UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ZIEGLENRISTEN KARSWEGAARD PEREIRA CALÁBRIA

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DE PLANTA EM CONSÓRCIOS DE MILHO E GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

RONDONÓPOLIS - MT
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ZIEGLENRISTEN KARSWEGAARD PEREIRA CALÁBRIA

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DE PLANTA EM CONSÓRCIOS DE MILHO E GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Guedes Filho

RONDONÓPOLIS - MT
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DE PLANTA EM CONSÓRCIOS DE MILHO E GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS"

Autor: ZIEGLENRISTEN KARSWEGAARD PEREIRA CALÁBRIA

Orientador: Prof. Dr. OSVALDO GUEDES FILHO

Comissão Examinadora:

Presidente da Banca/Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Guedes Filho
Instituição: Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Examinador Interno: Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Examinador Externo: Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena
Instituição: Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Examinador Suplente: Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Dissertação defendida e aprovada em 21/02/2017.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C141a Calábria, Zieglenristen Karswegaard Pereira.
Atributos Físicos de Solo e de Planta em Consórcios de Milho e Gramíneas Forrageiras / Zieglenristen Karswegaard Pereira Calábria. -- 2017
83 f. ; 30 cm.

Orientador: Osvaldo Guedes Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Estrutura do solo. 2. Cobertura do solo. 3. Manejo do solo. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

A minha amada esposa **Ana Paula Vieira do Nascimento Calábria**, pela paciência, cuidado, atenção e companherismo nessa fase de nossas vidas, e
Ao meu pai **Anselmo Francisco Correia Calábria** (*in memoriam*), pelo exemplo de autenticidade e de luta por seus ideais,

DEDICO.

A cada produtor, técnico, professor, pesquisador, estudante e qualquer outra pessoa que tenha nesse trabalho fonte para aumento de produtividade e conhecimentos,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos concedidas ao longo dessa minha caminhada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Osvaldo Guedes Filho, que apesar da distância, sempre esteve presente na minha formação e disponível para transmitir seus conhecimentos, pela sua orientação, amizade, confiança e exemplo de dedicação profissional.

Aos meus co-orientadores Profa. Dra. Edna Maria Bonfim-Silva e Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco, que me auxiliaram na condução deste trabalho.

Ao Grupo de Práticas e Inovação de Sistemas Puros e Integrados Agropecuários – GPISI, pela ajuda no experimento.

À Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, pela infraestrutura e suporte para o desenvolvimento de nossas atividades nos laboratórios de solos e hidráulica, e campo experimental.

À Universidade Federal do Paraná - UFPR e Universidade Estadual de Maringá - UEM, pela infraestrutura para a execução de nossas atividades nos laboratórios de física do solo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela contribuição à minha formação profissional.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro na execução desse trabalho.

Aos meus familiares, especialmente aos meus sogros Sr. Sebastião Vieira do Nascimento e Dona Conceição Vieira do Nascimento, pelo acolhimento e afetividade em todos os momentos.

Se temos de esperar,
que seja para colher a semente boa
que lançamos hoje no solo da vida.
Se for para semear,
então que seja para produzir
milhões de sorrisos,
de solidariedade e amizade.

Cora Coralina

.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 10
LISTA DE TABELAS 11
RESUMO 12
ABSTRACT 13
1 INTRODUÇÃO 14
2 REVISÃO DE LITERATURA 16
2.1 SUCESSÃO SOJA – MILHO SAFRINHA 16
2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO 18
2.3 CONSÓRCIO MILHO-GRAMÍNEA FORRAGEIRA 19
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO 21
2.4.1 Densidade e Porosidade Total 21
2.4.2 Estabilidade de Agregados 24
2.4.3 Resistência Tênsil dos Agregados e Friabilidade 25
2.4.4 Grau de Compactação do Solo 27
2.4.5 Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) 28
3 MATERIAL E MÉTODOS 30
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 30
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 32
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 32
3.4 CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS 33
3.5 RESISTÊNCIA TÊNSIL DOS AGREGADOS E FRIABILIDADE DO SOLO 33
3.6 ESTABILIDADE DE AGREGADOS 35
3.7 DENSIDADE DE PARTÍCULAS 36
3.8 DENSIDADE DO SOLO 36
3.9 GRAU DE COMPACTAÇÃO DO SOLO 37
3.10 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO 37
3.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS 40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 41
4.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DA CULTURA DO MILHO 41
4.2 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DAS GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS 43
4.3 DENSIDADE DO SOLO 45

4.4 GRAU DE COMPACTAÇÃO DO SOLO 47
4.5 ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO 48
4.6 RESISTÊNCIA TÊNSIL DOS AGREGADOS E FRIABILIDADE DO SOLO ... 51
4.7 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO (IHO) 55
5 CONCLUSÕES 65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 65
REFERÊNCIAS 66
ANEXO 78

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Dados meteorológicos em Rondonópolis-MT, durante o ano de 2014. Fonte: http://grupodepraticasemaguaesolo.blogspot. com.br/2014/dados-meteorologicos.html.....31

FIGURA 2 - Dados meteorológicos em Rondonópolis-MT, durante o ano de 2014. Fonte: http://grupodepraticasemaguaesolo.blogspot. com.br/2015/dados-meteorologicos.html.....32

FIGURA 3 - Vista aérea da área experimental – Rondonópolis/MT, Dezembro /2016.....32

FIGURA 4 - Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo (CC ou y = -0,01 MPa), ponto de murcha (PMP ou y = -1,5 MPa), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência à penetração de 3,0 MPa (RP) na camada 0-0,10 m, nos tratamentos com Humidicola, Sem consórcio, Tanzania, Mombaça, Marandu, Decumbens e Ruziziensis. A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do Solo (IHO).....57

FIGURA 5 - Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo (CC ou y = -0,01 MPa), ponto de murcha (PMP ou y = -1,5 MPa), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência à penetração de 3,0 MPa (RP) na camada 0,10-0,20 m, nos tratamentos com Humidicola, Sem consórcio, Tanzania, Mombaça, Marandu, Decumbens e Ruziziensis. A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do Solo (IHO).....60

FIGURA 6 -Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da densidade do solo, nos consórcios de milho com gramíneas forrageiras, na profundidade de 0-0,10 m.....61

FIGURA 7 - Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da densidade do solo, nos consórcios de milho com gramíneas forrageiras, na profundidade de 0,10-0,20 m.....61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características químicas e granulométricas do solo da área antes da instalação do experimento.....33

TABELA 2 - Altura de planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), diâmetro do caule da planta (DP), estande inicial (EI), estande final (EF) e índice de clorofila (IC) da cultura do milho safrinha. Rondonópolis, MT, 2015.....41

TABELA 3 - Massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), produção de grãos (PROD) e peso de mil grãos (PMG) da cultura do milho safrinha. Rondonópolis, MT, 2015.....42

TABELA 4 - Cobertura do solo, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR) das forrageiras consorciadas com o milho safrinha. Rondonópolis, MT, 2015.....44

TABELA 5 - Densidade do solo (Ds) na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....46

TABELA 6 - Grau de compactação (GC) na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....47

TABELA 7 - Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) na profundidade de 0-0,10 m, após o consórcio de milho safrinha com gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....49

TABELA 8 - Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) na profundidade 0,10-0,20 m, após o consórcio de milho safrinha com gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....50

TABELA 9 - Resistência tênsil (RT) e friabilidade (F) na profundidade 0-0,10 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....52

TABELA 10 - Resistência tênsil (RT) e friabilidade (F) na profundidade 0,10-0,20 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....53

TABELA 11 - Ajuste das curvas de retenção de água no solo e de resistência à penetração de acordo com modelos não lineares propostos pela literatura, seguido dos coeficientes de determinação (R^2), para os diferentes consórcios e profundidade de amostragem.....56

TABELA 12 - Valores médios do intervalo hídrico ótimo (IHO), em $m^3\ m^{-3}$, para os consórcios de milho com gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015.....62

RESUMO

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E DE PLANTA EM CONSÓRCIOS DE MILHO E GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

O consórcio de milho com gramínea forrageira apresenta-se como uma boa opção para a região do Cerrado, pois, a palhada acumulada tanto pelas plantas de cobertura quanto pelo milho favorece a estruturação do solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade física de um Latossolo Vermelho em cultivos consorciados de milho e gramíneas forrageiras sob plantio direto no Cerrado Mato-grossense. O experimento foi realizado em área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Rondonópolis/MT. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, consistindo de sete tratamentos: milho + *Urochloa brizantha* cv. Marandu, milho + *Urochloa ruziziensis*, milho + *Urochloa humidicola*, milho + *Urochloa decumbens*, milho + *Panicum maximum* cv. Tanzânia, milho + *Panicum maximum* cv. Mombaça e milho sem consorciação, distribuídos em três repetições, totalizando 21 parcelas. Nas gramíneas forrageiras foram avaliadas: massa seca de parte aérea e massa seca de raiz, no milho: características biométricas, estande inicial e final, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do caule, produção de grãos, massa de 1000 grãos e índice de clorofila, e porcentual de cobertura do solo. Foram determinadas as propriedades físicas: densidade do solo, grau de compactação, estabilidade de agregados, resistência tênsil, friabilidade e intervalo hídrico ótimo do solo. Todas as amostragens de solo foram efetuadas nas camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. Não houve influência dos consórcios de milho com gramíneas forrageiras nas características biométricas e na produção da cultura do milho. Entretanto, a espécie de forrageira *P. maximum* cv.Tanzânia em consórcio com milho apresentou os melhores resultados de produção de massa seca e cobertura do solo. Durante o curto período de implantação dos consórcios de milho com gramíneas forrageiras, foi observada interferência positiva dos consórcios nas propriedades físicas do solo. O consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* resultou em diminuição da densidade do solo, grau de compactação, e aumento da estabilidade de agregados e do intervalo hídrico ótimo. O consórcio de milho com gramíneas forrageiras sob plantio direto, pode ser indicada para a região do Cerrado matogrossense para cobertura do solo e melhoria dos atributos físicos do solo.

