.91, p.47-110, 2006.

BORGES, E.N. et al. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em latossolo vermelho-escuro textura média. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.34, n.9, p.1663-1667, 1999.

BRAIDA, J.A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L. ; GATIBONI, L.C. (eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, v.7. p.221-277, 2011.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil Till. Res.**, v.68, p.49-57, 2002.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.1399-1407, 2008.

CALONEGO, J.C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado**. 2007. 125 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CALONEGO, J.C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.35, p.2183-2190, 2011.

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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.99-108, 2005.

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

CAMARA, R.C.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.789-796, 2005.

CAMARGO, D.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997. 132p.

CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v.65, p.45-51, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO, A.C.R. et al. Characterization of Paspalum Accessions as Ornamental Lawn. **Acta Hort.**, v.1087, p.255-259, 2015.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CASTRO, G.S.A.; CALONEGO, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.46, n.12, p.1690-1698, dez. 2011

CASTRO, O.M. et al. **Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1987. 23 p. (Boletim científico, 11)

CENTURION, J.F.; DEMATÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.9, p.263-266, 1985.

CHAN, K.Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1376-1382, 1997.

CHIODEROLI, C.A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v.16, p.37-43, 2012.

CHUNG, H.; GROVE, J. H.; SIX, J. Indications for soil carbono saturation in temperate agroecosystem. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 72, p. 1132-1139, 2008.

CIOTTA, M.N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

COLLARES, G.L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.933-942, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhameto de safra brasileira**: grãos, quarto levantamento, janeiro 2015. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_01\\_09\\_09\\_00\\_21\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_graos_janeiro_2-15.pdf). Acesso em: 26 janeiro 2015.

CONCEIÇÃO, P.C.; DIECKOW, J; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil Till. Res.**, v.129, p.40–47, 2013.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.37, p. 309, 2002.

COSTA, F.S. et al. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

COSTA, F.S. et al. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, p.587-589, 2004.

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

DALLMEYER, A.U. **Eficiência energética e operacional de equipamentos conjugados de preparo do solo**. 1994. 157 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A. 15 de abril dia nacional da conservação do solo: A agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **B. Inf. SBCS**, v.36, p.10-15, 2011.

DESCLAUX, D.; HUINH, T.; ROUMET, P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. **Crop Sci.**, Madison, v.40, n.3, p.716-722, 2000.

DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 55-94.

DIECKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant Soil**, v.268, p.319-328, 2005.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **J. Soil Sci.**, Oxford, v.18, p.64-73, 1967.

EHLERS, W. et al. Penetration resistance and root growth of oats tilled and untilled loess soil. **Soil Till. Res.**, v.3, p.261-275, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Soja. **Cultivares de soja 2011/2012**: Região Centro-sul do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p.



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

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

FERRERAS, L.A. et al. Parâmetros físicos do solo em condições não perturbadas y bajo laboreo. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.36, p.161-170, 2001.

FOLLETT, R. F. Soil Management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil Till. Res.**, v.61, p.77-92, 2001.

FRANCHINI, J. C. et al. Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. In: Embrapa Soja. **Seca, soja em carência de água**. 2010. Disponível em: <<http://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php/solo>>. Acesso em: 01 maio 2013.

FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 40 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil Till. Res.**, v.66, p.95-106, 2002.

GARCIA, R.A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Botucatu – SP.

GARCIA, R.A.; LI, Y.; ROSOLEM, C.A. Soil organic matter and physical attributes affected by crop rotation under no-till. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.77, n.5, p.1724-1731, 2013.

GILL, K.S.; GAJRI, P.R.; CHOUDHARY, J. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil Till. Res.**, v.39, p.213-227, 1996.

GOUVELLO, C. **Estudo de baixo carbono para o Brasil**. Brasília: Banco Mundial, 2010. 278p.

HAKOYAMA, S. et al. Efeitos da semeadura direta e do preparo convencional em algumas propriedades físicas do solo. **Científica**, v.23, n.1, p.17-30, 1995.

HENKLAIN, J.C. Influência do tempo no manejo do sistema de semeadura direta e suas implicações nas propriedades físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD.

HERRERO, M. et al. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v.327, p.822-825, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Canais: Cidades@**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=354140>>. Acesso em: 08 maio 2013.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 3.; SIMPÓSIO SOBRE LEPTÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: palestras. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p.358-381.

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

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.) **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.405-441.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; BERTON, A.L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: EmbrapaTrigo, 2000. 20 p. (EmbrapaTrigo. Documentos, 19)

LANZANOVA, M. E. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, 2010.

LIMA, C.L.R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.28, p. 945-951, 2004.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. 3. ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1991. 15p. (ANDA. Boletim técnico, 1).

LOSS, A. et al. Carbon, nitrogen and natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  of light-fraction organic matter under no-tillage and crop-livestock integration systems. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, p.465-472, 2012.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.46, p.1269-1276, 2011.

