

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

DESEMPENHO DO MILHO E PRODUÇÃO DE MATÉRIA
SECA DE *Brachiaria* EM CONSÓRCIO EM LATOSSOLO
FISICAMENTE DEGRADADO

Autora: Aline Borges Torino
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Rio Verde - GO
Abril - 2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-
AGRONOMIA

DESEMPENHO DO MILHO E PRODUÇÃO DE MATÉRIA
SECA DE *Brachiaria* EM CONSÓRCIO EM LATOSSOLO
FISICAMENTE DEGRADADO

Autora: Aline Borges Torino
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA, no Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde - Área de concentração Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

Rio Verde - GO
Abril – 2017

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Torino, Aline Borges
TT683d Desempenho do milho e produção de matéria seca de *Brachiaria* em consórcio em latossolo fisicamente degradado / Aline Borges Torino; orientador Eduardo da Costa Severiano; co-orientadora Kátia Aparecida de Pinho Costa. - Rio Verde, 2017.
49 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias/Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2017.

1. compactação do solo. 2. integração agricultura-pecuária. 3. resistência do solo à penetração. 4. safrinha. I. Severiano, Eduardo da Costa, orient. II. Costa, Kátia Aparecida de Pinho, co-orient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

DESEMPENHO DO MILHO E PRODUÇÃO DE
MATÉRIA SECA DE *Brachiaria* EM CONSÓRCIO EM
LATOSSOLO FÍSICAMENTE DEGRADADO

Autora: Aline Borges Torino
Orientadora: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia - Área de
Concentração Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do
solo e água.

APROVADA em 12 de abril de 2017.

Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva
Avaliador interno

Prof. Dr. Itamar Pereira de Oliveira
Avaliador externo

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Presidente da banca
IF Goiano/ RV

“Dias assim são bons pra me encontrar e entender que a vida muda de lugar.
Tempos assim são bons pra me lembrar que só Você [*Deus*] comigo consigo suportar.”
(Dias Assim – Rosa de Saron)

“Sabemos que todas as coisas concorrem para o bem dos que amam a Deus,
daqueles que são chamados segundo o projeto Dele.”
(Rm 8, 28)

A Deus, pela fortaleza e misericórdia insondáveis;
Aos meus pais, Vanilda Beatriz Borges e Nilson Torino,
e minha irmã Anna Vitória, pelo amor, apoio e motivação
incondicionais,
DEDICO.

A todos familiares e amigos, pela torcida e orações,
Ao meu orientador Eduardo Severiano
pela paciência e contribuição,
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Gratidão, primeiramente, pelo Amor Misericordioso do Senhor Jesus, que nunca me desamparou e tudo proveu, pelas inúmeras vezes que foi a força do Espírito Santo que me levantou, reavivou meu ânimo e minha esperança!

Gratidão pela proteção materna de Nossa Senhora, que me mostrou como a cada dia devemos nos entregar totalmente à vontade do Pai e esperar somente Nele, pois Deus sabe o Tempo e a Hora de cada coisa!

Gratidão aos meus pais Nilson Torino e Vanilda Borges, e minha irmã Anna Vitória; primeiro pelo apoio incondicional nessa "aventura" de estudar mais e morar "sozinha", e segundo porque não mediram esforços para cada dia desse ciclo, para que se concluísse com êxito. Sem o auxílio de vocês eu não conseguiria jamais!

Gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Severiano, pelo aceite de contribuir com meu crescimento profissional e pessoal e pelos conhecimentos que transferiu nesse período. Obrigada pela paciência e compreensão diante das minhas dificuldades e do meu temperamento nem sempre dócil. Levarei muitas lições adquiridas daqui para frente!

Minha gratidão aos amigos que conquistei na estada no IF Goiano: Marlete, Lidiane, Renata, Jordaanny, Nanda, Tatiana, Fausto, Josué, Savio, Lucas Freitas, Lucas Lopes, Leonardo, Paulo Henrique, Larissa e Samara. Muito mais que colegas do Laboratório de Física do Solo, verdadeiros companheiros de dias labutantes à campo, de lágrimas e alegrias, de conhecimentos partilhados e piadas amenizadoras. Sem a ajuda de vocês não seria possível essa conclusão. Agradeço ao técnico do Laboratório Wainer por suas contribuições intelectuais, pela ajuda nos procedimentos das análises e, sobretudo, pela amizade.

Gratidão às minhas companheiras de casa e de vida nesses dois anos em Rio Verde-GO: Demily, Estela, Estefânia e Carol, e o amiguinho/vizinho (quase um filho) Gedalias. Com vocês chorei, gargalhei, comi muitos bolos e strogonoffs, bebi muitos cafés

e chás, vocês ajudaram a preencher a solidão que teimava em angustiar nas muitas semanas que pareciam demorar tanto a passar!

Agradeço aos amigos e colegas de disciplinas e de outros laboratórios pela solicitude sempre demonstrada, em especial Alteloir, Lorena, Ana Karla e Célia.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de cursar o Mestrado numa instituição com qualidade e estrutura ascendentes, numa região tão privilegiada. Minha gratidão à CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado que foi uma ajuda primordial para permanência e conclusão dessa fase.

Gratidão aos setores de Mecanização e Gerência de Produção, coordenadas pelo Wenner e José Flávio, respectivamente, e também ao funcionário Lindomar. Obrigada pela ajuda com insumos, trator, implementos e serviço; vocês foram essenciais na implantação e conclusão desse projeto.

Agradeço à coorientação da Prof.^a Dr.^a Kátia Costa e suas contribuições, sobretudo por ceder a infraestrutura do Laboratório de Forragicultura e seus alunos orientados e pós-doutorandos (Wender, Vítor e Itamar) permitindo a realização das análises desse trabalho. Agradeço ao Laboratório de Nutrição Animal e ao funcionário Carlos, pelas dependências utilizadas para realização de parte das análises desse trabalho.

Agradeço aos demais professores e servidores do Programa de Pós-Graduação que foram também amigos nas horas de necessidades. Obrigada Prof. Carlos Rodrigues, Prof. Gustavo Castoldi, Prof. José Milton, Prof. Frederico Loureiro, Prof. Márcio, Prof. Alessandro Guerra, e de modo especial à secretária do curso Vanilda.

Agradeço aos “velhos e bons” amigos de Uberaba-MG, que ficaram na torcida e nas orações para que esse período findasse com sucesso e que aguardavam meu retorno. Obrigada pela amizade sincera, vocês foram muito importantes quando precisei de forças! E aos servos da RCC de Rio Verde-GO que foram Canal da Graça de Deus em minha história e ajudaram-me a cuidar do meu interior tão fragilizado.

Enfim, gratidão a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para esse momento e que talvez pela débil memória não consegui contemplar nestas linhas.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Aline Borges Torino, filha de Nilson Torino e Vanilda Beatriz Borges, nascida em 17 de maio de 1992 na cidade de Uberaba, estado de Minas Gerais.

Entre os anos de 2007 a 2009 cursou o ensino médio concomitante ao Técnico Agrícola no Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba.

Iniciou a graduação em Engenharia Agrônômica em 2010 no Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba e concluiu no segundo semestre de 2014. Foi bolsista PET-Agronomia, desenvolvendo atividades de ensino, pesquisa e extensão, e participou de Iniciação Científica Voluntária na área de Manejo e Conservação do Solo e Água com ênfase em Plantio Direto.

Em março de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências Agrárias - Agronomia, nível de mestrado, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, sob a orientação do Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano. A defesa da dissertação ocorreu em 12 de abril de 2017.

ÍNDICE GERAL

| | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE GERAL | vi |
| ÍNDICE DE TABELAS | ii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | iii |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES | iv |
| RESUMO | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1.INTRODUÇÃO GERAL | 13 |
| 1.1 Manejo do solo e a influência nos atributos físicos | 13 |
| 1.2 Sistema de integração agricultura-pecuária | 16 |
| 1.3 Referências bibliográficas | 19 |
| 2. OBJETIVOS | 26 |
| 2.1 Objetivo geral | 26 |
| 2.2 Objetivos específicos | 26 |
| DESEMPENHO DO MILHO E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIAS EM CONSÓRCIO EM LATOSSOLO COMPACTADO..... | 27 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 29 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 30 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 3.4 CONCLUSÕES | 42 |
| 3.6 REFERÊNCIAS | 42 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | Página |
|---|--------|
| Tabela 1. Valores críticos de resistência do solo à penetração (RP) em MPa para o desenvolvimento da cultura do milho..... | 16 |
| Tabela 2. Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016. | 46 |
| Tabela 3. Média dos valores críticos de resistência do solo à penetração (RP) em MPa para o desenvolvimento da cultura do milho..... | 46 |
| Tabela 4. Resumo da análise de variância para a densidade do solo (Ds) em kg dm ⁻³ em diferentes profundidades na implantação do milho safrinha em sistemas de cultivo solteiro e consorciado com espécies de capim-braquiária em Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016. | 46 |
| Tabela 5. Resumo da análise de variância para as variáveis agronômicas e produtividade da cultura do milho safrinha em sistemas de cultivo solteiro e consorciado com espécies de capim-braquiária em Latossolo Vermelho Distroférico sob condição de compactação do solo em Rio Verde-GO, 2016. | 47 |
| Tabela 6. Produtividade de matéria seca (kg ha ⁻¹) dos capins do gênero <i>Brachiaria</i> em função dos sistemas de cultivo e do intervalo de corte em Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016. | 47 |
| Tabela 7. Matéria seca residual (palhada) dos capins do gênero <i>Brachiaria</i> em sistemas forrageiros solteiro e consorciado com a cultura do milho safrinha sob manejo sem e com corte de simulação de pastejo em Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016. | 48 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) decencial e temperatura mensal (°C) durante a condução do experimento no município de Rio Verde-GO, 2016. | 48 |
| Figura 2 Variação do conteúdo de água no solo (θ) com o incremento da densidade do solo (D_s) nos limites críticos de capacidade de campo (θ_{CC} : -6 kPa), ponto de murcha permanente (θ_{PMP} : -1500 kPa), porosidade de aeração a 10% (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de 1,41 MPa (θ_{RP}) do Latossolo Vermelho Distroférico na camada de 0-20 cm, cultivado com milho safrinha solteiro e consorciado com espécies de capim-braquiária. A área preenchida representa o IHO; Dsc: densidade crítica ao desenvolvimento das plantas. | 49 |
| Figura 3. Variação do conteúdo de água no solo (θ) em diferentes profundidades para os limites críticos de resistência à penetração (θ_{RP}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), capacidade de campo (θ_{CC}) e porosidade de aeração (θ_{PA}) do Latossolo Vermelho Distroférico na implantação da cultura do milho safrinha. IHO nulo em todo perfil do solo. | 49 |