Palavras-chave: Estrutura do solo, Cobertura do solo, Manejo do solo.

ABSTRACT

PHYSICAL SOIL AND PLANT ATTRIBUTES IN CORN AND GRASS FORAGE CONSORTS

The corn and forage grasses intercropping presents to be a viable option for Cerrado region, because the resulting accumulated straw that favour the soil aggregation. The aim of this study was to evaluate the soil physical quality in an Oxisol cultivated with corn and forage grasses intercropping under no tillage in Cerrado region. The experiment carried out in area belonging to Mato Grosso Federal University (UFMT), Campus of Rondonópilis, Mato Grosso, Brazil. The experimental design was a randomized block with seven treatments: corn + *Urochloa brizantha* cv. Marandu, corn + *Urochloa ruziziensis*, corn + *Urochloa humidicola*, corn + *Urochloa decumbens*, corn + *Panicum maximum* cv. Tanzânia, corn + *Panicum maximum* cv. Mombaça and corn without intercropping, alocated in three replications, totalizing 21 plots. The evaluated characteristics in forage grasses were: aerial dry matter, root dry matter and soil covering; in the corn crop were: initial and final stand, height insertion of the first spike, stem diameter, grain production, 1000 grain weight, chlorophyll index and soil covering. The following soil physical properties were determined: bulk density, compactness degree, aggregate stability, tensile strength, friability and the least limiting water range. Soil sampling was done at 0 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m soil depth. There was no influence of forage grasses intercropping in the corn growth and production. The forage grass *P. maximum* cv. Tanzania presented better results of dry matter and soil covering. Along the short time of the evaluated intercropping systems it was observed a positive effect in soil physical properties. The corn and *U. ruziziensis* intercropping resulted in reduction of bulk density and compaction degree; and increasing of the aggregate stability and least limiting water range. The corn and forage grasses intercropping under no tillage may be indicated for Cerrado region to soil covering and improvement of soil physical properties.

Keywords: Soil strucuture; Soil covering; Soil management.

1 INTRODUÇÃO

O plantio direto é considerado um sistema conservacionista de manejo do solo. Uma das suas premissas básicas é a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, protegendo e promovendo a recuperação da capacidade produtiva de solos manejados (GARCIA et al., 2014).

No bioma Cerrado, o clima apresenta altas temperaturas no decorrer do ano e um longo período seco, o que dificulta a implantação de plantas de cobertura e, consequentemente, a manutenção da palhada na área de cultivo, sendo esses fatores um dos maiores obstáculos na sustentação do plantio direto (PACHECO et al., 2008). Logo, reforça a preocupação de produzir resíduos vegetais adequados, capazes de permanecer por um período prolongado, para composição do plantio direto nas condições tropicais (ARAÚJO et al. 2015).

A integração lavoura-pecuária tem possibilitado a introdução de gramíneas forrageiras no sistema de produção de grãos, através da consorciação do milho com alguma espécie forrageira. Esse consórcio apresenta como vantagens, além da produção de grãos do milho, quantidade e qualidade da cobertura, incremento e manutenção dos teores de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes para culturas subsequentes (CARVALHO et al., 2005). Além de outros benefícios, tais como redução da erosão do solo e melhoria nos atributos físicos dos solos (SILVA et al., 2015).

Deste modo, o consórcio de milho com gramínea forrageira apresenta-se como uma boa opção para a região do Cerrado, pois, a palhada acumulada pelas plantas de cobertura e os restos culturais de lavouras comerciais, favorece a estruturação do solo. Através dos sistemas radiculares, permitem a manutenção do solo em densidades adequadas ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas (MENDONÇA et al., 2013).

Além das modificações na densidade, os sistemas radiculares destas gramíneas podem promover alterações que favorecem a infiltração de água, redução da resistência mecânica do solo à penetração, resultando na maior exploração do perfil do solo pelas raízes (CHIODEROLI, 2010). As principais forrageiras que têm sido utilizadas na consorciação com o milho safrinha e proporcionariam melhor condicionamento físico do solo, são as do gênero *Urochloa* (KLUTHCOUSKI et al.,

2000) e *Panicum* (MENDONÇA et al., 2013). Além da grande quantidade de biomassa produzida, as espécies pertencentes a esses gêneros apresentam uma elevada relação C/N, a qual é fundamental na redução da velocidade de decomposição dos resíduos (TIMOSSI et al., 2007).

Vários estudos comprovam que o consórcio de milho safrinha com *Urochloa* spp. ou com *Panicum* spp. promovem o aumento na produção de resíduos culturais sem reduzir a produtividade do milho em plantio direto no Cerrado, favorecendo este tipo de sistema para a região (CECCON et al., 2013).

Por fim, ainda são necessários estudos que avaliem os potenciais do consórcio do milho safrinha com espécies dos gêneros *Urochloa* e *Panicum* para a produção de palhada e seus efeitos nas propriedades físicas do solo. Pois, a maioria dos estudos prioriza os seus efeitos quanto a fertilidade do solo. Nesta perspectiva, o trabalho objetiva avaliar a qualidade física de um Latossolo Vermelho em cultivos consorciados de milho e gramíneas forrageiras sob plantio direto no Cerrado Mato-grossense.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SUCESSÃO SOJA – MILHO SAFRINHA

A soja (*Glycine max* L. Merril) é uma cultura de clima tropical e seu cultivo se estende em diversos países. O Brasil se destaca na produção desta cultura, devido às condições ambientais favoráveis. Atualmente, a soja é responsável por 57% da área cultivada com grãos do país, ou seja, equivalente a 33,2 milhões de hectares e com produção de 95,6 milhões de toneladas na safra 2015/16 (CONAB, 2016).

O Estado de Mato Grosso ocupa lugar de destaque na produção nacional de grãos, resultado da adoção de novas tecnologias e na expansão de novas áreas agrícolas. Sendo o maior produtor nacional de soja, o Estado produziu 26 milhões de toneladas em 9,1 milhões de hectares, na safra 2015/16, conforme dados da Conab (2016). Em 2016, foram cultivados 3,7 milhões de hectares de milho (*Zea mays* L.) safrinha, após a colheita da soja, a qual é a principal modalidade de cultivo de milho no Estado, ou seja, 40,6% da área cultivada com soja cedendo espaço para o cultivo do milho em sua sucessão. A produção de grãos de milho safrinha, neste ano, foi de 15,7 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

Vários são os fatores que favorecem o incremento produtivo de soja e milho na região Centro-Oeste. Dentre eles pode-se citar a adaptabilidade geográfica, condições favoráveis de solo e clima, o mercado internacional, que acompanha a demanda crescente por proteína, em função do aumento da população mundial economicamente ativa e os avanços agronômicos conquistados pela pesquisa nas últimas décadas. Com a utilização de cultivares de soja cada vez mais precoces e lançamentos de híbridos de milho com alta performance e elevado potencial produtivo, produtores rurais de Mato Grosso aderiram a esse sistema de sucessão e em consequência também das poucas alternativas de cultivo para o período de outono/inverno (KAPPES, 2013).

Entretanto, a sucessão soja-milho safrinha pode se tornar um problema a longo prazo e tem induzido à insustentabilidade agronômica e econômica, por provocar degradação física, química e biológica do solo. Desta forma, afeta diretamente no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tanto no volume como na arquitetura, e seus efeitos refletem em queda de produtividade das culturas

e desequilíbrio nutricional que, consequentemente, elevam os custos de produção (DUARTE e KAPPES, 2015; FREDDI et al., 2007; SANTANA, 2012).

As consequências da degradação física do solo são visíveis na cultura da soja quanto à retenção e disponibilidade hídrica. A água é vital para a planta, com maior exigência na germinação e enchimento de grãos. O déficit hídrico durante essas fases é prejudicial ao seu desenvolvimento, sendo que na primeira fase promoverá desuniformidade na população, e na segunda ocorrerá queda prematura de folhas, flores e abortamento de vagens, diminuindo assim o rendimento de grãos (GIANLUPPI et al., 2009; RODRIGUES et al., 2001; PIRES et al., 2000).