MACHADO, L.A.Z.; ASSIS P.G.G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.45, n.4, p.415-422, 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. p.508-536.

MARTHA JUNIOR, G. B. et al. Manejo da adubação nitrogenada em pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 155-215.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. (eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, n.2, p.393-403, 1995.

NASCENTE, A.S.; LI, Y.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil Till. Res.**, v.130, p.52-57, 2013.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.) **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. P. 45-65.

NUNES, X.P. et al. Antimicrobial activity of the essential oil of *Sida cordifolia* L. **Rev. Bras. Farmacogn.**, v.16, n.(Supl.), p.642-644, 2006.

NUNES, E. N. et al. Pitaia (*Hylocereus* sp.): uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, Areia, v. 8, n.1, p. 90-98, 2014.

NUNES, R. S. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.35, n.1407-1419, 2011.

OLIVETTE, M.P.A. Caracterização regional rural do oeste do estado de São Paulo: uma aplicação da análise fatorial. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.36, n.6, jun. 2006.

PEDROTTI, A. et al. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um planossolo. **Pesq. Agrop. Brasileira**, v.36, n.4, p.709-715, 2001.

PERES, J.G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Eng. Agríc.**, v.30, p.875-886, 2010.

PITOL, C.; GOMES, E. L.; ERBES, E. I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre brachiárias. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação**: safra 2000/2001. Maracaju, 2001. p. 40-48.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals Bot.**, v.114, n.1571-1596, 2014. doi: 10.1093/aob/mcu205.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. D. S. S.; MIRANDA, M. A. C. D. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.35, p.929-938, 2000.

RAIJ, B. et al. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REICHERT, J.M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Till. Res.**, v.102, p.242-254, 2009.

RESCK, D.V.S. et al. **Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado**. In: SANTOS, G.A. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.359-417.

RICHART, A. et al. Compactação de solo: causas e efeitos. **Semina Ciência Agrária**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROSCOE, R.; BURMAM, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a CerradoOxisol. **Soil Tillage Res.**, v.70, n.107-119, 2003.

ROSSI, C. Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Rev. Ciênc. Agron.**, v.43, p.38-46, 2012.

ROSSI, C.Q. et al. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v.70, p.622-630, 2011.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas integração lavoura-pecuária. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.46, p.1349-1356, 2011.

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

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado de Sul (RS). **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.19, p.313-319, 1995.

SALVO, L.; HERNÁNDEZ, J.; ERNST, O. Distributi: on of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. **Soil Till. Res.**, v.109, p.116-122, 2010.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.427-436, 2000.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa, 1997. p.467-524.

SILVA, M. S. et al. Composição química e valor proteico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, p.571-576, 2006.

SILVA, P.F.J.; SPOSITO, E.S. Pequenas cidades da região de presidente prudente-sp: produção do espaço e redefinições regionais. **Geografia em Atos**, n. 7, v.2, 2007.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.253-260, 2001.

SIX, J. et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.64, p.681-689, 2000.

SORATTO, R.P.; ROSOLEM, C.A.; CRUSCIOL C.A.C. **Integração lavoura-pecuária-floresta: alguns exemplos no Brasil Central**. Botucatu: FEPAF, 2011. 110p.

STEWART, C.E. et al. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. **Soil Biol. Biochem.**, v.41, p.357-366, 2009.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.3, p.18-23, 1983.

STONE, L.R.; SCHLEGEL, A.J. Tillage and crop rotation phase effects on soil physical properties in the West-Central Great Plains. **Agron. J.**, v.102, p.483-491, 2010.

SWIFT, R. S. Organic Matter Characterization. In: **Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods-SSSA**. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1069. Book Series nº 5.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.34, p.925-933, 2010.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, v.24, p.475-480, 2006.

TIRLONI, C. et al. Physical properties and particle-size fractions of soil organic matter in crop-livestock integration. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.36, p.1299-1310, 2012.

TISDALL, J.M.; OADES, L.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Soil Sci. J.**, v.33, p.141-163, 1982.

TORMENA, C.A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular técnica, 23)

TORRES, E. et al. **Avaliação de sistemas de preparo do solo, rotação de culturas e semadura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1998. (Série Documentos).

TORRES, J.L.R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates WASDE – 537 – January 12, 2015**. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasd/latest.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

VEIGA, H. M. S. et al. Valores organizacionais e comportamento pró-ativo nas organizações. In: Congresso Brasileiro de Psicologia Organizações e trabalho - CBPOT, 3. **Anais...** Florianópolis, SC, 16 a 19 de julho de 2008.

VIEIRA, F.C.B. et al. Carbon management index based on physical fractionation methods of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil Till. Res.**, v.96, n.195-204, 2007.

VITTI, M.C.D. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de beterraba minimamente processada. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.39, n.10, p.1027-1032, 2004.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.40, p.487-494, 2005.