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

| | |
|--------------------------------|---|
| θ | ----- conteúdo de água no solo ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$) |
| θ_{CC} | ----- conteúdo de água na capacidade de campo ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$) |
| θ_{PMP} | ----- conteúdo de água no ponto de murcha permanente ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$) |
| θ_{RP} | ----- conteúdo de água na resistência do solo à penetração ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$) |
| θ_{PA} | ----- conteúdo de água na porosidade de aeração a 10% ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$) |
| $^{\circ}\text{C}$ | ----- graus Celsius |
| ° ‘ “ | ----- graus minutos segundos |
| “ | ----- polegadas |
| % | ----- por cento |
| AD | ----- água disponível no solo |
| Aw | ----- verão chuvoso |
| Ca^{2+} | ----- cálcio |
| CaCl_2 | ----- cloreto de cálcio |
| ccm | ----- centímetros de coluna de água |
| cm | ----- centímetro |
| $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ | ----- centimol de carga por decímetro cúbico |
| cv. | ----- cultivar |
| CV | ----- Coeficiente de Variação |
| $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ | ----- decímetro cúbico por decímetro cúbico |
| Dp | ----- densidade de partículas (kg dm^{-3}) |
| DAS | ----- dias após a semeadura |
| Ds | ----- densidade do solo (kg dm^{-3}) |
| Dsc | ----- densidade do solo crítica (kg dm^{-3}) |
| Eq. | ----- equação |
| et al. | ----- e colaboradores |
| g | ----- gramas |
| g kg^{-1} | ----- gramas por quilo |
| h | ----- horas |
| ha | ----- hectare |
| $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ | ----- hidrogênio mais alumínio |
| IHO | ----- intervalo hídrico ótimo |
| K_2O | ----- óxido de potássio |
| kPa | ----- kiloPascal |
| K^+ | ----- potássio |
| kg | ----- quilograma |
| kg dm^{-3} | ----- quilograma por decímetro cúbico |

| | | |
|-------------------------------|-------|--|
| kg ha ⁻¹ | ----- | quilograma por hectare |
| L ha ⁻¹ | ----- | litros por hectare |
| Mg | ----- | megagrama |
| m | ----- | metro |
| m ² | ----- | metro quadrado |
| m ³ | ----- | metro cúbico |
| Mg ⁺² | ----- | magnésio |
| mg dm ⁻³ | ----- | miligrama por decímetro cúbico |
| Mg m ⁻³ | ----- | megagrama por metro cúbico |
| mm | ----- | milímetros |
| mm min ⁻¹ | ----- | milímetros por minuto |
| MPa | ----- | megaPascal |
| ns | ----- | não significativo |
| N | ----- | nitrogênio |
| P ₂ O ₅ | ----- | pentóxido de fósforo |
| pH | ----- | potencial de hidrogênio |
| P | ----- | fósforo |
| p | ----- | probabilidade |
| PT | ----- | porosidade total do solo |
| RP | ----- | resistência do solo à penetração |
| R ² | ----- | coeficiente de determinação |
| R2 | ----- | fase reprodutiva milho estágio de grão leitoso |
| S | ----- | Sul |
| UA | ----- | Unidade Animal (450 kg) |
| V | ----- | saturação por bases do solo |
| V5 | ----- | fase vegetativa estágio milho quinta folha |
| W | ----- | Oeste |
| Zn | ----- | zinco |

RESUMO

TORINO, ALINE BORGES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, abril de 2017. **Desempenho do milho e produção de matéria seca de *Brachiaria* em consórcio em Latossolo fisicamente degradado.** Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano. Coorientadora: Dr.^a Kátia Aparecida de Pinho Costa.

O alcance de boa produtividade para a safrinha de milho consorciado somado a produção satisfatória de forragem no período da entressafra e adequada produção de palhada para a cultura subsequente em solo com qualidade física comprometida representam uma realidade desafiadora para o sistema de agricultura-pecuária na região do Cerrado. Objetivou-se verificar a viabilidade do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forragem do gênero *Brachiaria* em Latossolo Vermelho fisicamente degradado. Nas parcelas foram avaliados os tratamentos: *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *Brachiaria ruziziensis*, em cultivos solteiros e consorciados com milho e o monocultivo de milho. Nas subparcelas foram avaliados dois sistemas de manejo do capim: com e sem corte de simulação de pastejo. A qualidade física do solo foi estimada pelo intervalo hídrico ótimo a partir das amostras indeformadas de solo coletadas nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Na cultura do milho foram realizadas avaliações agronômicas e de produtividade e, nas espécies forrageiras avaliou-se a produtividade de matéria seca e produção de palhada. A compactação do solo potencializada pelo déficit hídrico durante a fase reprodutiva da cultura influencia a baixa produtividade obtida em segunda safra. A substituição da safrinha de milho pela implantação da “safrinha de boi” após o cultivo de verão, em condições de intenso veranico, é indicada mesmo sob estado de degradação física do solo. O capim *Brachiaria ruziziensis* em sistema consorciado sob manejo de corte de simulação de pastejo obteve

produtividade de forragem satisfatória de matéria seca na entressafra e apresenta-se como a melhor alternativa de adoção para o sistema de consórcio em sobressemeadura. A produção de palhada em sistemas consorciados com manejo de corte de simulação de pastejo não apresentou quantidade adequada para cobertura do solo e a supressão do último corte é uma possibilidade para maior acúmulo de biomassa e viabilidade do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo, integração agricultura-pecuária, resistência do solo à penetração, safrinha

ABSTRACT

TORINO, ALINE BORGES. Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - Rio Verde Campus, April 2017. **Performance of maize and dry matter production of *Brachiaria* in consortium in physically degraded Latosol.** Advisor: Dr. Eduardo da Costa Severiano. Co-advisor: Dr. Kátia Aparecida de Pinho Costa.

The achievement of good productivity for the intercropped maize crop combined with satisfactory fodder production in the off-season and adequate straw production for subsequent cultivation on soil with compromised physical quality represent a challenging reality for the agriculture-livestock system in the Cerrado. The objective of this study was to verify the viability of the consortium of the offseason corn crop with different forage species of *Brachiaria* in physically degraded Red Latosol. The experiment was carried out with a randomized complete block design in a subdivided plots scheme with four replications. In the plots were evaluated the treatments: *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *Brachiaria ruziziensis*, in single crops and intercropped with corn and corn monoculture. In the subplots, two management systems of the grass were evaluated: with and without grazing simulation cut. The physical quality of the soil was estimated by the optimum water range from the undisturbed soil samples collected at depths of 0-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m after traffic of an agricultural tractor with a tare weight of 4.5 Mg and intensity of four passes on the ground near the field capacity. In the corn crop, agronomic and productivity evaluations were carried out, and in the forage species the forage and straw productivity were evaluated. Soil compaction potentiated by water deficit during the reproductive phase of the crop influences the low productivity obtained in the second harvest. The replacement of the maize crop by the implementation

of the "safrinha de boi" after the summer cultivation, in conditions of intense summer, is indicated even under a state of physical degradation of the soil. The *Brachiaria ruziziensis* grass in the intercropping system under pasture simulation management obtained a satisfactory forage yield of dry matter in the off season and is the best alternative of adoption for the over-ripening consortium system. The production of straw in intercropping systems with grazing simulation cut management did not present adequate amount for soil cover and suppression of the last cut is a possibility for greater accumulation of biomass and viability of the system.

KEY WORDS: soil compaction, agriculture-livestock integration, soil penetration resistance, safrinha

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Manejo do solo e a influência nos atributos físicos

O desenvolvimento da agricultura na região do Cerrado, principalmente nos Latossolos, foi possível pelo alto potencial agrícola dessas terras (REATTO et al., 2007). Esse cenário foi acompanhado pela intensificação do tráfego de maquinário agrícola, refletindo em alterações estruturais do solo e na consequente perda da sua qualidade física (SEVERIANO et al., 2013; SILVA et al., 2003). O sistema de manejo em que o solo se encontra submetido deve contribuir para manutenção ou melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, a fim de proporcionar adequadas produtividades das culturas durante as safras com o consequente aumento da rentabilidade (COSTA et al., 2003).

A compactação do solo é caracterizada como a maior limitação física à alta produtividade das culturas em todo o mundo, principalmente em solos argilosos (COLLARES et al., 2008; FREITAS, 1994). De acordo com Reichert et al. (2007), é um problema antigo e intensificou-se justamente pela modernização da agricultura pelo uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas. O efeito da compactação, geralmente, atinge uma camada de 20 cm de profundidade em áreas agrícolas e com pastagens. Como consequência, afeta diretamente o crescimento de raízes, diminui a capacidade de infiltração de água no solo e reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes (VIEIRA; KLEIN, 2007).

Vários atributos físicos têm sido utilizados para caracterizar o estado de compactação dos solos, tais como a densidade ou a porosidade total, porosidade de aeração ou resistência do solo à penetração (SUZUKI et al., 2007). Santos et al. (2009) afirmam que a densidade do solo é um importante indicativo das condições de manejo do solo, pois essa propriedade reflete o arranjo das partículas, que por sua vez define as

características do sistema poroso. A porosidade é uma característica física do solo que pode ser alterada pelo manejo do mesmo (FERREIRA; DIAS JÚNIOR, 2001), e interfere na infiltração e drenabilidade do solo, na retenção de água e na capacidade de aeração (HILLEL, 1998). Conforme Richardt et al. (2005), a resistência mecânica do solo à penetração é apontada como um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento das culturas, pois ela expressa o grau de compactação do solo. Além de influenciar no crescimento de raízes, serve como base à avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular (TORMENA; ROLOFF, 1996)

Ribon e Tavares Filho (2008) comentam que o manejo inadequado dos solos cultivados provoca aumento na sua resistência à penetração e densidade, bem como a diminuição da porosidade e do conteúdo de água disponível às plantas. Sendo que, a densidade do solo apresenta relação direta com a resistência do solo à penetração, enquanto o conteúdo de água no solo influi inversamente na resistência. Pelo fato do manejo do solo afetar a retenção e disponibilidade de água, torna-se muito importante conhecer os atributos físico-hídricos do solo para avaliar as suas reais condições (CASSOL et al., 2014).

A água disponível é definida, conforme Klein et al. (2010), como o teor de água do solo contido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente; em que aquela é tida como o limite superior para as plantas e esse como o limite inferior. A capacidade de campo é considerada uma condição de umidade do solo que ocorre depois que toda a água livre foi drenada pela gravidade e o ponto de murcha como uma tensão na qual as plantas murcham permanentemente, não sendo mais capazes de voltar à turgidez inicial (LEPSCH, 2011).

Definiu-se que a umidade no ponto de murcha permanente é determinada quando a amostra de solo é submetida a tensão de 15000 centímetros de coluna de água (ccm) (OLIVEIRA et al., 2002). O valor da umidade na capacidade de campo varia muito entre os solos, principalmente devido às diferenças de textura e estrutura. Em Latossolos da região dos Cerrados considera-se que entre 0 a 60 ccm encontra-se boa parte da água drenada em pouco tempo, pela alta condutividade hidráulica (MELLO et al., 2002).

A condição estrutural do solo relaciona-se com a produtividade das culturas (LAPEN et al., 2004) e aquela possui grande variabilidade espacial e temporal (DEXTER, 1988). Nesse sentido, Letey (1985) propôs o conceito de uma única variável que pudesse descrever as interações entre os atributos físicos e o crescimento das plantas, apesar dos problemas envolvidos na redução de complexas interações há apenas um parâmetro

(TORMENA et al., 1998). O conceito denominou-se “Non Limiting Water Range” e foi definido como a faixa de conteúdo de água no solo em que são nulas as limitações para o crescimento das plantas em função do potencial mátrico, aeração e resistência do solo.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi um conceito aprimorado proposto por Silva et al. (1994) para indicar a qualidade física do solo e define a faixa de conteúdo de água ótima para a planta. Está restrita entre o limite crítico superior correspondente à capacidade de campo (θ_{CC}) e/ou à porosidade de aeração (θ_{PA}), relacionado à saturação de água e redução aeróbica no solo; e o limite crítico inferior pelo ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e/ou da resistência mecânica (θ_{RP}) que estão relacionados à secagem do solo e incrementos da compactação.

Conforme afirmam Tormena et al. (2007), o IHO significou grande avanço no que se refere à biofísica do solo e é o indicador que melhor traduz a qualidade física do solo às plantas. Comprova-se a pertinência da aplicação do IHO na avaliação da qualidade física do solo através de pesquisas realizadas em diferentes solos, culturas e sistemas de manejo. Segundo Silva e Kay (1996), a diminuição da amplitude do IHO indica o aumento da exposição das culturas ao estresse hídrico e a amplitude na qual a condição estrutural do solo restringe o desenvolvimento das plantas. Assim, é considerado o indicador que melhor se correlaciona à produção vegetal (TORMENA et al., 2007).

Um estudo realizado por Freddi et al. (2007b), para avaliar a qualidade física de um Latossolo Vermelho de textura média submetido a diferentes intensidades de compactação e a relação com o desempenho agrônômico da cultura do milho, demonstrou que o intervalo hídrico ótimo do solo foi definido na parte superior pelo conteúdo de água na capacidade de campo e na parte inferior pela resistência mecânica do solo à penetração, com densidade do solo crítica de $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$, limitando assim a produtividade de grãos da cultura do milho.