Segundo Duarte e Kappes (2015), para o milho safrinha, dois fatores críticos são relevantes para seu estabelecimento: a uniformidade de desenvolvimento das plantas e a disponibilidade hídrica. Por ser implantado após o cultivo da soja, o trânsito de colhedoras em solo muito úmido compacta as faixas de solo, e a deficiência na regulagem do picador de palha causa distribuição desuniforme dos restos culturais, ocasionando a desuniformidade na profundidade de semeadura e interferindo na uniformidade de desenvolvimento das plantas.

A semeadura do milho safrinha ocorre no encerramento do período chuvoso, sendo o fator de risco que mais afeta o potencial produtivo da cultura, levando, em muitos casos, a perdas significativas de produtividade. Na região Centro-Oeste pode ocorrer variações do período chuvoso, podendo se antecipar ou se estender. Além disso, a região apresenta veranicos durante o desenvolvimento da lavoura (DUARTE, 2004; MAGALHÃES e DURÃES, 2010).

Segundo Trecenti (2016), em anos recentes, os produtores rurais brasileiros vêm enfrentando um novo desafio para a produção de grãos. A intensificação das intempéries climáticas, especialmente, a ocorrência de chuvas torrenciais, em curto espaço de tempo, e de veranicos prolongados, os quais têm causado sérios prejuízos à produção no Cerrado. Com isso, buscam-se técnicas conservacionistas e sistemas de cultivos sustentáveis capazes de suportar condições adversas, minimizando assim as perdas de produção.

2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO

Os solos naturais das regiões tropicais têm como característica a cobertura vegetal permanente, em maior quantidade na época das chuvas e menor quantidade na época da seca. O Sistema Plantio Direto (SPD), tem o intuito de imitar a natureza, isto é, mantê-lo sempre coberto. Possui como requisitos básicos: o não revolvimento do solo, a utilização de plantas de cobertura para protegê-lo e a rotação de culturas. Estes princípios garantem a viabilidade dos cultivos e a sustentabilidade dos ecossistemas, pois promovem maior infiltração de água, melhoram o ambiente físico do solo, com reflexos diretos na sua agregação, reduzindo assim os processos erosivos (SALTON et al., 1998; BERTOL et al., 2001).

Inicialmente, o SPD foi introduzido na região Sul do Brasil como principal alternativa para reduzir problemas relacionados à erosão, porém foram observadas inúmeras modificações benéficas no sistema, levando assim a ser difundido para outras regiões do país, inclusive no Cerrado Mato-grossense (BRAMBILLA et al., 2009).

Segundo levantamento realizado pela Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha – FEBRAPDP (2015), o Brasil utilizou 58,2 milhões de hectares para produção de grãos, sendo que 37,7 milhões de hectares, ou seja, 64,8% estavam sob SPD.

Dentre as premissas do SPD, a cobertura do solo possui extrema importância ao sistema, pois promove aumento nos valores de umidade, proporcionando a ciclagem dos nutrientes e acréscimo da microbiota no solo. Os microrganismos são responsáveis pela decomposição, acúmulo de matéria orgânica, e por transformações que envolvem nutrientes minerais no solo (SANTOS et al., 2005).

Cruz et al. (2006), observaram que após dez anos de implantação do SPD houve aumento da atividade biológica, teor de matéria orgânica do solo e permitiu que o sistema radicular das plantas atingisse maiores profundidades. Com isso, as culturas tendem a superar melhor os efeitos de estiagem, resultando em produções maiores que aquelas cultivadas no plantio convencional.

Porém, muitas são as dificuldades encontradas pelos produtores que optam pelo SPD na região do Cerrado, sendo a principal delas a produção de palha para

cobrir o solo na entressafra (LANGE et al., 2008). Segundo Stone et al. (2006), os fatores que interferem na formação e manutenção da cobertura morta no Cerrado estão relacionados ao clima predominante. As altas temperaturas, associadas à umidade adequada, promovem a decomposição acelerada dos restos culturais destinados para cobertura, tornando-as insuficiente para proteção do solo até a próxima safra.

Assim, técnicos e produtores das regiões caracterizadas com inverno seco, estão em busca de soluções para aumentar a conservação da cobertura do solo e garantir o sucesso do plantio direto nestas condições climáticas. Desta forma, surge o interesse pelo cultivo consorciado de plantas produtoras de grãos com forrageiras tropicais, as quais promovem a produção e manutenção da palha sobre o solo para que o sistema seja eficiente e vantajoso (GARCIA et al., 2014).

2.3 CONSÓRCIO MILHO-GRAMÍNEA FORRAGEIRA

A consorciação de culturas com forrageiras é considerada como uma alternativa de manejo para a formação, recuperação, reforma de pastagens, bem como para produção de forragem para confinamento (JAKELAITIS et al., 2004). Esta técnica também promove o controle de plantas daninhas e permite a produção de grãos e cobertura morta para SPD, com maior aproveitamento dos insumos (SANTOS et al., 2008).

Com o avanço do SPD e da integração lavoura-pecuária, a consorciação do milho safrinha e forrageiras surgiu como uma alternativa viável de cultivo na região Centro-Oeste. Apresenta alguns benefícios como: a otimização da área de cultivo, o aumento de produtividade das culturas e a melhoria das condições físico-hídricas do solo (SANTOS et al., 2014; CECCON et al., 2005).

A melhoria das condições físico-hídricas do solo se deve pela maior quantidade de palha e raízes introduzida pelo consórcio, favorecendo a infiltração e retenção de água, maior aproveitamento do perfil do solo e diminuição da erosão. Desta forma, esta prática interfere diretamente na estrutura do solo, alterando a porosidade total e valores de densidade do solo, assim modificando a retenção de água e a resistência mecânica do solo à penetração (CHIODEROLI et al., 2012).

De acordo com Portes et al. (2000) as gramíneas do gênero *Urochloa* são amplamente utilizadas no consorciamento com a cultura do milho safrinha, por apresentar alta relação C/N, isto é, menor taxa de decomposição, favorecendo sua permanência como cobertura do solo. Entretanto alguns trabalhos relatam situação inversa. Segundo Silva et al. (1997), Torres et al. (2005) e Torres et al. (2008), observaram que as as braquiárias apresentaram menor relação C/N e decomposição mais acelerada do que as leguminosas, em condições de solo do Cerrado. De acordo com Reis et al. (2001), os elevados valores de N acumulado pelas fitomassas das braquiárias podem ter sido influenciados pelas propriedades dessas espécies de se associarem a bactérias fixadoras de nitrogênio, com predominância da *Herbaspirillum* e da *Azospirillum*. Segundo os autores, esse processo pode contribuir com mais de 20% do nitrogênio acumulado nas fitomassas dessas espécies.

Segundo Cobucci et al. (2007), além das braquiárias também pode ser consorciado com o milho safrinha gramíneas do gênero *Panicum*. Esses autores trabalharam com a espécie *Panicum maximum* cv. Mombaça, em plantio simultâneo com o milho safrinha, e concluíram que o milho permanece com o estande adequado de plantas e sem interferência na produção de grãos, e após sua colheita, a gramínea forrageira cobre adequadamente o solo.

Entre os consórcios com milho safrinha estudados por Severino et al. (2006), a gramínea *Panicum maximum* produziu maior matéria fresca (56,3 t ha^{-1}) em relação à *Urochloa brizantha* (32,6 t ha^{-1}) e *U. decumbens* (32,6 t ha^{-1}), sendo que a espécie *U. decumbens* apresentou sensibilidade à competição interespecífica, e as espécies *U. brizantha* e *P. maximum* apresentaram-se como mais tolerantes e boas formadoras de palhada nesse sistema de produção.

Batista et al. (2011), avaliaram o consórcio de milho safrinha com diferentes forrageiras, dentre elas: *Urochloa brizantha* cv. Marandu, *U. ruziziensis*, *U. decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Tanzânia em quatro municípios do Estado de São Paulo, todas sob SPD. Eles concluíram que os consórcios não influenciaram na produtividade do milho em nenhum dos locais avaliados, portanto, não houve competição entre as plantas forrageiras e a cultura.

Porém, em trabalho desenvolvido por Pariz et al. (2009), avaliando o consórcio de milho safrinha com diferentes gramíneas e modalidades de semeadura, observaram que o *Panicum maximum* cv. Mombaça e a *U. brizantha* cv. Marandu,

consorciados, simultaneamente, à semeadura do milho, proporcionaram menor produtividade de grãos, em relação ao milho cultivado sem consórcio, sendo que o consórcio que proporcionou maior produtividade de grãos foi o milho cultivado com *P. maximum* cv Tanzânia, principalmente em semeadura simultânea.

Brambilla et al. (2009), avaliaram o comportamento da cultura de milho safrinha integrado com *Urochloa ruziziensis* no Cerrado matogrossense nas seguintes modalidades: milho com braquiária na mesma linha de semeadura no espaçamento de 0,45 m, milho solteiro no espaçamento de 0,45 m, milho no espaçamento de 0,90 m e braquiária na entrelinha e milho com espaçamento de 0,90 m com braquiária na linha e na entrelinha de semeadura. Observaram que entre as modalidades, o consórcio milho mais braquiária e na linha e entrelinha proporcionou a maior produtividade de massa de matéria seca, favorecendo a cobertura do solo e tornando-se uma alternativa para produção de palhada nessa região.