Segundo Beutler et al. (2004), o valor de 2 MPa atribuído à resistência do solo à penetração, que é aceito como limitante ao crescimento das raízes e da parte aérea e utilizado como parâmetro na determinação do IHO, tem sido questionado para as diversas culturas e classes de solo sob diferentes sistemas de manejo. A Tabela 1 apresenta a compilação de referências bibliográficas cujos autores determinaram valores críticos de resistência à penetração relacionada ao desenvolvimento do milho, tanto na queda de produtividade de grãos quanto na interferência do crescimento da parte aérea e do sistema radicular.

Tabela 1. Valores críticos de resistência do solo à penetração (RP) em MPa para o desenvolvimento da cultura do milho.

| RP (MPa) | Tipo de solo | Sistema de cultivo | Referência |
|-----------|------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 0,91 | Argissolo Vermelho-Amarelo Arenoso | Convencional | Beutler et al. (2009) |
| 1,53 | Argissolo Amarelo Arenoso | Convencional | Deperon Jr. et al. (2016) |
| 1,40 | Latossolo Vermelho Textura Média | Vaso | Foloni et al. (2003) |
| 1,16 | Latossolo Vermelho Argiloso | Convencional | Freddi (2007) |
| 1,65 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2007) a |
| 1,65 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2007) b |
| 2,15 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2009) a |
| 1,23-1,43 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2009) b |
| 1,00 | Solos com 5,8 a 37,4% Argila | Convencional | Silva et al. (2004) |

1.2 Sistema de integração agricultura-pecuária

Existem vários sistemas de integração lavoura-pecuária modulados no Cerrado de acordo com as necessidades da área cultivada, as peculiaridades regionais e com o perfil do produtor (VILELA et al., 2012). Uma modalidade é a recuperação de pastagens degradadas com menor custo ao pecuarista, que foi primeiramente testada em 1991 com o Sistema Barreirão, que consiste na renovação de pastagens pelo consórcio com culturas anuais, como milho (OLIVEIRA et al., 1996). Posteriormente, foi lançado o Sistema Santa Fé, uma modalidade fundamentada na consorciação de culturas anuais (milho, sorgo, milheto e soja) produtoras de grãos com forrageiras tropicais, principalmente do gênero *Brachiaria* (Trin.) Griseb. spp. (syn. *Urochloa* P. Beauv. spp.), para melhorar a cobertura do solo em sistema de plantio direto e também a possibilidade de oferecer forragem na entressafra (KLUTHCOUSKI et al., 2000b).

A adoção dessas práticas conservacionistas objetivando a sustentabilidade dos sistemas produtivos, torna-se também importante alternativa para minimizar os prejuízos que o manejo mecanizado, através do efeito da compactação, promove nas áreas cultiváveis (RICHARDT et al., 2005). Conforme apresentam Machado et al. (2011), a integração agricultura-pecuária não é um fato novo, mas apenas nos últimos anos ocorreu a consolidação, principalmente, pelas vantagens advindas desse sistema. Como a diversificação da produção e a rotação lavoura/pastagem, além das melhorias ao solo (SILVA et al., 2014; FLAVIO NETO et al., 2015) e ao uso da água, permitindo aumento em produtividade, rentabilidade e maior estabilidade aos produtores.

Dentre as culturas mais utilizadas nos sistemas, destacam-se: soja (PEREIRA et al., 2011), milho (BROCH; CECCON, 2008), sorgo (RIBEIRO et al., 2015), milheto (COSTA et al., 2016), girassol (SANTOS et al., 2016) e gramíneas forrageiras (FLAVIO NETO et al., 2015), cultivadas consorciadas, em rotação ou em sucessão. Entre as modalidades de integração agricultura-pecuária utilizadas no Brasil, destaca-se o cultivo consorciado de espécies forrageiras tropicais, como os capins do gênero *Brachiaria* (PORTES et al., 2000).

Em algumas regiões do Cerrado, conforme descrevem Borghi et al. (2006), após a colheita das culturas de verão, geralmente a soja, ocorre o período da safrinha (entre fevereiro e abril), possibilitando a realização de semeadura em sucessão com espécies de retorno econômico. Nesse cenário, apresenta-se, principalmente, o milho consorciado ou não com capim-braquiária. Nesse sistema de produção, a espécie forrageira é manejada para a produção de forragem após a colheita da cultura produtora de grãos e, em seguida, para a formação de palhada, no sistema de plantio direto.

O consórcio de milho safrinha com *Brachiaria* tem como finalidade a produção de palha para cobertura do solo em sistemas conservacionistas e a evolução foi possível através dos resultados de pesquisa sobre sua viabilidade econômica (CECCON, 2007). Além de promover rápida cobertura do solo, boa composição bromatológica, aceitabilidade, reciclagem de nutrientes, eficiência na dessecação e produção uniforme de massa da parte aérea (PIRES, 2006).

Em estudos com diferentes cultivares de *Brachiaria brizantha*, realizado por Machado e Valle (2011), visando à produção de forragem na entressafra da soja, o melhor resultado obtido foi utilizando a cultivar Xaraés que se destacou por apresentar rápido estabelecimento mesmo quando semeada tardiamente, no final de março, e por apresentar maior crescimento nos meses de agosto e setembro, pico da estação seca. Além disso, apresenta boa adaptação aos solos de Cerrado de média fertilidade. É considerada de acordo com Valle et al., (2004) tolerante a fungos foliares e de raiz, possui florescimento intenso, rápido e concentrado no outono e também maior velocidade de rebrota e produção de forragem (EUCLIDES et al., 2008). Entretanto, possui limitação de uso extensivo em áreas com histórico de problemas com cigarrinhas, principalmente do gênero *Mahanarva*; e suscetibilidade à mela-das-sementes em regiões de alta umidade e baixa temperatura pelo seu florescimento tardio (VALLE et al., 2004).

A *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás foi um lançamento da Embrapa Gado de Corte, no ano de 2013, e destaca-se quanto à produção de matéria seca e eficiência de

dessecação (MACHADO; VALLE, 2011), características importantes e desejáveis para o sistema de integração lavoura-pecuária. Conforme Euclides et al. (2016) apresenta maior acúmulo de forragem com melhor valor nutritivo durante a estação seca quando comparada a outros cultivares de *Brachiaria brizantha* e ainda boa rebrota no período de baixa precipitação pluviométrica (COSTA et al., 2016).

A utilização de pastagens em áreas degradadas de lavouras promove a melhoria das propriedades edáficas do solo, aumenta os teores de carbono e melhora significativamente as condições de aeração e de infiltração de água promovidas pela presença de palha e raízes da pastagem (LOSS et al., 2011).

Conforme elencam Vilela et al. (2011), o sistema de integração lavoura-pecuária contribui para repor e manter a matéria orgânica do solo e conseqüentemente proporcionar a estruturação do solo, e favorece maior taxa de infiltração de água das chuvas e, subseqüentemente, a maior disponibilidade para os cultivos; redução do escoamento superficial, o que evita erosões e poluição dos cursos d'água; além da penetração das raízes no perfil do solo, aumentando o volume de solo explorado pelo sistema radicular dos cultivos e, conseqüentemente, a eficiência de uso de água e nutrientes.

O uso de plantas com sistema radicular agressivo capaz de romper camadas compactadas é uma estratégia recomendada para a recuperação de solos degradados (KAISER et al., 2009; FLÁVIO NETO et al., 2015). De acordo com Silva e Mielniczuk (1997), o sistema radicular tem a capacidade de unir mecanicamente agregados menores formando macroagregados pela produção de exsudados que agem como agente cimentantes. Segundo os autores, as raízes são capazes de gerar forças que aproximam agregados e partículas, através do seu crescimento e absorção localizada de água, contribuindo para a melhoria estrutura do solo.

A utilização de forrageiras tropicais para promoção da melhoria da qualidade física do solo está diretamente relacionada ao sistema radicular mais vigoroso, profundo e abundante, que forma uma rede de canais no solo (FRANCHINI et al., 2009). Após a morte e decomposição das raízes, o solo fica com quantidade maior de bioporos, que contribuirão para a ocorrência de trocas gasosas, fluxo descendente de água e crescimento das raízes das plantas subseqüentes (REINERT et al., 2008).

Flávio Neto et al. (2015), ao avaliarem o intervalo hídrico ótimo (IHO) como indicador da descompactação biológica do solo por diferentes capins do gênero *Brachiaria* em integração agricultura-pecuária, constataram que o cultivo de *Brachiaria brizantha* ou *Brachiaria decumbens* é eficiente na recuperação edáfica. Além disso, verificaram que a

cultivar Xaraés de *Brachiaria brizantha*, proporcionaram maior descompactação do solo e aumento no IHO, mitigando os efeitos da degradação estrutural do solo para o cultivo em sucessão da soja.

Os capins do gênero *Brachiaria* em regiões do Cerrado são considerados opções adequadas para utilização em sistemas conservacionistas e são muito utilizados no período que compreende do outono à primavera para fornecimento de forragem e/ou palhadas nesses sistemas produtivos (GARCIA et al., 2014). Contudo, nessas regiões, o clima é caracterizado pela estação seca prolongada, e pode dificultar a implantação de plantas de cobertura e, principalmente, a permanência da palhada na área de cultivo (PACHECO et al., 2008). Esses fatores são considerados entraves na manutenção dos sistemas conservacionistas (integração agricultura-pecuária e o plantio direto).

Apesar de frequentes estudos relacionados à adoção dos sistemas conservacionistas para mitigação dos efeitos causados pelo cultivo convencional, torna-se necessário implantar o sistema de agricultura-pecuária e conhecer as limitações e benefícios deste em diferentes condições de solo e região. Tendo em vista que, alcançar boa produtividade para a safrinha de milho consorciado, produção satisfatória de forragem no período da entressafra, de palhada para a cultura subsequente, e ainda, potencial de recuperação estrutural de um solo degradado. Todos esses fatores associados representam uma realidade desafiadora à produção agropecuária sustentável na região do Centro-Oeste.

1.3 Referências bibliográficas

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; MENGATTO, L. H.; MENGATTO, L. H.; ALVES, J. B.; WAGNER, G. P. C. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 359-364, 2009.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A.P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois Latossolos. **Irriga**, v. 9, p. 181-192, 2004.

BORGHI, É.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. MATEUS, G. P. Produtividade e qualidade das forragens de milho e de *Brachiaria brizantha* em sistema de cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 369-381, 2006.

BROCH, D. L.; CECCON, G. **Produção de milho safrinha com integração lavoura e pecuária**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/safrinha/index.htm>. Acesso em: 20 fev 2017.

CASSOL, I. J.; LOPES, A. S.; PONTIM, J. P. A.; SANTOS, C. R.; SILVA, T. H. S.; VIANA, S. H. B. Características físico-hídricas do solo, em área de plantio direto e convencional, em Aquidauana – MS. In: ENEPEX – ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 6., 2014, Aquidauana. **Anais...** Aquidauana, 2014.

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

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

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; ASSIS, R. L.; SANTOS, C. B.; SEVERIANO, E. C.; ROCHA, A. F. S.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, P. H. C. P.; SOUZA, W. F.; AQUINO, M. M. Dynamics of biomass of pearl millet and Paiaguas palisadegrass in different forage systems and sowing periods in yield of soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 45, p. 4661-4673, 2016.

DEPERON JÚNIOR, M. A.; NAGAHAMA, H. J.; OLSZEWSKI, N.; CORTEZ, J. W.; SOUZA, E. B. Influência de implementos de preparo e de níveis de compactação sobre atributos físicos do solo e aspectos agrônômicos da cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 367-376, 2016.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, v. 11, p. 199-238, 1988.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; VALLE, C. B.; NANTES, N. N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 3, p. 85-92, 2016.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALLE, C. B.; BARBOSA, R. A.; GONÇALVES, W. V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1805-1812, 2008.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do solo**: Relação de massa e volume dos constituintes do solo. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. p. 28-29.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C. COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FREDDI, O. S. **Avaliação do intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho cultivado com milho**. Jaboticabal, 2007. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-363, 2007a.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L.; SILVA, A. P. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento de na produtividade da cultura do milho. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 477-486, 2007b.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – Características de planta, solo e índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 793-803, 2009a.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; PERES, F. S. C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II – Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 33, p. 805-818, 2009b

FREITAS, P. L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N. **Experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia, APDC, 1994. p.199-213.

GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; LOPES, K. S. M.; BUZZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, v. 73, n. 72, 2014.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. 771p.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 845-855, 2009.

KLEIN, V. A; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P. ; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas**

anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000b. 28p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 38).

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 78, n. 2, p. 151-170, 2004.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456p.

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

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração lavoura-pecuária-floresta**: 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, nov, 2011. 48p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 110)

MACHADO, L. A. Z.; VALLE, C. B. Desempenho agrônômico de genótipos de capim braquiária em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1454-1462, 2011.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; RESCK, D. V. S.; LIMA, J. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 4, p. 836-841, 2002.

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; DUTRA, L. G.; PORTES, T. A.; SILVA, A. E.; PINHEIRO, B. S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. da M.; GUIMARÃES, C. M.; GOMIDE, J. C.; BALBINO, L. C. **Sistema Barreirão**: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia, Embrapa CNPAF, APA, 1996. 90p. (Embrapa CNPAF. Documentos, 64).

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES, J. J. V.; MARQUES, F. A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 315-323, 2002.

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCOPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobresemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 815-823, 2008.

PEREIRA, R. G.; ALBUQUERQUE, A. W.; SOUZA, R. O.; SILVA, A. D.; SANTOS, J. P. A.; BARROS, E. S.; MEDEIROS, P. V. Q. Sistemas de manejo do solo: soja [*Glycine max* (L.)] consorciada com *Brachiaria decumbes* (Stapf). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 44-51, 2011.

PIRES, W. **Manual de pastagem**: formação, manejo e recuperação. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 302p.

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000.

REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; MARTINS, E. S.; BROSSARD, M. Hydraulic properties of the diagnostic horizon of Latosols of a regional toposequence across the Brazilian Central Plateau. **Geoderma**, v. 139, p. 51-59, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Revista Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RIBEIRO, M. G.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A. G.; SEVERIANO, E. C.; SIMON, G. A.; CRUVINEL, W. S.; SILVA, V. R.; SILVA, J. T. Grain sorghum intercropping with *Brachiaria brizantha* cultivars in two sowing systems as a double crop. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 39, p. 3759-3766, 2015.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1817-1825, 2008.

RICHARDT, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação de solo: causas e efeitos. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321- 344, 2005.

SANTOS, C. B.; COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, R. R. G. F.; SILVA, A. G.; GUARNIERI, A.; SILVA, J. T. Production and nutritional characteristics of sunflowers and Paiaguas palisadegrass under different forage systems in the off season. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 2, p. 460-470, 2016.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). **Revista Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 140-149, 2009.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; COSTA, K. A. P.; CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, p. 193-202, 2013.

SILVA, J. F. G.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; BENITES, V. M.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; BENTO, J. C. Chemical and physical-hydric

characterisation of a Red Latosol after five years of management during the summer between-crop season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1576-1586, 2014.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth to the least limiting water range of soils. **Plant and Soil**, v.184, p. 323-329, 1996.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 973-983, 2003.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C. A., SILVA, A. P., LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 333-339, 1996.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; PEREIRA, J. M.; VALÉRIO, J. R.; PAGLIARINI, M. S.; MACEDO, M. C. M.; LEITE, G. G.; LOURENÇO, A. J.; FERNANDES, C. D.; DIAS FILHO, M. B.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M. A. **O capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificação de pastagens de braquiária**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. 36p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 149).

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1271-1280, 2007.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. **Revista UFG**, n. 13, 2012.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forragem do gênero *Brachiaria* em Latossolo Vermelho fisicamente degradado.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho fisicamente degradado no sudoeste goiano.
- Avaliar as características agronômicas do milho safrinha solteiro e consorciado com diferentes espécies de forragem do gênero *Brachiaria*.
- Analisar a produção de matéria seca e de palhada das espécies forrageiras solteiras e consorciadas sob sistema de manejo sem e com corte de simulação de pastejo.

(Normas de acordo com a Revista Brasileira de Ciência do Solo)

DESEMPENHO DO MILHO E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE BRAQUIÁRIAS EM CONSÓRCIO EM LATOSSOLO COMPACTADO

RESUMO

O alcance de boa produtividade para a safrinha de milho consorciado somado a produção satisfatória de forragem no período da entressafra e adequada produção de palhada para a cultura subsequente em solo com qualidade física comprometida representam uma realidade desafiadora para o sistema de agricultura-pecuária na região do Cerrado. Objetivou-se verificar a viabilidade do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forragem do gênero *Brachiaria* em Latossolo Vermelho fisicamente degradado. Nas parcelas foram avaliados os tratamentos: *Brachiaria brizantha* cv. Paiguás, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *Brachiaria ruziziensis*, em cultivos solteiros e consorciados com milho e o monocultivo de milho. Nas subparcelas foram avaliados dois sistemas de manejo do capim: com e sem corte de simulação de pastejo. A qualidade física do solo foi estimada pelo intervalo hídrico ótimo a partir das amostras indeformadas de solo coletadas nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Na cultura do milho foram realizadas avaliações agronômicas e de produtividade e, nas espécies forrageiras avaliou-se a produtividade de matéria seca e produção de palhada. A compactação do solo potencializada pelo déficit hídrico durante a fase reprodutiva da cultura influencia a baixa produtividade obtida em segunda safra. A substituição da safrinha de milho pela implantação da “safrinha de boi” após o cultivo de verão, em condições de intenso veranico, é indicada mesmo sob estado de degradação física do solo. O capim *Brachiaria ruziziensis* em sistema consorciado sob manejo de corte de simulação de pastejo obteve

produtividade de forragem satisfatória de matéria seca na entressafra e apresenta-se como a melhor alternativa de adoção para o sistema de consórcio em sobressemeadura. A produção de palhada em sistemas consorciados com manejo de corte de simulação de pastejo não apresentou quantidade adequada para cobertura do solo e a supressão do último corte é uma possibilidade para maior acúmulo de biomassa e viabilidade do sistema.

Palavras-chave: compactação do solo, integração agricultura-pecuária, resistência do solo à penetração, safrinha.

PERFORMANCE OF MAIZE AND DRY MATTER PRODUCTION OF *BRACHIARIA* IN INTERCROPPED IN COMPACTED LATOSOL

ABSTRACT

The achievement of good productivity for the intercropped maize crop combined with satisfactory fodder production in the off-season and adequate straw production for subsequent cultivation on soil with compromised physical quality represent a challenging reality for the agriculture-livestock system in the Cerrado. The objective of this study was to verify the viability of the consortium of the offseason corn crop with different forage species of *Brachiaria* in physically degraded Red Latosol. The experiment was carried out with a randomized complete block design in a subdivided plots scheme with four replications. In the plots were evaluated the treatments: *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *Brachiaria ruziziensis*, in single crops and intercropped with corn and corn monoculture. In the subplots, two management systems of the grass were evaluated: with and without grazing simulation cut. The physical quality of the soil was estimated by the optimum water range from the undisturbed soil samples collected at depths of 0-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m after traffic of an agricultural tractor with a tare weight of 4.5 Mg and intensity of four passes on the ground near the field capacity. In the corn crop, agronomic and productivity evaluations were carried out, and in the forage species the forage and straw productivity were evaluated. Soil compaction potentiated by water deficit during the reproductive phase of the crop influences the low productivity obtained in the second harvest. The replacement of the maize crop by the implementation of the "safrinha de boi" after the summer cultivation, in conditions of intense summer, is indicated even under a state of physical degradation of the soil. The *Brachiaria ruziziensis*

grass in the intercropping system under pasture simulation management obtained a satisfactory forage yield of dry matter in the off season and is the best alternative of adoption for the over-ripening consortium system. The production of straw in intercropping systems with grazing simulation cut management did not present adequate amount for soil cover and suppression of the last cut is a possibility for greater accumulation of biomass and viability of the system.

Index terms: soil compaction, agriculture-livestock integration, soil penetration resistance, safrinha

3.1 INTRODUÇÃO

A consolidação do Brasil como grande potência agrícola mundial deve-se em parte, à incorporação de tecnologias intensivas relacionadas ao uso de insumos e da implementação de operações mecanizadas no processo de produção das culturas (Severiano et al., 2013). Entretanto, o uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas na modernização da agricultura intensificou a disseminação da compactação do solo que era um problema secundário (Reichert et al., 2007). Em adição, o monocultivo somado às práticas culturais inadequadas, como o tráfego intenso de maquinário agrícola em condições não ideais de umidade do solo, promove perda da capacidade produtiva do solo e degradação dos recursos naturais.

O consórcio de milho com forrageiras do gênero *Brachiaria* (Trin.) Griseb. spp. (syn. *Urochloa* P. Beauv. spp.) tem sido utilizado na recuperação dos solos degradados pelo sistema radicular mais vigoroso, profundo e abundante dos capins (Flávio Neto et al., 2015). As raízes das forragens favorecem a formação de uma rede de canais no solo promovendo melhoria em sua qualidade física. Outros benefícios contribuíram para o fortalecimento das braquiárias nesse sistema, como boa composição bromatológica, aceitabilidade, rápido estabelecimento mesmo quando semeada tardiamente, maior crescimento no pico da estação seca e facilidade de dessecação (Machado e Valle, 2011). A integração lavoura-pecuária com milho no período de safrinha ou também denominado segunda safra, semeado após a colheita da soja de verão, utiliza os capins em consórcio visando a produção de forragem para o pastejo animal e de palhada para o plantio direto (Kichel et al., 2009).

Atualmente, o país é o terceiro produtor mundial de milho e a maior parte da produção concentra-se em safrinha, destacando-se a região Centro-Oeste como líder na produção brasileira de grãos (Conab, 2016). Essa conjuntura favorece a inserção da forrageira para o consórcio e oportuniza a terceira e quarta safras do sistema no ano agrícola. Caracterizam-se, respectivamente, como a forragem para pastejo após a colheita do milho de segunda safra e a palhada obtida pela dessecação do pasto remanescente para formação de cobertura do solo. Contudo, no Cerrado o clima é caracterizado pela estação seca prolongada, e pode dificultar a produção das forrageiras consorciadas com culturas anuais e, principalmente, a permanência da palhada na área de cultivo (Pacheco et al., 2008).

O alcance de boa produtividade para a safrinha de milho consorciado somado a produção satisfatória de forragem no período da entressafra e adequada produção de palhada para a cultura subsequente, além de um potencial de recuperação estrutural de um solo degradado, representam uma realidade desafiadora para o sistema de agricultura-pecuária na região do Cerrado. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forragem do gênero *Brachiaria* em Latossolo Vermelho fisicamente degradado.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em área experimental no município de Rio Verde – GO, localizada a 17°48'34,25''S e 50°54'05,36''W e com altitude de 731 m.

O clima da região de acordo com Köppen é classificado como Tropical Úmido (Aw) com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual da região é de 25°C e a média pluviométrica anual, de aproximadamente 1600 mm, com o período chuvoso predominante entre os meses de novembro a abril e menores precipitações ocorrendo em junho, julho e agosto. O fenômeno climático “veranico” ocorre em plena estação chuvosa, normalmente com duração de 10 a 15 dias, podendo, eventualmente, prolongar-se por mais de 30 dias. Durante a condução do experimento, foram monitoradas a precipitação pluviométrica e a temperatura sendo os resultados apresentados na Figura 1.

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras deformadas de solo da área com auxílio do trado holandês na profundidade de 0-20 cm e encaminhadas para análise físico-química do solo. A área experimental é caracterizada por Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa cuja composição granulométrica e a caracterização física (Tabela 2) foram determinadas segundo Embrapa (2011).

Foram realizadas previamente duas operações de subsolagem cruzadas a 0,40 m de profundidade, uma aração e duas gradagens, visando eliminar o histórico de tensão da área e controlar as plantas daninhas. Aos 15 dias antes da implantação do ensaio, aplicou-se o herbicida glifosato na dosagem de 5,0 L ha⁻¹ para o controle químico de plantas daninhas oriundas do banco de sementes do solo.