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As práticas de manejo podem alterar diretamente na estrutura do solo, influenciando a produtividade das culturas por meio das modificações dos atributos físicos do solo relacionados com o crescimento das plantas: disponibilidade de água, porosidade de aeração e na resistência do solo à penetração das raízes (TORMENA et al., 1998).

Conforme Andrade et al. (2009), a adoção do plantio direto, associada às culturas de cobertura, especialmente as gramíneas forrageiras, têm contribuído para a melhoria de diversos atributos físicos do solo. Por serem culturas com sistema radicular agressivo, as gramíneas podem minimizar os efeitos negativos da degradação do solo, pois favorecem a sua agregação, mantendo ou aumentando a qualidade física do solo.

2.4.1 Densidade e Porosidade Total

Segundo de Jong van Lier (2010), a densidade do solo (ρ, kg m^{-3}), representa a relação entre a massa de solo seco em estufa e o seu respectivo

volume total, ou seja, volume do solo incluindo os espaços ocupados pela água e pelo ar.

Dentre os indicadores da qualidade física do solo, a densidade do solo é considerada como um dos mais importantes. Pode ser amplamente utilizada para avaliar diversas características do solo (ALMEIDA, 2008; SILVEIRA et al., 2010).

Além da mineralogia, outros fatores do solo interferem nos valores de densidade de determinado solo, com destaque para a textura e o teor de matéria orgânica. Com relação à textura, há a tendência que solos mais arenosos apresentarem valores mais elevados de densidade. Quanto à matéria orgânica, esta favorece o arranjo das partículas, formando os agregados, consequentemente, elevando a porosidade e diminuindo a densidade (FERREIRA et al., 1999).

Diversos autores observaram que o sistema de manejo adotado interfere diretamente no valor de densidade do solo, influindo na qualidade física do solo e, consequetemente, no desenvolvimento da cultura (BERTOL et al., 2004; ALBUQUERQUE et al., 2001; LANZANOVA et al., 2007; TORRES et al., 2011; GUBIANI et al., 2015).

O manejo inadequado do solo pode causar sua compactação, isto é, aumento da densidade do solo, principalmente em solos da região dos Cerrados, pois as precipitações promovem a rápida decomposição do material orgânico, resultando em menor estruturação e porosidade do solo (BEUTLER et al., 2005).

Conforme Calegari et al. (2006), o plantio direto tem se tornado uma alternativa viável para a agropecuária sustentável. Entretanto, deve-se ter cuidado, pois as características deste manejo do solo, tais como: o não revolvimento do solo e o intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, favorecem o aumento da densidade do solo na camada 0,08 – 0,15 m de profundidade. (GENRO JUNIOR et al., 2004; SUZUKI et al., 2008; SECCO et al., 2009). Desta forma, a compactação do solo no plantio direto vem a ser um problema maior do que no sistema convencional de cultivo, pois haverá um impedimento mecânico para o desenvolvimento radicular (GUBIANI et al., 2015).

A porosidade total do solo, representada pelo espaço em que ocorrem os processos dinâmicos dos gases e da solução do solo, está diretamente relacionada com a qualidade física do solo. Também possui relação com a densidade do solo,

pois quanto maior o espaço ocupado pelas partículas, menor será o volume do espaço poroso (CHIEZA et al., 2013).

Conforme Klein e Libardi (2002), a presença de uma rede de poros, com ampla variação de diâmetros, é um fator determinante na fertilidade do solo e, consequentemente, na produtividade das culturas. Uma vez que interfere nas relações entre drenagem, água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura.

Dentre várias classificações do diâmetro de poros, destaca-se uma forma simplificada que separa os poros em três classes, conforme descrito por Klein e Libardi (2002): macroporos, com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa).

Assim como ocorre com a densidade do solo, a porosidade é afetada pelo sistema de manejo adotado na área, alterando a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros (MENDONÇA et al., 2013; TORMENA et al., 1998).

No plantio direto, a formação de cobertura é fundamental para a proteção, estruturação e redução da erosão do solo. A inclusão de pastagens na rotação de culturas favorece o aumento e a manutenção da porosidade do solo, através do sistema radicular agressivo destas plantas (BORTOLINI, 2005; MARCHÃO, 2007).

Chioderoli et al. (2012), avaliaram, em consórcio com o milho, três espécies de gramíneas (*Urochloa decumbens*, *U. brizantha* e *U. ruzizienses*), e três modalidades de semeadura da forrageira (na linha misturada com o adubo, na entrelinha na mesma época de semeadura do milho e na entrelinha quando as plantas de milho estavam no estádio V4). Observaram que após sequência de soja, os consórcios proporcionaram aumento na macroporosidade e porosidade total do solo. Os autores também evidenciaram a importância das forrageiras na agregação, estruturação e permeabilidade do solo, proporcionando maior absorção de água e nutrientes, visando à melhor produção das culturas.

Mendonça et al. (2013) avaliaram o consórcio de milho com quatro forrageiras (*U. brizantha*, *U. ruziziensis*, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e P*. maximum* cv. Áries) semeadas em três modalidades. Concluíram que, em regiões de

cerrados, a sucessão de culturas utilizada promoveu a melhoria da macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Chioderoli et al. (2012), avaliaram os atributos físicos do solo e produtividade de soja após consorciação de milho com três espécies de braquiárias (*Urochloa decumbens, U. brizantha e U. ruziziensis*) e três modalidades de consórcios, os resultados demonstraram que a sequência de culturas proporcionaram aumento na macroporosidade do solo nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,20-0,30 m para porosidade total do solo e que a *U. brizantha* semeada na época de adubação de cobertura do milho e a *U. decumbens* semeada na linha, promoveram maiores valores de produtividade de grãos de soja.

2.4.2 Estabilidade de Agregados

Segundo Tisdall e Oades (1982), os agregados do solo são oriundos, a partir da formação de microagregados (< 250 μm) que se constituem pela junção entre partículas primárias livres unidas por agentes ligantes, como por exemplo, matéria orgânica humificada e cátions polivalentes. A partir da união entre esses microagregados estáveis, por agentes como as hifas de fungos, raízes e exsudatos provenientes de microrganismos e/ou plantas formam-se os macroagregados.

Assim, demonstra a importância da matéria orgânica na formação e na estabilidade dos agregados do solo. Além de contribuir diretamente para agregação do solo pela ação cimentante, serve também como fonte de alimento para os microrganismos (SIX et al., 2004; RIBON et al., 2014).

A análise da estabilidade de agregados é realizada pela avaliação da distribuição de agregados por tamanho. Desta forma, os agregados podem ser determinados por meio do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IEA) (BILIBIO et al., 2010). Pois, o tamanho do agregado determina sua susceptibilidade ao movimento pela água ou vento e é importante na determinação das dimensões do espaço poroso em solos cultiváveis (FERREIRA et al., 1999).

A matéria orgânica é considerada como o principal fator por favorecer a estabilidade dos agregados próxima às condições naturais (LLANILLO et al., 2006). Conforme Callegari et al. (2006), observaram que no solo sob plantio direto houve

recuperação do carbono orgânico no solo, promovendo melhoria no estado de agregação do solo.

Em trabalho desenvolvido por Crusciol et al. (2009), foi demonstrado o efeito benéfico na estruturação do solo na camada 0,20-0,40 m, comprovado pelos resultados de estabilidade de agregados que apresentou maior proporção de agregados superiores a 2 mm nessa profundidade, após dois anos de consórcio de milho safrinha e *U. brizantha* cv. Marandu. Além disso, houve nessa camada, maior valor de porosidade de aeração (macroporosidade) e menor valor de resistência à penetração, com umidade do solo correspondente ao potencial matricial de -0,01 MPa.

Desta forma, o consórcio de milho safrinha com as gramíneas forrageiras se torna uma alternativa de destaque, pois pode promover melhorias à estrutura e agregação do solo, em razão da quantidade, qualidade e distribuição de fitomassa radicular que acrescenta ao solo, podendo também promover a descompactação do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2004; FONSECA et al., 2007; CRUSCIOL et al., 2009).

2.4.3 Resistência Tênsil dos Agregados e Friabilidade

Dexter e Watts, (2000), definem a resistênsia tênsil como sendo a força, seja pela compressão ou tração, por unidade de área requerida para que o agregado de solo se rompa. É um parâmetro significativo na determinação da energia requerida para cultivar o solo e quebrá-lo em agregados menores, e também utilizada como um fator que mede a habilidade das raízes em penetrar o solo (BLANCO-CANQUI e LAL, 2006).

Segundo Tormena et al. (2008a), a resistência tênsil é determinada por uma metodologia simples e possível para uma ampla variação de tamanhos de agregados do solo, tornando-se um indicador muito sensível da condição estrutural do solo. Por isso é considerada uma importante ferramenta para o conhecimento de resistência individual dos agregados do solo.

A frequência que ocorre o fraturamento dos agregados maiores ocorre nos locais de fraqueza resultantes de fissuras e microfissuras que formam zonas de menor resistência (DEXTER e KROESBERGEN, 1985; TORMENA et al., 2008b).

Segundo Imhoff et al., (2002) e Tormena et al. (2008a), os sistemas de manejo do solo interferem na resistência tênsil dos agregados, através de diversos fatores ligados a este atributo físico do solo, tais como: ciclos de umedecimento e secamento, conteúdo de água, dispersão e floculação das argilas, concentração e composição da solução do solo, formação e estabilidade dos agregados e teor de matéria orgânica do solo. Por isso, a resistência tênsil dos agregados tem se tornado um indicador sensível aos efeitos de sistemas de uso e manejo do solo (BLANCO-CANQUI et al., 2005).

Nessa perspectiva, solos sob plantio direto, por ocorrer baixo revolvimento e intenso tráfego de máquinas, os processos naturais ligados ao clima e às culturas serão os fatores que irão influir na estruturação do solo. Assim, as espécies selecionadas para a rotação de culturas exercerão um papel fundamental para o incremento de matéria orgânica e controle da qualidade estrutural dos solos TORMENA et al., 2008b).

Watts e Dexter (1998) definem friabilidade do solo como a tendência de uma massa de solo desfazer-se em tamanhos menores de agregados sob a aplicação de um estresse ou carga, em função dos planos de fraqueza ou zonas de falhas na estrutura do solo.

De acordo com Watts e Dexter (1998), a friabilidade do solo pode ser estimada por meio do coeficiente de variação da resistência tênsil do solo. Assim, valores elevados de friabilidade indicam que a resistência dos agregados aumenta com a redução do seu tamanho, de modo que agregados maiores poderão ser quebrados mais facilmente em menores agregados.

Neste contexto, a friabilidade é considerada importante propriedade física dos solos agrícolas, uma vez que é desejável, pois a condição de solo friável é benéfica para a germinação das sementes, o crescimento das plântulas e o estabelecimento das culturas. (BAVOSO et al., 2010).

A friabilidade do solo pode relacionar-se significativamente com outras propriedades físicas do solo, como: densidade, resistência tênsil, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (MACKS et al., 1996; ARAUJO et al., 2004).

2.4.4 Grau de Compactação do Solo

O Grau de Compactação (GC) do solo é um parâmetro utilizado para caracterizar a relação entre a compactação do solo e o crescimento das plantas (COLLARES et al., 2008). Conforme Dias Junior (1996) e Håkansson e Lipiec (2000), o grau de compactação é obtido pela divisão da densidade do solo do campo e a densidade máxima do solo resultante de um teste de compactação. Dentre os vários testes de laboratório para determinação de compactação do solo, o ensaio Proctor normal é um dos mais utilizados.

Este parâmetro não considera as influências das características dos minerais no solo e independe da granulometria e do teor de matéria orgânica do solo, facilitando a sua utilização no estudo e comparação de sistemas de uso e manejo dos solos (KLEIN, 2006).

Desta forma, a relação entre a caracterização da compactação e da resposta das culturas possui grande utilidade para identificação de mudanças nos atributos físicos, dentre eles: macroporosidade, permeabilidade ao ar e resistência à penetração do solo. Além da facilidade de medição e comparação destes fatores em diferentes tipos de solos (CARTER, 1990).

Diversos autores divergem ao citar intervalos de referência para o bom rendimento de culturas em relação ao grau de compactação. De acordo com Håkansson (1990), Suzuki et al. (2007) e Reichert et al. (2009), a faixa ótima de GC com os maiores níveis de rendimento de diversas culturas está entre 80 e 90%. Já Betioli Júnior (2012), relata que os valores se encontram entre 77 a 94%. Entretanto Klein (2006), cita que para Latossolo Vermelho a faixa ótima de GC para o desenvolvimento de plantas é entre 71,5 a 88%.

Conforme Silva et al. (2014) avaliando o grau de compactação em Latossolo bruno, observaram que o aumento do grau de compactação reduz a macroporosidade e a porosidade de aeração e aumenta a resistência do solo à penetração e a retenção de água no solo nas maiores tensões. Klein et al. (2009) utilizaram o teste Proctor para determinar o GC e afirmaram que as condições físicas do solo se tornam limitantes ao desenvolvimento total da planta quando os valores de GC estão acima de 85%.

Suzuki et al. (2007) observaram em Latossolo Vermelho, que o grau de compactação ideal para a cultura da soja foi de 86%. Enquanto Beutler et al. (2005) encontraram GC ótimo para a produtividade de soja em Latossolo Vermelho distrófico de 80 %. Quando o grau de compactação é inferior que 80%, esse pode proporcionar redução na produtividade das culturas, fato ocasionado, principalmente, pela alta densidade que, consequentemente, reduz a capacidade de retenção de água no solo (Lindstron e Voorhees, 1994).

2.4.5 Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)

O Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) é considerado um dos parâmetros físicos do solo para indicar condições adequadas ao estabelecimento das culturas (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998; CAVALIERI et al., 2004; BLAINSKI et al., 2009).

O IHO representa o espaço entre os limites superior e inferior do conteúdo de água no solo, no qual são mínimas as limitações para o desenvolvimento radicular (Silva et al., 1994; Beutler et al., 2004; Leão et al., 2004; Klein & Camara, 2007). O limite superior é definido pela capacidade de campo (CC) ou pela porosidade de aeração, enquanto o limite inferior, pelo ponto de murcha permanente (PMP) ou pela umidade em que a resistência do solo à penetração (RP) atinge valores críticos ao desenvolvimento das raízes (Silva et al., 1994; Tormena et al., 1998b).

Trabalhos têm sido publicados adotando valores de 2,0 a 3,5 MPa para RP, de 10 % para PA, de 0,01 MPa para o conteúdo de água referente à CC e de 1,5 MPa para o conteúdo de água referente ao PMP (MIOLA et al., 2015).

Em relação à densidade do solo (Ds), quando ocorre o seu o aumento, geralmente, haverá a diminuição do valor do IHO, podendo atingir valor igual a zero, quando os limites superiores e inferiores são numericamente iguais. Dessa maneira, a Ds é denominada como densidade crítica do solo (Dsc) ao desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 1994; IMHOFF et al., 2001).

Segundo Milan et al. (2014), a vantagem da utilização do IHO para avaliar a qualidade física do solo, se dá pela união, numa única representação, de características físicas diretamente relacionadas ao crescimento das plantas.

Conforme Moreira et al. (2014), em áreas agrícolas, o manejo do solo pode modificar sua estrutura, principalmente em razão da compactação, podendo deixar a densidade do solo fora dos limites ideais. Sendo assim, a influência dos sistemas de uso e manejo nas propriedades físicas do solo afeta nos resultados do IHO, demonstrando a redução ou o acréscimo deste espaço disponível para o desenvolvimento das culturas (GUIMARÃES et al., 2013).

Calonego et al., (2011) avaliaram o intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e *Urochloa brizantha* cv. Marandu e relataram que o consórcio por dois anos consecutivos melhora as condições físicas e estruturais do solo na camada de 0,20-0,40 m, em relação ao milho solteiro, com redução da resistência mecânica à penetração e aumento da densidade crítica do solo no conceito de intervalo hídrico ótimo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em área do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), *Campus* Rondonópolis, a uma altitude média de 227 m e as coordenadas 16°28’ S e 54°38’ O. A precipitação média anual da região é de 1800 mm e segundo a classificação climática de Köppen o clima local é tipo Aw. Os dados climátológicos foram registrados pela estação metereológica durante o período do experimento (Figura 1 e 2), situada no *Campus* da Instituição, próximo da área do experimento (Figura 3). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico de acordo com Embrapa (2013).