A compactação do solo foi obtida pelo tráfego de um trator agrícola com tara de 4,5 Mg. O conjunto de rodados utilizados foi formado por dois pneus dianteiros (diagonais) e dois traseiros com as seguintes características técnicas: dianteiros, de 14,9”-24,0” e traseiros de 18,4”-34,0”; com pressão de inflação de 95 e 165 kPa, respectivamente. A intensidade de tráfego foi de quatro passadas do trator no mesmo lugar, perfazendo toda a superfície do solo das parcelas experimentais, e aplicada quando o conteúdo de água no solo se encontrava próximo da capacidade de campo, ocasionado pela precipitação ocorrida antes da implantação do ensaio, no mês de janeiro, conforme procedimentos descritos por Guimarães Júnnyor et al. (2015).

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos completos ao acaso com quatro repetições em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados os tratamentos: *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, *Brachiaria ruziziensis*, em cultivos solteiros e consorciados com milho e o monocultivo de milho. Nas subparcelas foram avaliados dois sistemas de manejo do capim: com e sem corte de simulação de pastejo. As dimensões das parcelas foram de 14,0 m de comprimento e 4,5 m de largura constituídas de nove linhas espaçadas de 0,50 m. Consideraram-se como área útil as cinco linhas centrais desconsiderando 1,0 m de cada extremidade da parcela.

Os sistemas consorciados com manejo de corte do capim representaram um cenário de cultivo, após a “segunda safra” de milho, de “terceira safra” de forragem para pastejo e “quarta safra” de palhada para o plantio direto. Os sistemas forrageiros solteiros com corte de simulação de pastejo retrataram uma realidade de cultivo com entressafra apenas de capim com finalidade de pastejo e palhada. Esse sistema é denominado de “boi safrinha”, por substituir o cultivo de grãos pela exploração pecuária. Os sistemas consorciados sem corte de simulação de pastejo representaram um cenário com segunda safra de milho e cultivo de capim exclusivamente para produção de palhada. Os sistemas forrageiros solteiros sem corte de simulação de pastejo reproduziram um cenário de cultivo com entressafra apenas de capim e destinado exclusivamente para produção de palhada, sendo considerada, neste caso, como a “terceira safra” agrícola.

A semeadura mecanizada do milho foi realizada no dia 26 de janeiro de 2016 com semeadora MF 510 de disco duplo e o híbrido utilizado foi P3779H com uso de 30 kg ha⁻¹ de N, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O para adubação de plantio, conforme recomendações de Sousa e Lobato (2004) e de acordo com os resultados da análise físico-química do solo apresentados na Tabela 2. As fontes utilizadas foram ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Aos 22 dias após a semeadura (DAS) no estágio de cinco folhas (V5) da cultura foi realizado o desbaste das plantas para ajuste da população em 60.000 plantas ha⁻¹ e três plantas por metro. Na ocasião, foi realizada a sobressemeadura a lanço das espécies forrageiras nas parcelas de consórcio em mistura com a adubação de cobertura com 70,0 kg ha⁻¹ de N e 30,0 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo as fontes sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente.

A semeadura manual a lanço das forrageiras em sistema de cultivo solteiro foi realizada no dia 27 de janeiro de 2016 e a adubação de plantio foi a mesma adotada para a cultura do milho. A taxa de semeadura para os cultivos consorciados e solteiros foi de 9,0 kg sementes puras e viáveis ha⁻¹ para alcançar um estande populacional final de 17±1 de plantas m⁻².

Ao longo da condução do experimento, foi realizado controle fitossanitário com duas aplicações de inseticida Clorfenapir na proporção 0,5 L ha⁻¹ do produto comercial em pulverizador costal. Não houve aplicação de herbicida para supressão do crescimento das forrageiras. O controle de plantas daninhas foi através de capina manual. Após o florescimento promoveu-se a cobertura das espigas com o uso de tecido não tecido (T.N.T.) para evitar o ataque de pássaros.

Após a semeadura das culturas, foram coletadas nas entrelinhas com auxílio do amostrador tipo Uhland três amostras indeformadas de solo em cada parcela experimental que corresponderam as três camadas de amostragem (0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m). Os anéis volumétricos para amostragem possuíam dimensões de 6,4 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura. Coletou-se ainda amostras deformadas nas profundidades descritas, utilizadas para análise granulométrica e determinação do ponto de murcha permanente (potencial matricial de -1,5 MPa) pelo uso do Extrator de Richards (Embrapa, 2011).

Após a retirada e acondicionamento em filmes plásticos (PVC), as amostras foram submetidas às análises físico-hídricas do solo. No laboratório, o excesso de solo das arestas dos anéis volumétricos foi retirado e as amostras saturadas com água destilada em bandejas através da elevação gradual de lâmina (48 h). Na sequência, foram submetidas ao potencial

matricial de -0,006 MPa até atingir o equilíbrio hidráulico, sendo assim o conteúdo de água obtido considerado equivalente à capacidade de campo do solo (Embrapa, 2011).

Posteriormente, para cada amostra, foram ajustados diferentes conteúdos de água, variando de 0,05 a 0,36 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$, para então serem submetidas ao teste de penetrometria. Neste teste, utilizou-se um penetrômetro de bancada MARCONI-MA 933/30 dotado de variador eletrônico de velocidade (10 mm min^{-1}) e sistema de registro de dados, segundo Severiano et al. (2011). As amostras foram posicionadas no penetrômetro de forma que a ponta cônica se deslocasse ao longo do eixo longitudinal no centro dos cilindros.

Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 48h para a determinação da densidade do solo (D_s). A porosidade total (PT) foi determinada pela equação 1, sendo D_p considerada a densidade de partículas.

$$PT = [1 - (D_s/D_p)] \quad \text{Eq. (1)}$$

A curva de resistência à penetração foi obtida, ajustando os valores de resistência à penetração (RP) em função do conteúdo volumétrico de água (θ) e da D_s , por meio do modelo não linear proposto por Busscher (1990) (Eq. 2). Os parâmetros empíricos de ajuste da curva de resistência à penetração foram obtidos por minimização da soma dos quadrados da diferença entre os valores determinados e estimados pelos modelos, utilizando algoritmos de planilhas eletrônicas, conforme Leão e Silva (2004). Para avaliação da acurácia do modelo ajustado, foi considerada a raiz do erro médio quadrado entre os valores determinados e estimados o coeficiente de determinação do ajuste (R^2).

$$RP = 0,097\theta^{-0,959} D_s^{6,509}; R^2 = 0,83^{**} \quad \text{Eq. (2)}$$

A qualidade física do solo foi determinada pelo intervalo hídrico ótimo (IHO), de acordo com os procedimentos descritos em Silva et al. (1994), considerando, como limites superiores, o conteúdo de água no solo retido no potencial matricial -0,006 MPa definido como capacidade de campo (θ_{CC}) (Severiano et al., 2011) e/ou aquele em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de 10%, calculado para cada amostra pela equação 3:

$$\theta_{PA} = PT - 0,1 \quad \text{Eq. (3)}$$

Para os limites inferiores considerou-se o conteúdo de água retido no potencial de -1,5 MPa como sendo o ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e/ou o conteúdo de água correspondente à resistência à penetração de 1,41 MPa (θ_{RP}), considerando a média de valores críticos para a cultura do milho em estudos prévios (Tabela 3) e determinada através da Eq. 2.

O IHO foi obtido ajustando os limites do conteúdo de água no solo em função da D_s , sendo o limite superior o menor valor entre θ_{CC} e θ_{PA} e limite inferior o maior valor entre θ_{PMP} e θ_{RP} , através do software Sigma Plot 11.0 (Jandel Scientific).

Aos 84 DAS no estádio R2 (grão leitoso) realizou-se as avaliações do desenvolvimento morfológico em 10 plantas da área útil de cada parcela, considerando as seguintes variáveis: altura de plantas no ponto de inserção da última folha, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo no segundo internódio acima do solo.

A colheita do milho foi realizada aos 126 DAS e a produtividade foi avaliada através da pesagem dos grãos com correção da umidade para 13%. Utilizou-se 10 plantas inteiras de cada parcela colhida para as avaliações das seguintes variáveis: comprimento e diâmetro da espiga, número de grãos por espiga, peso de 1000 grãos e o índice de colheita, que correspondeu a fração de grãos em relação à matéria seca da parte aérea da planta.

As forrageiras foram monitoradas por 259 DAS através do incremento de biomassa variando de acordo com a sazonalidade climática e obedeceu a altura de pastejo de 0,20 m, na senescência foliar do terço basal e com intervalo de corte correspondente a 65 dias em média. Os cortes das forrageiras em sistema de cultivo solteiro com manejo de corte de simulação totalizaram quatro e foram realizados em 31/03/2016 (1º corte), 03/06/2016 (2º corte), 04/08/2016 (3º corte) e 12/10/2016 (4º corte). Em sistema de cultivo consorciado com manejo de corte de simulação, o primeiro corte deu-se a partir de 03/06/2016, após colheita da cultura do milho, e totalizaram três cortes.

Determinou-se a produtividade de matéria seca através da coleta de amostras das forrageiras em uma área de 1,0 m² com auxílio de um quadrado de metal adotando como referência 0,20 m em relação à superfície do solo. O material cortado foi pesado e uma subamostra com aproximadamente 0,5 kg colocada em estufa de circulação de ar forçada à 55°C por 72 horas, sendo as quantidades extrapoladas para kg ha⁻¹. Após cada avaliação, realizou-se o corte das forrageiras de toda área experimental com roçadora costal na mesma altura e posterior retirada do material da área.

A dessecação aconteceu cinco dias após o último corte para permitir a rebrota das forrageiras nos sistemas consorciados com manejo de simulação de pastejo. A pulverização foi em área total no dia 17/10/2016 com herbicida glifosato na dosagem de 1,5 L ha⁻¹ e 14 dias após, determinou-se a matéria seca residual (palhada) empregando-se o mesmo procedimento para determinação da produtividade de matéria seca com corte rente à superfície do solo.

Os resultados dos atributos avaliados no milho e as nas espécies forrageiras foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey à 5% de probabilidade, quando constatada significância.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre o conteúdo de água e a densidade do solo (D_s), considerando os limites críticos do IHO, é apresentada na Figura 2. O IHO ficou definido no limite superior pelo conteúdo de água na capacidade de campo e a resistência à penetração passou a limitar o IHO a partir da D_s de $1,14 \text{ kg dm}^{-3}$. Houve substituição do θ_{PMP} como limite inferior, sendo que até esse ponto o IHO foi igual à água disponível ($AD = \theta_{\text{CC}} - \theta_{\text{PMP}}$), e após o mesmo é possível verificar uma relação inversa entre a densidade do solo e a amplitude do intervalo.

Tais resultados são similares aos obtidos por Severiano et al. (2011) em que o IHO de solos do Cerrado é limitado na parte superior pelo conteúdo de água na capacidade de campo e na parte inferior pela resistência à penetração. Esses autores associaram a estrutura do tipo granular dos Latossolos como o fator que favorece esse comportamento, pois confere maior desenvolvimento de poros estruturais (macroporos) que promovem uma aeração excessiva e baixa capilaridade, menor retenção de água e conseqüentemente menor lubrificação das partículas do solo aumentando o atrito das raízes. A θ_{PA} não representou fator limitante no solo estudado e pode ser atribuída à elevada porosidade total presente nos Latossolos, em que problemas de aeração são verificados quando há um nível de compactação severa ou excesso de umidade (Severiano et al., 2011).

A densidade crítica (D_{sc}) encontrada foi de $1,29 \text{ kg dm}^{-3}$ na camada avaliada e é aquela em que o IHO é igual a zero e partir deste ponto pode causar limitações severas ao desenvolvimento das plantas. O valor de D_{sc} no IHO do presente estudo contrasta com o valor encontrado por Freddi et al. (2009b) de $1,46 \text{ kg dm}^{-3}$ em Latossolo Vermelho de Textura Média considerando uma resistência à penetração de 1,65 MPa em área com sistema convencional, porém é semelhante ao encontrado por Kaiser et al. (2009) em que valor foi $1,36 \text{ kg dm}^{-3}$ em Latossolo Vermelho Argiloso com uma resistência à penetração de 1,5 MPa em área com sistema de plantio direto. Dessa maneira, observa-se que a D_{sc} pode ser definida como uma variável dependente do nível de compactação e da textura do solo, além do valor de resistência à penetração considerada limitante.