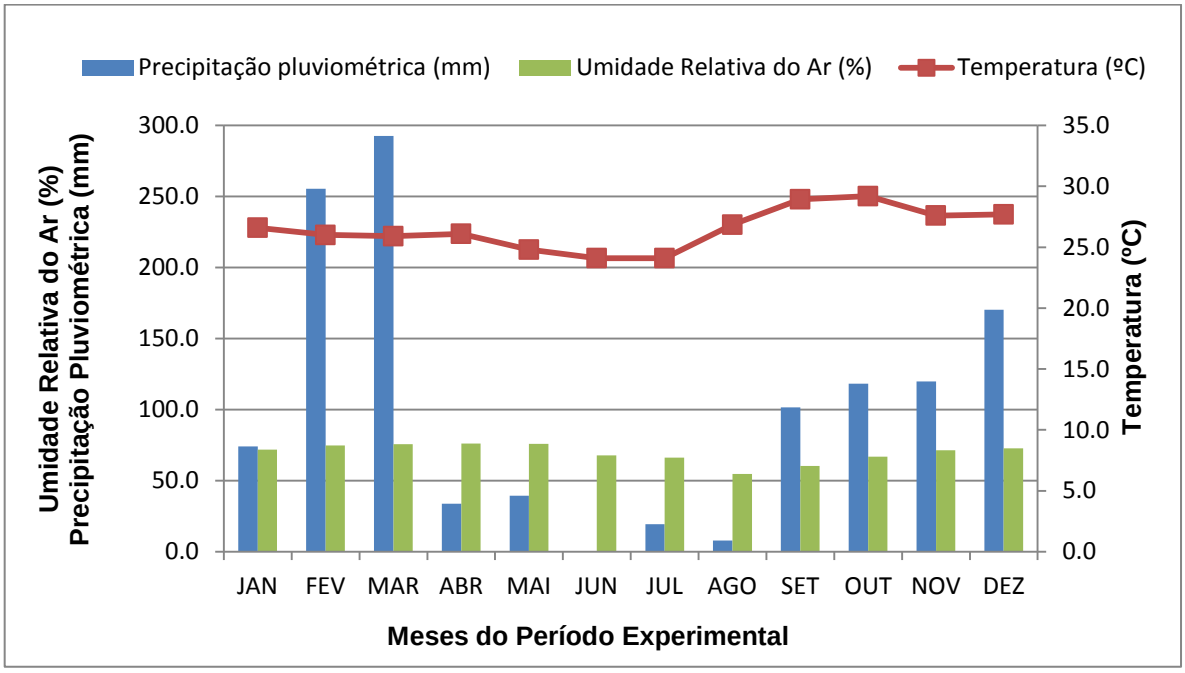

Figura 1. Dados meteorológicos em Rondonópolis-MT, durante o ano de 2014. Fonte: http://grupodepraticasemaguaesolo.blogspot. com.br/2015/dados-meteorologicos.html

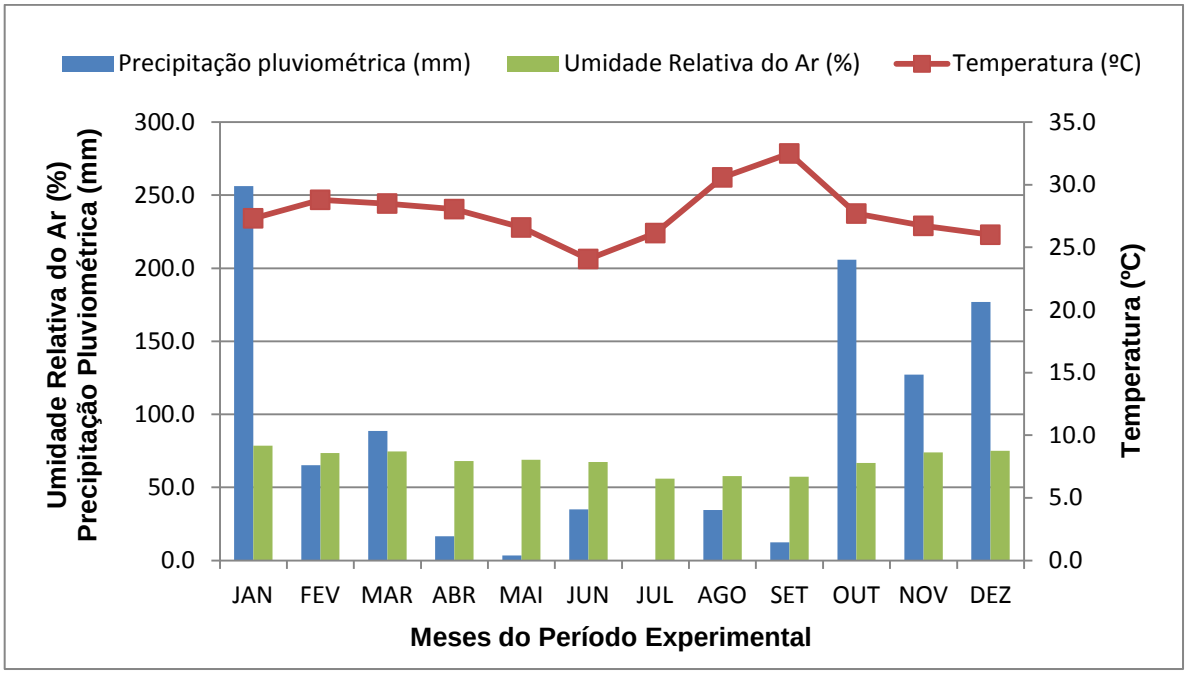

Figura 2. Dados meteorológicos em Rondonópolis-MT, durante o ano de 2015. Fonte: http://grupodepraticasemaguaesolo.blogspot. com.br/2016/dados-meteorologicos.html

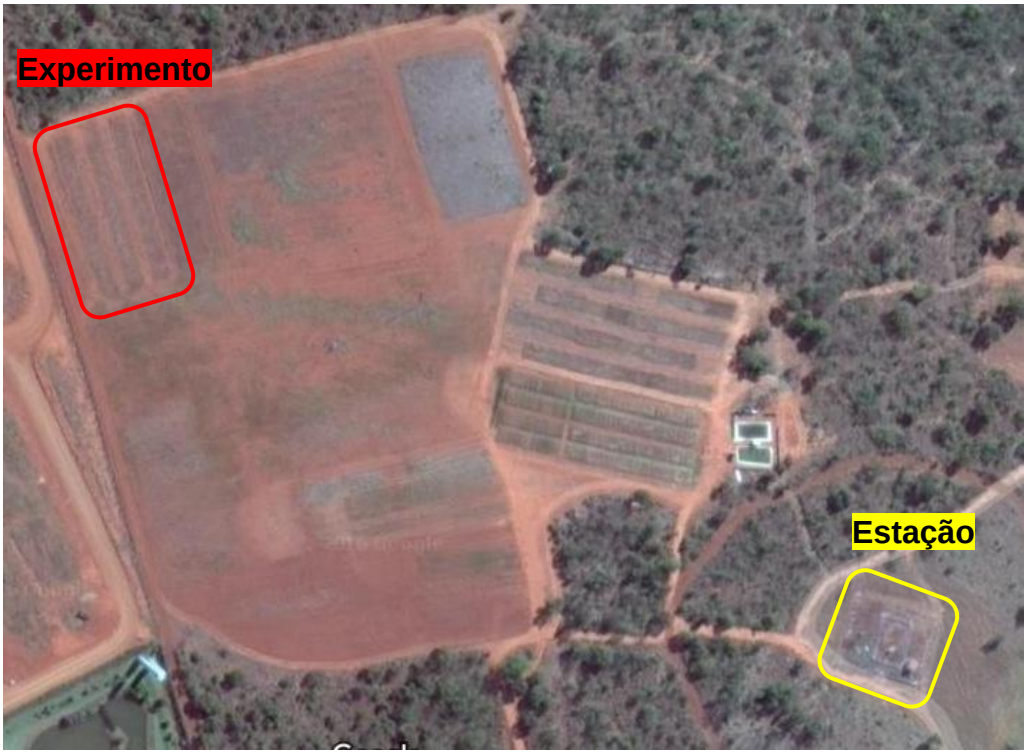

Figura 3. Vista aérea da área experimental – Rondonópolis/MT, Dezembro/2016.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

As atividades para instalação do experimento foram iniciadas em agosto de 2014 com a coleta de amostras deformadas da camada de 0-0,20 m para caracterização química e granulométrica do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo da área antes da instalação do experimento

pH	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	T	V	MO	Areia	Silte	Argila
($CaCl_2$)	(mg dm^{-3})		($cmol_c$ dm^{-3})			(%)		(g kg^{-1})	(mg dm^{-3})		
4,2	0,8	42	0,3	0,1	6,7	7,2	7,0	20,8	400	100	500

P = fósforo disponível; K, Ca e Mg trocáveis; H+Al = acidez potencial; T = capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V = saturação por bases; e MO = matéria orgânica. Método de extração de P: Mehlich 1.

Através da análise química foi calculada a quantidade de calcário a ser aplicado na área pelo método da saturação por bases (Boletim 100). A calagem foi parcelada em duas doses de calcário CALPAR com PRNT de 86%, sendo incorporado com grade-aradora. As recomendações de adubação, tanto da soja safra quanto do milho safrinha, foram feitas de acordo com o Boletim 100 (Raij et al., 1997).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, consistindo de sete tratamentos: milho + *Urochloa brizantha* cv. Marandu, milho + *Urochloa ruziziensis,* milho + *Urochloa humidicola,* milho + *Urochloa decumbens,* milho + *Panicum maximum* cv. *Tanzânia,* milho + *Panicum maximum* cv. Mombaça e milho sem consorciação, distribuídos em três repetições, totalizando 21 parcelas experimentais.

O primeiro cultivo realizado na área foi da cultura da soja, sendo semeada na no dia 05 de novembro de 2014. A semeadura do milho safrinha ocorreu na segunda quinzena de fevereiro de 2015, logo após a colheita da soja. As gramíneas forrageiras foram semeadas, aproximadamente, sete dias após a emergência do milho a lanço.

3.4 CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS

As avaliações de campo e amostragens de plantas foram realizadas de acordo com as sucessões de culturas, englobando milho, soja e as gramíneas forrageiras.