É possível verificar que o IHO se apresenta como um parâmetro mais sensível que a água disponível, pois consegue detectar o atributo que se torna limitante em função do

aumento da densidade do solo, possibilitando descrever efeitos a partir das variações na estrutura do solo, quantificar as limitações físicas para o crescimento das plantas e favorecer a tomada de decisão quanto ao manejo adequado para a condição atual do solo.

Nota-se que o intervalo torna nulo em todo o perfil do solo (Figura 3), uma vez que o conteúdo de água da resistência à penetração (θ_{RP}) ultrapassou o determinado na capacidade campo (θ_{CC}). Houve o cruzamento dos limites inferior e superior no IHO demonstrando que as densidades médias do solo das camadas no momento da implantação do milho safrinha (Tabela 4) encontravam-se acima da Dsc de $1,29 \text{ kg dm}^{-3}$. Desse modo, pôde-se verificar que a condição do solo se encontrava restritiva para cultivo do milho e caracteriza o estado de compactação do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Freddi et al. (2007b) ao estudarem níveis de compactação em Latossolo Vermelho, em que apenas o tratamento sem tráfego apresentou Ds abaixo da Dsc determinada pelo IHO e nos demais níveis mesmo que o conteúdo de água permanecesse (o que não ocorre, notadamente em cultivos de safrinha) sempre na capacidade de campo, haveriam restrições pela resistência à penetração observada.

É atestado que a θ_{RP} o fator mais limitante ao IHO em solos da região do Cerrado brasileiro (Severiano et al., 2011). Por esse motivo, a definição de teores-limites para o atributo pode afetar a aplicabilidade do conceito deste indicador de qualidade física do solo na avaliação do rendimento agrônômico das culturas. Assim, até que seja proposta de avanços relacionados ao limite crítico associado ao impedimento mecânico, uma alternativa com efeito imediato seria considerar valores de referência disponíveis em literatura e associados às culturas de interesse na determinação do IHO.

Considerando então as colaborações disponibilizadas nos últimos anos na literatura agrônômica para a cultura do milho cultivado no Brasil (Foloni et al., 2003; Silva et al., 2004; Freddi, 2007; Freddi et al., 2007ab; Freddi et al., 2009ab; Beutler et al., 2009; Deperon Junior et al., 2016), destaca-se que o valor de RP médio encontrado foi de 1,41 MPa, variando de 0,9 a 2,15 de acordo com as condições experimentais de cada estudo (Tabela 3). Em adição, salienta-se que Gubiani et al. (2013) utilizaram valores variando de 2 a 4 MPa e constataram que, embora seja sensível à compactação do solo, o IHO não associou ao crescimento e produção de milho.

Os resultados apresentados no presente estudo indicam que os sistemas de cultivo não influenciaram o desenvolvimento do milho sob condições de segunda safra (Tabela 5), pois não houve alterações nas características agrônômicas do milho em função do consórcio com os diferentes capins do gênero *Brachiaria* em relação ao monocultivo.

A associação da modalidade de sobressemeadura utilizada (a lanço) com intervalo de 21 dias após a implantação da cultura do milho pode ter promovido o efeito não competitivo do consórcio nos parâmetros avaliados nesse estudo. Bravin e Oliveira (2014) verificaram que o consórcio de milho com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés em sistema agrossilvipastoril, tanto em plantio direto quanto em preparo convencional, não promoveram competição com a cultura do milho evidenciando a diminuição do poder competitivo do capim quando é semeado após o milho, pois o maior porte das plantas da cultura anual favorece o sombreamento e dificulta o estabelecimento inicial da forrageira.

Quanto ao estado de compactação do solo a que foram submetidas as plantas do presente estudo (Figura 3), percebe-se que não foi restritivo ao desenvolvimento inicial e estabelecimento da cultura pois as médias obtidas dos componentes de produção (Tabela 5) assemelham-se a outros estudos relacionados ao desempenho do milho consorciado (Bravin e Oliveira, 2014; Richart et al., 2010; Brambilla et al., 2009).

Constatou-se que os parâmetros agronômicos não foram severamente comprometidos durante o período vegetativo, mesmo sob condições físicas adversas do solo. Isto se deve, provavelmente, ao microambiente favorável para o desenvolvimento radicular através do rompimento da camada de compactação no sulco de semeadura do milho através dos discos duplos de corte da semeadora. Anghinoni et al. (2017) ao estudarem as propriedades físicas de um Latossolo na linha de semeadura e na entrelinha durante o cultivo de soja, verificaram que a operação de semeadura com o corte do sulco pela semeadora de discos promoveu maior macroporosidade, menor densidade do solo e favoreceu o crescimento das plantas durante o ciclo da cultura. Sendo assim, o efeito no sulco de semeadura associado ao uso de tratos culturais intensivos, como adubação de plantio e de cobertura, controle de plantas daninhas e, associados à precipitação pluviométrica satisfatória durante o período de crescimento vegetativo (Figura 1), que correspondeu aos meses de janeiro a março, contribuíram para o estabelecimento do milho. Tais constatações sugerem que, em condições de distribuição pluviométricas regulares (como normalmente ocorrem na primeira safra agrícola), a compactação do solo pode não ser o principal fator limitante à produção agrícola.

Entretanto, o peso de 1000 grãos (Tabela 5) apresentou valor muito inferior aos encontrados em outros trabalhos, que avaliaram o mesmo parâmetro em milho consorciado, com variação entre 275 g a 370,7 g (Bravin e Oliveira, 2014; Richart et al., 2010). Isto se refletiu no baixo valor médio de produtividade do milho, estando associado não somente ao estresse hídrico em que a cultura foi submetida em plena fase de floração

(Figura 1), explicitando assim, a elevada possibilidade de riscos climáticos em cultivos de safrinha sem irrigação suplementar, mas também pode ter sido muito agravada limitação ao aprofundamento radicular imposta pelo estado de compactação do solo (Freddi et al., 2007a).

Entretanto, é comum atribuir a quebra de produtividade exclusivamente ao déficit hídrico, negligenciando a limitação imposta pela compactação do solo. Por esses motivos, ressalta que a redução de rendimento pode acontecer mesmo em anos com condições climáticas favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, entre a pré-floração ao início de enchimento de grãos, pois a recuperação da capacidade reprodutiva não poderá ocorrer satisfatoriamente tendo em vista que os eventos reprodutivos da cultura são mais rápidos que a fase vegetativa (Bergamaschi et al., 2006).

A produtividade de milho safrinha nos diferentes sistemas de cultivo (Tabela 5) também não sofreu influência pelo sistema de consórcio e não houve efeito de competição das forrageiras. Esse resultado corrobora com Richart et al. (2010) e Bravin e Oliveira (2014), que não verificaram redução na produtividade do milho consorciado com diferentes espécies de capim *Brachiaria* em comparação ao monocultivo da cultura.

A semeadura do milho em período safrinha no presente estudo obedeceu ao calendário de plantio adequado para a cultura em questão na região do sudoeste goiano, em concordância com a Conab (2016), órgão responsável pelo monitoramento agrícola brasileiro. O zoneamento de risco climático apontou os meses de janeiro a março como período favorável para a semeadura do milho de segunda safra. Essa medida preventiva adotada deve fazer parte do planejamento dos produtores rurais para a implantação das culturas a fim de minimizar a recorrência aos seguros agrícolas.

Contudo, a estimativa da safrinha de milho no estado de Goiás registrou uma produtividade média de 3537 kg ha⁻¹ para o ano de 2016, sendo considerada a temporada que apresentou maior queda nos últimos 10 anos em razão do forte veranico no estágio de formação das espigas (Conab, 2016). A produtividade média obtida nesse trabalho foi 2526 kg ha⁻¹, e representa redução percentual de 29% à média regional, esse fato pode estar associado às intempéries climáticas supracitadas, somada à condição de compactação do solo em que as plantas foram submetidas no presente estudo (Figura 3).

Comportamento semelhante foi encontrado por Freddi et al. (2007a) ao verificar que as restrições físicas resultantes da compactação do solo e a baixa disponibilidade hídrica no período de crescimento vegetativo provocaram alterações na morfologia do sistema radicular do milho, restringindo a absorção de nutrientes e limitando a

produtividade de grãos da cultura. De acordo com Kaiser et al. (2009), as plantas tendem a manter o sistema radicular superficial quando encontram condições adequadas de crescimento no início do período vegetativo ou quando estão sob alta resistência à penetração, entretanto, a partir do momento que ocorrem períodos de veranico, o acesso à água torna-se limitado, não permitindo o aproveitamento da água armazenada nas camadas mais profundas ou abaixo da camada de maior resistência; por conseguinte, este estado resulta em baixas produtividades da cultura.

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, verifica-se que o déficit hídrico não é o único fator determinante para a queda da produtividade do milho de segunda safra na região do Centro-Oeste como se propunha erroneamente. Haja vista que o desenvolvimento vegetativo foi adequado para a cultura, seja em cultivo solteiro ou consorciado, enquanto a precipitação foi satisfatória. Entretanto, a baixa produtividade deve-se também à compactação do solo potencializada pelo período de estiagem durante a fase reprodutiva da cultura. Assim, em anos com distribuição pluviométrica adequada corre-se o risco de mascarar o efeito de compactação presente em áreas produtivas e, tornar-se uma condição negligenciada pelos produtores, que não se atentam ao devido manejo e conservação do solo e da água, ignorando a necessidade da implantação de práticas mitigadoras deste cenário, como a integração agricultura-pecuária.

Os sistemas forrageiros consorciados aos 64 DAS não foram submetidos ao manejo de corte de simulação de pastejo, pois, a colheita do milho safrinha ainda não havia sido realizada (Tabela 6). Observa-se que houve diferença na produtividade dos capins entre os intervalos de corte para os sistemas forrageiros avaliados. Os capins Paiaguás e Xaraés, ambos da espécie *Brachiaria brizantha*, em sistema monocultivo obtiveram produtividades maiores aos 64 e 128 DAS e redução das mesmas nos últimos dois cortes de simulação de pastejo (190 e 259 DAS). Esses dados corroboram com Costa et al. (2016) que ao avaliarem a produtividade de capim Paiaguás em monocultivo no período da entressafra verificaram redução de 65% do primeiro para o segundo corte e relacionaram o baixo crescimento da forrageira com ausência de chuva e baixas temperaturas.

Os capins do gênero *Brachiaria* tem tido desempenho agrônômico satisfatórios para o período de entressafra, mesmo estando o solo degradado fisicamente (Maia et al., 2014) e ainda, prestando o serviço ambiental de descompactação biológica (Flávio Neto et al., 2015). Neste sentido, ao observar a produção total de cada sistema forrageiro (Tabela 6), nota-se que os capins em monocultivo obtiveram as maiores médias de produtividade de matéria seca.

De acordo com Blaser (1994) a exigência de matéria seca de forrageira de um novilho para recria ou engorda dos 150 aos 450 kg de peso vivo é 1903 kg, considerando um ganho de peso diário de 1,10 kg com um tempo necessário de 273 dias. Com base nessa referência, os capins em monocultivo atendem plenamente essa exigência e permite uma taxa de lotação de 4 UA ha⁻¹ ano⁻¹. Esses resultados demonstram que a substituição da “safrinha de grãos” pela “safrinha de boi” em condições de intenso veranico, como nas condições avaliadas (Figura 1) é adequada, mesmo em condições de degradação física do solo (Figura 3).

Entre os capins em sistema consorciado, a *Brachiaria ruziziensis* apresentou a maior produtividade e suficiente para atender uma taxa de lotação de 1 UA ha⁻¹ ano⁻¹. Dessa maneira, esse capim pode ser, talvez, a melhor alternativa de adoção para o sistema de consórcio implantando em sobressemeadura e, principalmente, sob condições severas de estresse hídrico.

De modo geral, os resultados demonstraram que o capim Xaraés em sistema monocultivo destacou-se com as maiores produtividades de matéria seca, já os sistemas forrageiros consorciados apresentaram menores médias para essa variável. As condições edafoclimáticas e de manejo nas quais o ensaio foi submetido podem ter influenciado esse comportamento, pois a sobressemeadura defasada a lançar em condição de compactação do solo juntamente ao déficit hídrico acentuado na entressafra do ano agrícola de 2016, configuraram um cenário não tão favorável ao estabelecimento da “terceira safra” em sistema de integração lavoura-pecuária. Pelos motivos elencados, até mesmo a “segunda safra” foi severamente comprometida (Figura 3), mesmo com advento tecnológico de produção em que associados à fatores edafoclimáticos favoráveis, pode obter índices produtivos superiores até mesmo à “primeira safra” (cultivo de verão).

Nota-se que, no manejo de corte de simulação de pastejo, o capim-Xaraés em sistema monocultivo apresenta a maior produtividade de palhada (Tabela 7), seguido pelo capim *Brachiaria ruziziensis* em monocultivo. Resultados semelhantes foram encontrados por Machado e Assis (2010), que ao estudarem a matéria seca da palhada de oito forrageiras em sistema monocultivo com manejo de cortes sucessivos na entressafra sob Latossolo Vermelho Distrófico obtiveram média de 5196 kg ha⁻¹ para *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, sobressaindo-se aos demais tratamentos; e média de 4008 kg ha⁻¹ para *Brachiaria ruziziensis*. O destaque na produção de palhada pelo capim-Xaraés obtida nesse trabalho é atribuída à sua alta produtividade de matéria seca, especialmente de folhas, e a rápida rebrota.

O sistema de sobressemeadura a lanço adotado no presente estudo associado ao déficit hídrico (Figura 1) durante a época de produção das forragens podem ser os fatores que levaram os capins em sistemas consorciados a apresentarem baixos valores de produtividade de palhada em relação aos capins em sistema de monocultivo (Tabela 7). Costa et al. (2016) ao estudarem a produção de biomassa remanescente de capim *Brachiaria brizantha* solteira e em consórcio com milho na safrinha sob diferentes formas de implantação do cultivo, verificaram que em sobressemeadura (15 dias após sementeira da cultura anual) a produtividade foi menor que nas demais modalidades.

No manejo sem corte, ou seja, que não houve simulação de pastejo, as maiores produtividades de palhada foram alcançadas pelos capins Xaraés e Paiaguás em sistema monocultivo (Tabela 7). Corroborando com Machado e Assis (2010) que encontraram maior produção de palhada para o capim-Xaraés (9437 kg ha⁻¹) comparado às demais forrageiras estudadas em sistema monocultivo sem manejo de corte.

Entre os manejos, as maiores médias de produtividade de palhada foram obtidas pela ausência de corte em todos os sistemas forrageiros estudados (Tabela 7). A maior disponibilidade hídrica pelas precipitações pluviométricas (Figura 1) nos meses iniciais e a ausência de remoção da folhagem periodicamente podem ter contribuído para maior acúmulo de matéria vegetal durante o desenvolvimento das forrageiras.

Observa-se que os sistemas forrageiros sob manejo de corte de simulação de pastejo (Tabela 7) não alcançaram o valor de 6000 kg ha⁻¹ de matéria seca residual sobre a superfície do solo estabelecido como referência. De acordo com Alvarenga et al. (2001) esse valor pode ser considerado como quantidade adequada para o sistema plantio direto favorecendo boa taxa de cobertura do solo.

Percebe-se que a “quarta safra” do ano agrícola estudado, referente à safra de palhada, apresentou desempenho não satisfatório em manejo de corte de simulação de pastejo, principalmente em sistema consorciado. Pode-se atribuir, principalmente, ao severo veranico (Figura 1) e à implantação do capim em sobressemeadura, uma vez que a compactação do solo não parece ser o principal fator limitante ao desenvolvimento de capins *Brachiaria* (Flávio Neto et al., 2015; Maia et al., 2014). O período de estiagem acima da média histórica pode ter reduzido o acúmulo de matéria vegetal nas forrageiras refletindo na produção da matéria seca residual. No âmbito deste trabalho, sugere-se então a supressão do último corte no manejo como possibilidade de maior acúmulo de biomassa promovendo uma rebrota vigorosa para assim efetuar a dessecação objetivando alcançar a

taxa adequada de cobertura do solo pela palhada permitindo a viabilidade do sistema consorciado.

Pelos motivos supracitados, torna-se necessário a continuidade dos estudos sobre as interações clima-solo-planta-animal em sistemas de integração agricultura-pecuária na região do Cerrado, de modo a subsidiar a implantação de até quatro safras sem o uso de irrigação suplementar (safra de verão, safrinha de grãos, safra de forragem para pecuária à pasto e safra de palhada para o plantio direto).

3.4 CONCLUSÕES

Não houve interferência dos capins do gênero *Brachiaria* na produtividade e nas características agrônomicas do milho safrinha consorciado em relação ao milho monocultivo. A compactação do solo potencializada pelo déficit hídrico durante a fase reprodutiva da cultura influencia a baixa produtividade obtida em segunda safra.

Os capins do gênero *Brachiaria* em monocultivo obtiveram maiores produtividades. A substituição da safrinha de milho pela implantação da “safrinha de boi” após o cultivo de verão, em condições de intenso veranico, é indicada mesmo sob estado de degradação física do solo.

O capim *Brachiaria ruziziensis* em sistema consorciado sob manejo de corte de simulação de pastejo obteve produtividade de forragem satisfatória de matéria seca na entressafra e apresenta-se como a melhor alternativa de adoção para o sistema de consórcio em sobressemeadura sob condições severas de estresse hídrico.

A “quarta safra” referente a produção de palhada em sistemas consorciados com manejo de corte de simulação de pastejo não apresentou quantidade adequada para cobertura do solo. Recomenda-se a supressão do último corte no manejo como possibilidade de maior acúmulo de biomassa e viabilidade do sistema.

3.6 REFERÊNCIAS

Alvarenga RC, Cabezas WAL, CRUZ JC, Santana DP. Plantas de cobertura de solo para o sistema plantio direto. Inf Agropec. 2001;22:25-36.

Anghinoni G, Tormena CA, LAL R, Moreira WH, Betioli Júnior E, Ferreira CJB. Within cropping season changes in soil physical properties under no-till in Southern Brazil. Soil Tillage Res. 2017;166:108-112.

Bergamaschi H, Dalmago GA, Comiran F, Bergonci JI, Müller AG, França S, Santos AO, Radin B, Bianchi CAM, Pereira PG. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Pesq Agropec Bras. 2006;41:243-249.

Beutler AN, Centurion JF, Mengatto LH, Mengatto LH, Alves JB, Wagner GPC. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. *Acta Sci.* 2009;31:359-364.

Blaser RE. Manejo do complexo pastagem-animal para avaliação de plantas e desenvolvimento de sistemas de produção de forragem. In: Peixoto AM, Moura JC, Faria VP, editores. *Pastagens: fundamentos da exploração racional*. 2. ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz; 1994. p.279-335.

Brambilla JA, Lange A, Buchelt AC, Massaroto JA. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Sorriso, Mato Grosso. *R Bras Milho Sorgo.* 2009;8:263-274.

Bravin MP, Oliveira TK. Adubação nitrogenada em milho e capim-xaraés sob plantio direto e preparo convencional em sistema agrossilvipastoril. *Pesq Agropec Bras.* 2014; 49:762-770.

Busscher WJ. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Am Soc Agric Eng.* 1990;33:519-524.

Companhia Nacional de Abastecimento - Conab. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: décimo primeiro levantamento safra 2015/16. Brasília: 2016.

Costa RRGF, Costa KAP, Assis RL, Santos CB, Severiano EC, Rocha AFS, Oliveira IP, Costa PHCP, Souza WF, Aquino MM. Dynamics of biomass of pearl millet and Paiaguas palisadegrass in different forage systems and sowing periods in yield of soybean. *Afr J Agric Res.* 2016;11:4661-4673.

Costa RRGF, Costa KAP, Santos CB, Severiano EC, Epifanio PS, Silva JT, Teixeira DAA, Silva VR. Production and nutritional characteristics of pearl millet and Paiaguas palisadegrass under different forage systems and sowing periods in the offseason. *Afr J Agric Res.* 2016;11:1712-1723.

Deperon Júnior MA, Nagahama HJ, Olszewski N, Cortez JW, Souza EB. Influência de implementos de preparo e de níveis de compactação sobre atributos físicos do solo e aspectos agronômicos da cultura do milho. *Eng Agric.* 2016;36:367-376.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: 2011.

Flávio Neto J, Severiano EC, Costa KAP, Guimarães Junnyor WS, Gonçalves WG, Andrade R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. *Acta Sci.* 2015;37:375-383.

Foloni JSS, Calonego JC, Lima SL. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesq Agropec Bras.* 2003;38:947-953.

Freddi OS. Avaliação do intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho cultivado com milho [Tese]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista; 2007.

Freddi OS, Centurion JF, Beutler NA, Aratani RG, Leonel CL. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *R Bras Ci Solo*. 2007a;31: 627-363.

Freddi OS, Centurion JF, Beutler AN, Aratani RG, Leonel CL, Silva AP. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. *Bragantia*. 2007b;66:477-486.

Freddi OS, Centurion JF, Duarte AP, Leonel CL. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – Características de planta, solo e índice S. *R Bras Ci Solo*. 2009a;33:793-803.

Freddi OS, Centurion JF, Duarte AP, Peres FSC. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II – Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. *R Bras Ci Solo*. 2009b;33:805-818.

Gubiani PI, Goulart RZ, Reichert JM, Reinert DJ. Crescimento e produção de milho associados com o intervalo hídrico ótimo. *R Bras Ci Solo*. 2013;37:1502-1511.

Guimarães Júnnyor WS, Severiano EC, SILVA AG, Gonçalves WG, Andrade R, Martins BRR, Custódio GD. Sweet sorghum performance affected by soil compaction and sowing time as a second crop in the Brazilian Cerrado. *R Bras Ci Solo*. 2015;39:1744-1754.

Kaiser DR, Reinert DJ, Reichert JM, Collares GL, Kunz M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. *R Bras Ci Solo*. 2009;33:845-855.

Kichel NA, Costa JAA, Almeida RG. Cultivo simultâneo de capins com milho na safrinha: produção de grãos de forragem e de palhada para plantio direto. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; 2009. (Documentos, 177).

Leão TP, Silva AP. A simplified Excel algorithm for estimating the least limiting water range of soils. *Sci Agric*. 2004;61:649-654.

Machado LAZ, Assis PGG. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. *Pesq Agropec Bras*. 2010;45:415-422.

Machado LAZ, Valle CB. Desempenho agrônômico de genótipos de capim braquiária em sucessão à soja. *Pesq Agropec Bras*. 2011;46:1454-1462.

Maia GA, Costa KAP, Severiano EC, Epifanio PS, Flávio Neto J, Ribeiro MG, Fernandes PB, Silva JFG, Gonçalves WG. Yield and Chemical Composition of Brachiaria Forage Grasses in the Offseason after Corn Harvest. *Am J Plant Sci*. 2014;5:933-941.

Pacheco LP, Pires FR, Monteiro FP, Procopio SO, Assis RL, Carmo ML, Petter FA. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. *Pesq Agropec Bras*. 2008;43:815-823.

Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação efeitos limites críticos e mitigação. R Tóp Ci Solo. 2007;5:49-134.

Richart A, Paslauski T, Nozaki MH, Rodrigues CM, Fey R. Desempenho do milho safrinha e da *Brachiaria ruziziensis* cv. Comum em consórcio. R Bras Ci Agr. 2010;5: 497-502.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Junior MS, Curi N, Costa KAP, Carducci CE. Preconsolidation pressure soil water retention characteristics and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. Soil Res. 2013;51:193-202.

Severiano EC, Oliveira GC, Dias Júnior MS, Costa KAP, Silva FG, Ferreira Filho SM. Structural changes in Latosols of the Cerrado Region: I – Relationships between soil physical properties and Least Limiting Water Range. R Bras Ci Solo. 2011;35:773-782.