Para a cultura do milho foram determinadas as seguintes características: estande inicial e final, altura da planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do caule, produção de grãos, massa de 1000 grãos, de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009), produção da massa seca da palhada e massa seca de raiz. Já para as gramíneas forrageiras foi avaliada a produção de massa seca da parte aérea e das raízes.

Para determinação da massa seca das culturas anuais foram coletadas todas as plantas de três linhas de 2 m de comprimento por parcela. Para avaliação da produção de massa seca das gramíneas forrageiras foi realizado o corte a 5 cm da superfície do solo para coleta de folhas e colmos, com o auxílio de quadro de madeira com dimensões 0,5 x 0,5 m (0,25 m^2) que foi lançado aleatoriamente em três repetições na parcela experimental para coleta do material vegetal. Foi determinado o porcentual de cobertura do solo pelo método de inspeção visual no campo (line-transectmethod), descrito e comparado por Laflen et al. (1981). Ambas as avaliações de massa seca das gramíneas forrageiras e porcentaual de cobertura do solo, foram realiazadas após a dessecação da área Adicionalmente, para milho foi determinado o índice de clorofila por meio da leitura com o clorofilômetro.

3.5 RESISTÊNCIA TÊNSIL DOS AGREGADOS E FRIABILIDADE DO SOLO

Para determinação da resistência tênsil dos agregados foram coletadas amostras de solo indeformadas em cada profundidade (0-0,10 e 0,10-0,20 m), logo após a dessecação das gramíneas forrageiras em setembro de 2015. As amostras de solo foram destorroadas manualmente e os agregados utilizados foram obtidos através do peneiramento, utilizando aqueles que ficaram retidos entre as peneiras de malha de 9,5 e 4 mm, conforme metodologia adaptada de Imhoff et al. (2002).

Os agregados foram secos em estufa a 40ºC por 24 h para homogeneização da umidade. Para medição da resistência tênsil dos agregados foi utilizado um

atuador eletrônico linear com uma célula de carga de 100 kgf. Foram separados dez agregados de cada amostra e colocados na plataforma inferior. A haste desce em direção ao agregado com velocidade constante de 0,03 mm s^{-1} até a ruptura do mesmo. As forças necessárias para fraturar cada agregado foram registradas pelo equipamento, estes valores foram utilizados para o cálculo de RT, conforme Dexter e Kroesbergen (1985):

$$\mathrm{RT} = 0{,}576 \text{ x } \left(\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{D}^2}\right) \quad (1)$$

sendo que 0,576 é o coeficiente de proporcionalidade; P é a força aplicada (N); e D é o diâmetro efetivo (mm).

O diâmetro efetivo (D) foi calculado de acordo com Watts e Dexter (1998):

$$\mathrm{D} = \mathrm{Dm} \text{ x } \left(\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{M_o}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

onde Dm é o diâmetro médio do agregado (mm), igual à média dos tamanhos das peneiras utilizadas para obter os agregados; M é a massa do agregado individual (g); M_o é a média dos agregados na população (g).

A friabilidade do solo foi estimada pelo método do coeficiente de variação de acordo com Watts e Dexter (1998):

$$\mathrm{F} = \frac{\sigma \mathrm{Y}}{\mathrm{Y}} \pm \frac{\sigma \mathrm{Y}}{\mathrm{Y}\sqrt{2\mathrm{n}}} \quad (3)$$

em que F é a friabilidade do solo; σY é o desvio-padrão dos valores medidos de RT; Y é a média dos valores de RT; e n é o número de repetiçoes. O segundo termo da equação se refere ao erro-padrã do coeficiente de variação.

As classes de friabilidade utilizadas foram adotadas conforme proposto em Imhoff et al. (2002): não-friável (F<0,10), ligeiramente friável (F= 0,10 a 0,20), friável (F=0,20 a 0,50), muito friável (F=0,50 a 0,80) e mecanicamente instável (F> 0,80).

3.6 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

Para determinação da estabilidade de agregados foram coletadas amostras de solo indeformadas em cada profundidade (0-0,10 e 0,10-0,20 m), logo após a dessecação das gramíneas forrageiras em setembro de 2015. As amostras de solo foram destorroadas manualmente e os agregados utilizados foram obtidos através do peneiramento, utilizando aqueles que ficaram retidos entre as peneiras de malha de 4,75 e 2 mm.

A distribuição de classes de agregados foi realizada pelo tamisamento via úmida de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997). O conjunto de peneiras é constituído pelos seguintes diâmetros: 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm. O tamisador foi acionado por 15 minutos a 30 rotações por minuto (rpm) em movimento vertical. Após esse período o solo retido em cada peneira foi transferido para frasco e então colocado em estufa para secagem a 105º C por 24 h para obtenção do peso seco. Como medida da estabilidade de agregados foram obtidos o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) de acordo com o proposto por Castro Filho et al. (2002):

$$\mathrm{DMP} = \sum(\mathrm{xi}\ .\ \mathrm{yi}) \tag{4}$$

$$\mathrm{DMG} = \exp\left\{\frac{\sum \mathrm{wi}\ln \mathrm{xi}}{\sum \mathrm{wi}}\right\} \tag{5}$$

$$\mathrm{IEA}(\%) = \frac{\text{Peso agregados secos}-\text{w25}-\text{areia}}{\text{Peso agregados secos}-\text{areia}} \tag{6}$$

em que xi é o tamanho médio das classes de agregados (mm); yi é a proporção de cada uma das classes de tamanhos de agregados (g) em relação a amostra total; wi é o peso dos agregados de cada classe (g); w25 é o peso dos agregados da classe menor que 0,25 mm.

Para obtenção do valor da areia, utilizado no cálculo do IEA, as frações granulométricas argila, silte e areia foram determinadas pelo método do densímetro, segundo metodologia descrita em Grossman e Reinsch (2002).

3.7 DENSIDADE DE PARTÍCULAS

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, descrito pela Embrapa (1997). Foi realizada a coleta das amostras deformadas nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, nas parcelas do experimento. As amostras foram maceradas e colocadas em estufa a 105°C por 24 horas. Após a secagem, cada amostra foi pesada em 20 g e transferida para o balão volumétrico aferido de 50 ml. Com o auxílio da bureta aferida de 50 ml foi adicionado álcool etílico (92°GL) até a metade do balão com solo, seguido de agitação manual até eliminação do ar existente entre as partículas do solo, completando, posteriormente, o volume do balão até o traço de aferição, tomando a leitura do volume de álcool gasto na bureta.

Através do cálculo abaixo é possível determinar a densidade de partícula:

$$\mathrm{Dp} = \frac{\mathrm{a}}{(50-\mathrm{b})} \qquad (7)$$

em que Dp = densidade de partículas do solo (g cm^{-3}); a = peso da amostra seca a 105º C (g); b = volume de álcool etílico gasto (ml).

3.8 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico descrita por Grossman e Reinsch (2002). As amostras foram coletadas, após a dessecação das gramíneas forrageiras, nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade em anéis cilíndricos metálicos, com o auxílio do amostrador para amostras indeformadas. Após a coleta, as amostras foram colocadas em estufa a 105º C por 24 h. A altura e o diâmetro dos anéis foram previamente medidos, utilizando um paquímetro digital, para obtenção de seus respectivos volumes. Após a secagem, foi realizada a pesagem e o seguinte cálculo:

$$\mathrm{Ds} = \frac{\mathrm{MS}}{\mathrm{VT}} \qquad (8)$$

em que Ds é a densidade do solo em Mg m^{-3}, MS é a massa de solo seco em Mg e VT é o volume total do anel volumétrico em m^3.

3.9 GRAU DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

A determinação do grau de compactação foi realizada pelo ensaio de Proctor Normal segundo ABNT (1986). Foi realizada coleta deformada de solo, na profundidade de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, em cada parcela. O solo foi levado para estufa a 105ºC por 24 h. Em seguida, foi determinado o volume de água no solo para obter as umidades estimadas, sendo elas: 17%, 20%, 23%, 26% e 29%, e gerar a curva de compactação. O ensaio de Proctor Normal é composto por um cilindro metálico de volume igual a 1.000 cm^3. Após a amostra de solo ter sido umidecida e homogeneizada na umidade estimada, foi inserida no cilindro em 3 camadas, a sobreposição de cada camada foi intercalada por 26 golpes de 2,5 kg, caindo de uma altura de 30,5 cm. Logo após a compactação, o solo foi pesado e levado novamente para estufa a 105ºC por 24 h e pesado para obter a massa de solo seco.

As curvas de compactação foram determinadas para cada tratamento, com o intuito de identificar a densidade máxima do solo. Foram obtidas por meio de regressão, ajustada aos valores das umidades dispostos no eixo x e aos valores da densidade do solo plotados no eixo y.

O grau de compactação por sua vez foi obtido pela Eq. 9 abaixo:

$$\mathrm{GC} = \left(\frac{Ds}{Ds_{máx}}\right) x\ 100 \qquad (9)$$

em que GC é o grau de compactação em %, Ds é a densidade do solo e $Ds_{máx}$ é a densidade do solo no ponto máximo da curva ajustada.