Silva AP, Imhoff S, Kay B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. Sci Agric. 2004;61:451-456.

Silva AP, Kay BD, Perfect E. Characterization of the least limiting water range. Soil Sci Soc Am J. 1994;58:1775-1781.

Souza DMG, Lobato E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados; 2004.

Tabela 2. Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016.

| Camada (cm) | Dp ⁽¹⁾ (kg dm ⁻³) | Granulometria ⁽²⁾ | | | Ca | Mg | H+Al | K | P ⁽³⁾ (mg dm ⁻³) | Zn | V ⁽⁴⁾ % | pH ⁽⁵⁾ |
|----------------|---|------------------------------|-------|--------|-----|-----|------|----|--|-----|-----------------------|-------------------|
| | | Areia | Silte | Argila | | | | | | | | |
| 0 – 20 | 2,74 | 350 | 200 | 450 | 2,1 | 1,3 | 2,3 | 97 | 1,2 | 2,3 | 61,34 | 5,4 |

⁽¹⁾Dp: Densidade de partículas pelo método do picnômetro. ⁽²⁾Determinação pelo método da pipeta. ⁽³⁾P: Determinação pelo extrator Mehlich. ⁽⁴⁾V: saturação por bases. ⁽⁵⁾pH em CaCl₂.

Tabela 3. Média dos valores críticos de resistência do solo à penetração (RP) em MPa para o desenvolvimento da cultura do milho.

| RP (MPa) | Tipo de solo | Sistema de cultivo | Referência |
|-----------|------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 0,91 | Argissolo Vermelho-Amarelo Arenoso | Convencional | Beutler et al. (2009) |
| 1,53 | Argissolo Amarelo Arenoso | Convencional | Deperon Jr. et al. (2016) |
| 1,40 | Latossolo Vermelho Textura Média | Vaso | Foloni et al. (2003) |
| 1,16 | Latossolo Vermelho Argiloso | Convencional | Freddi (2007) |
| 1,65 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2007) a |
| 1,65 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2007) b |
| 2,15 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2009) a |
| 1,23-1,43 | Latossolo Vermelho Textura Média | Convencional | Freddi et al. (2009) b |
| 1,00 | Solos com 5,8 a 37,4% Argila | Convencional | Silva et al. (2004) |
| 1,41 | | Média | |

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a densidade do solo (Ds) em kg dm⁻³ em diferentes profundidades na implantação do milho safrinha em sistemas de cultivo solteiro e consorciado com espécies de capim-braquiária em Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016.

| Fonte de Variação | Quadrado Médio | | |
|---------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Ds (0-5 cm) ^{ns} | Ds (5-10 cm) ^{ns} | Ds (10-20 cm) ^{ns} |
| Sistemas de Cultivo | 0,0015 | 0,0009 | 0,0008 |
| Resíduo | 0,0012 | 0,0006 | 0,0004 |
| CV (%) | 2,59 | 1,94 | 1,60 |
| Média Geral | 1,32 | 1,30 | 1,30 |

^{ns}: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as variáveis agronômicas e produtividade da cultura do milho safrinha em sistemas de cultivo solteiro e consorciado com espécies de capim-braquiária em Latossolo Vermelho Distroférico sob condição de compactação do solo em Rio Verde-GO, 2016.

| Fonte de Variação | Quadrado Médio | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|--|
| | AP ^{ns} (m) | AIE ^{ns} (m) | DC ^{ns} (mm) | CE ^{ns} (mm) | DE ^{ns} (mm) | NGE ^{ns} | P1000 ^{ns} (g) | PD ^{ns} (kg ha ⁻¹) |
| Sistemas de Cultivo | 0,002 2 | 0,0002 | 0,9620 | 33,8847 | 1,5345 | 3940,41 | 3,0167 | 145997,47 |
| Resíduo | 0,004 6 | 0,0033 | 1,2313 | 135,0056 | 4,8706 | 4485,36 | 2,5273 | 319446,13 |
| CV (%) | 3,77 | 6,28 | 4,36 | 6,35 | 4,97 | 13,01 | 17,46 | 22,37 |
| Média Geral | 1,80 | 0,92 | 25,43 | 182,95 | 44,44 | 515 | 91,07 | 2526,28 |

^{ns}: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. AP: Altura de Planta. AIE: Altura de Inserção da Espiga. DC: Diâmetro do Colmo. CE: Comprimento da Espiga. DE: Diâmetro da Espiga. NGE: Número de Grãos por Espiga. P1000: Peso de 1000 grãos. PD: Produtividade.

Tabela 6. Produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹) dos capins do gênero *Brachiaria* em função dos sistemas de cultivo e do intervalo de corte em Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016.

| Sistema Forrageiro | Intervalo de Corte | | | | Total |
|--|--------------------|-----------------------|---------|---------|-------|
| | 64 DAS | 128 DAS | 190 DAS | 259 DAS | |
| B. brizantha cv. Paiaguás monocultivo | 3033Ab | 3391Aa ⁽¹⁾ | 1067Bab | 1271Bab | 8762 |
| B. brizantha cv. Paiaguás consorciado ⁽²⁾ | ND | 167Bc | 491ABc | 756Aab | 1414 |
| B. brizantha cv. Xaraés monocultivo | 3073Ab | 3036Aa | 1366Ba | 1467Ba | 8942 |
| B. brizantha cv. Xaraés consorciado | ND | 301Bc | 588ABbc | 957Aab | 1846 |
| B. ruziziensis monocultivo | 5585Aa | 1497Bb | 970Babc | 923Bab | 8975 |
| B. ruziziensis consorciado | ND | 692Abc | 926Aabc | 677Ab | 2295 |

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Sistema consorciado com menos 21 dias contabilizados em cada intervalo de corte em função da sobresemeadura defasada. ND: Não Determinado. DAS: Dias Após a Semeadura.

Tabela 7. Matéria seca residual (palhada) dos capins do gênero *Brachiaria* em sistemas forrageiros solteiro e consorciado com a cultura do milho safrinha sob manejo sem e com corte de simulação de pastejo em Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO, 2016.

| Sistema Forrageiro | Manejo | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| | Com Corte (kg ha ⁻¹) | Sem Corte (kg ha ⁻¹) |
| <i>B. brizantha</i> cv. Paiaguás consorciado | 1916cB ⁽¹⁾ | 6083cA |
| <i>B. brizantha</i> cv. Paiaguás monocultivo | 2957abcB | 18496aA |
| <i>B. brizantha</i> cv. Xaraés consorciado | 2839abcB | 8217bA |
| <i>B. brizantha</i> cv. Xaraés monocultivo | 4736aB | 18563aA |
| <i>B. ruziziensis</i> consorciado | 2580bcB | 8504bA |
| <i>B. ruziziensis</i> monocultivo | 4060abB | 9761bA |

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

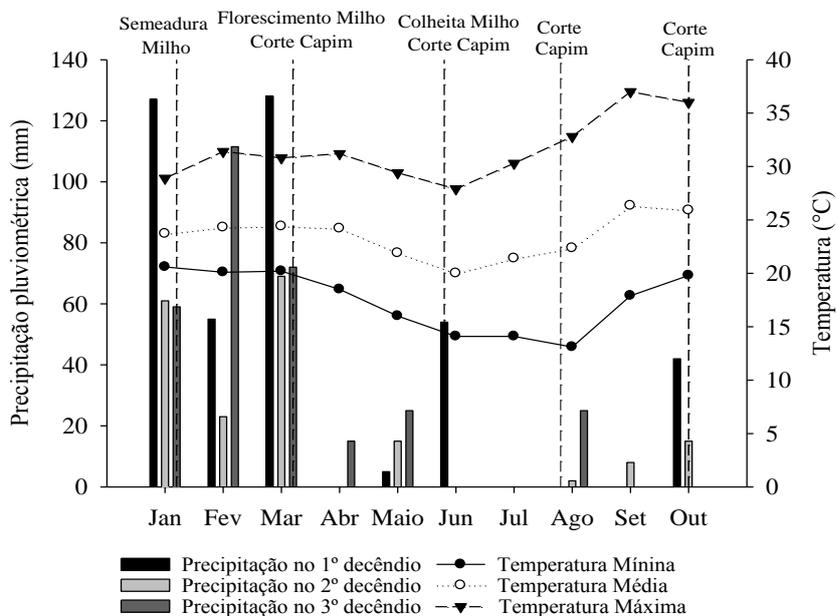


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) decendial e temperatura mensal (°C) durante a condução do experimento no município de Rio Verde-GO, 2016.

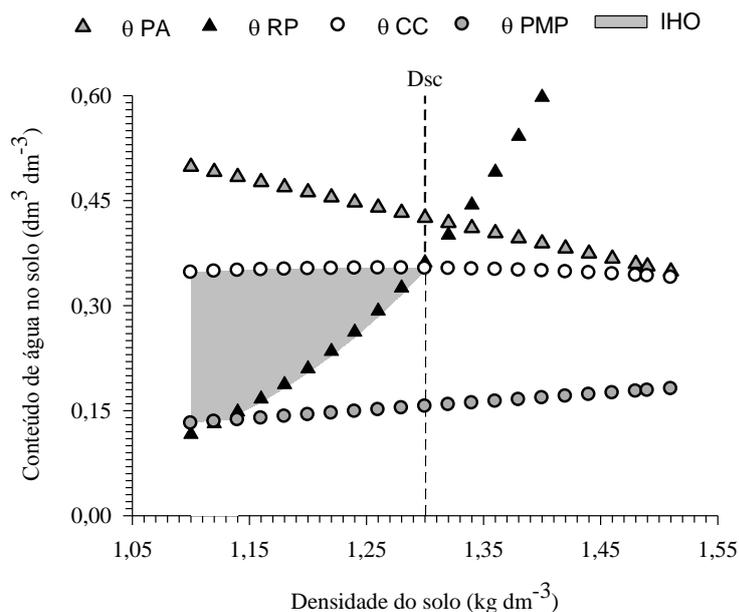


Figura 2. Variação do conteúdo de água no solo (θ) com o incremento da densidade do solo (D_s) nos limites críticos de capacidade de campo (θ_{CC} : -6 kPa), ponto de murcha permanente (θ_{PMP} : -1500 kPa), porosidade de aeração a 10% (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de 1,41 MPa (θ_{RP}) do Latossolo Vermelho Distroférico na camada de 0-20 cm, cultivado com milho safrinha solteiro e consorciado com espécies de capim-braquiária. A área preenchida representa o IHO. Dsc: densidade crítica ao desenvolvimento das plantas.

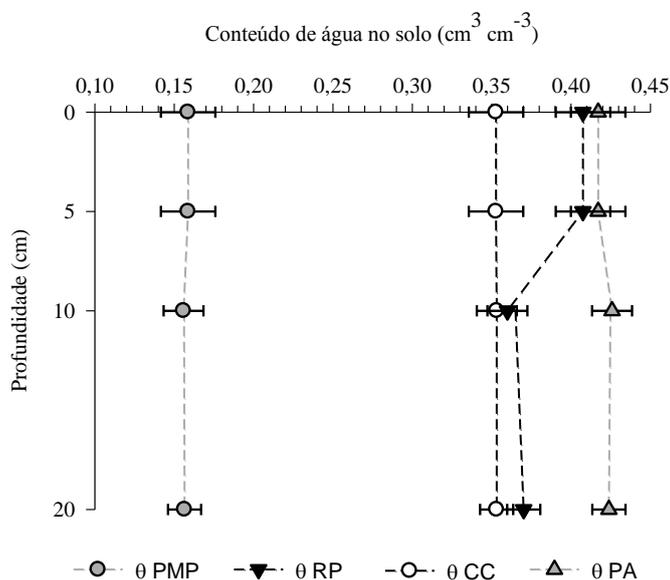


Figura 3. Variação do conteúdo de água no solo (θ) em diferentes profundidades para os limites críticos de resistência à penetração (θ_{RP}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), capacidade de campo (θ_{CC}) e porosidade de aeração (θ_{PA}) do Latossolo Vermelho Distroférico na implantação da cultura do milho safrinha. IHO nulo em todo perfil do solo.