3.10 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO

A determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) foi de acordo com a metodologia descrita em Silva et al. (1994). As amostras de solo indeformadas foram coletadas em cada profundidade, 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, após a colheita do milho.

As amostras foram divididas em 8 grupos, os quais correspondem aos potenciais mátricos. As amostras foram lentamente saturadas por 24 h e submetidas aos seguintes potenciais: -0,002; -0,006; e -0,01 MPa em mesa de tensão; -0,033; -0,07; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa em placas porosas (DANE; HOPMANS, 2002). Após atingir o equilíbrio, as amostras foram pesadas para determinação da umidade em cada potencial mátrico e imediatamente utilizadas para determinação da resistência à penetração em penetrômetro eletrônico de bancada. Foi feita a determinação de resistência à penetração por amostra na profundidade de 0,5 até 4,5 cm, ou seja, do topo para o final da amostra. As amostras foram secadas em estufa a 105ºC durante 24 h para determinação da densidade do solo e umidade gravimétrica (GROSSMAN; REINSCH, 2002). Para determinar o IHO foi necessário o conhecimento das curvas de retenção de água e de resistência do solo.

A curva de retenção de água foi determinada pela relação entre umidade volumétrica (θ) e potencial mátrico (ψ) de acordo com Ross et al. (1991) e ajustado por Leão et al. (2005), usando a Eq (11):

$$\Theta = \exp\,(a + bDs)\psi^{c} \qquad (11)$$

onde Θ é o conteúdo de água no solo ($m^3\ m^{-3}$); Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3}); ψ é o potencial de água no solo (MPa); e a, b, e c são parâmetros de ajuste do modelo. A curva de resistência a penetração foi obtida pela umidade volumétrica e densidade do solo usando o modelo proposto por Busscher (1990) pela Eq (12):

$$RP = d\Theta^{e} Ds^{f} \qquad (12)$$

onde RP é a resistência a penetração (MPa) e d, e, f são parâmetros do modelo ajustado.

Para determinação do IHO foi necessário calcular os limites superior e inferior de disponibilidade de água no solo. Os limites superiores são o conteúdo de água em –0,01 MPa (capacidade de campo) e o correspondente a uma porosidade de aeração 10% (GRABLE; SIEMER, 1968), enquanto os limites inferiores são o conteúdo de água em -1,5 MPa (ponto de murcha) e o equivalente a uma resistência a penetração de 2 MPa (TAYLOR et al., 1966). Os valores de conteúdo de água na

capacidade de campo (θ_{CC}), porosidade de aeração (θ_{PA}), ponto de murcha (θ_{PM}) e resistência a penetração (θ_{RP}) foram determinados para cada amostra.

Os conteúdos de água na capacidade de campo e ponto de murcha foram calculados utilizando o modelo de curva de retenção de água da Eq. (11) através das Eq. (13) e (14):

$$\theta_{CC} = \exp(a + bDs)0{,}01^{c} \quad (13)$$

$$\theta_{PM} = \exp(a + bDs)1{,}5^{c} \quad (14)$$

O conteúdo de água no qual a resistência a penetração alcança o valor crítico de 2 MPa foi calculado utilizando o modelo de curva de resistência da Eq. (12) através da Eq. (15):

$$\theta_{RP} = \left(\frac{RP}{dDsf}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

O conteúdo de água no qual a porosidade de aeração igual a 10% foi calculado com a Eq. (16):

$$\theta_{PA} = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) - 0{,}1 \quad (16)$$

onde Dp é a densidade de partículas.

Para cada valor de densidade do solo, o IHO foi delimitado pela diferença entre os limites superior e inferior. O limite superior é o menor valor entre o conteúdo de água na capacidade de campo e porosidade de aeração, e o limite inferior é o maior valor entre o conteúdo de água no ponto de murcha e resistência à penetração. O IHO foi calculado utilizando um algoritmo no ambiente estatístico SAS, desenvolvido por Leão et al. (2005).

3.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise de variância foi usada para avaliar os efeitos dos tratamentos nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, bem como sobre as características produtivas e estruturais das plantas. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ou Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DA CULTURA DO MILHO

As características estruturais da cultura do milho não foram significativamente afetadas pelas espécies utilizadas em consórcio (Tabela 2). A altura da planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro da planta, estande inicial e final, e o índice de clorofila tiveram valores médios similares entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram observados por outros autores (SEIDEL et al., 2014; PORTES et al., 2000; PANTANO, 2003; SILVA et al., 2004; FREITAS et al., 2005).

Tabela 2. Altura de planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), diâmetro do caule da planta (DP), estande inicial (EI), estande final (EF) e índice de clorofila (IC) da cultura do milho safrinha. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	AP	AIE	DP	EI	EF	IC
	m	m	cm	Número de plantas		%
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	2,03^{ns}	1,10^{ns}	1,87^{ns}	32,33^{ns}	11,78^{ns}	45,04^{ns}
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	1,90	1,05	1,70	33,44	13,44	45,27
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	1,96	1,06	1,75	35,11	13,22	44,91
Milho + *U. ruziziensis*	1,94	1,07	1,72	33,11	13,22	46,38
Milho + *U. decumbens*	1,95	1,08	1,71	33,11	12,67	46,63
Milho + *U. humidicola*	2,07	1,15	1,82	34,33	11,44	45,75
Milho sem consórcio	2,04	1,07	1,76	33,22	12,67	49,78

^{ns} não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Tukey.

A altura de inserção de espiga do milho não apresentou diferença significativa para os consórcios, variando entre 1,05 a 1,15 m, sendo superiores as médias encontradas por Silva (2007), variando de 0,85 a 1,03 m. Conforme Silva (2007), esses valores favorecem a colheita mecanizada, pois a regulagem mais alta da plataforma diminui os riscos de embuchamento, principalmente em plantios consorciados, em que a braquiária muitas vezes apresenta agressividade no crescimento.

O diâmetro do caule da planta variou de 1,70 a 1,87 cm, não sendo influenciado pelos tratamentos. Segundo Brambilla et al. (2009), avaliando o consórcio milho e *Urochloa ruziziensis* em diferentes modalidades de semeadura e espaçamento, observaram variação do diâmetro de caule entre 1,37 a 1,49 cm e relatou que o caule do milho é uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis. Com isso, quanto maior for seu diâmetro, maior será a capacidade de armazenamento de fotoassimilados, contribuindo para a formação de grãos.

As características produtivas da cultura do milho também não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3), conforme pode ser observado pela análise dos valores médios de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), produção de grãos (PROD) e peso de mil grãos (PMG).

Tabela 3. Massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), produção de grãos (PROD) e peso de mil grãos (PMG) da cultura do milho safrinha. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	MSPA	MSR	PROD	PMG
		Mg ha^{-1}		g
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	8,72 ^{ns}	4,24 ^{ns}	4,54 ^{ns}	222,45 ^{ns}
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	10,32	4,03	3,67	225,35
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	10,14	5,00	5,18	221,73
Milho + *U. ruziziensis*	10,95	2,84	5,54	233,15
Milho + *U. decumbens*	8,46	3,90	4,04	227,47
Milho + *U. humidicola*	10,94	6,68	5,69	239,82
Milho sem consórcio	12,19	6,29	3,24	229,52

^{ns} não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Tukey.

Os resultados de produção de grãos foram semelhantes aos de Kluthcouski et al. (2000), Crusciol et al. (2007) e Alvarenga et al. (2006), que também observaram ausência de redução significativa da produção de grãos do milho solteiro em relação ao cultivo consorciado. Tal resultado provavelmente se deve à baixa competição entre as espécies de plantas por fatores de produção (disponibilidade de água, luz e nutrientes). Caso houvesse competição entre as gramíneas forrageiras e o milho incidiria modificações nas características

biométricas das plantas de milho (ARGENTA et al., 2000), afetaria na interceptação da radiação, na acumulação de fotoassimilados e, consequentemente, na produção de grãos (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Os resultados obtidos não apresentaram semelhança com os observados por Borghi et al. (2006), os quais demonstraram acréscimo de produção de grãos no cultivo consorciado com *U. brizantha* em relação a milho solteiro. Entretanto, Borghi e Crusciol (2004) trabalhando com modalidades de consórcio de *U. brizantha* com a cultura do milho (milho solteiro; milho com braquiária na linha de semeadura; milho com braquiária na entrelinha; e milho com braquiária simultaneamente na linha e na entrelinha) não constataram influência dos tratamentos sobre a produção de grãos.

Segundo Portes et al. (2000), as produtividades das culturas consorciadas com gramíneas forrageiras normalmente variam de espécie para espécie. Sendo que culturas de maior porte, como milho, milheto e sorgo são menos prejudicadas, provavelmente por não sofrerem pelo efeito do sombreamento promovido pelas forrageiras. Assim, Mariani et al. (2012), indicaram a viabilidade do consórcio entre milho com as gramíneas forrageiras perenes, pois, assim como o presente trabalho, não houve efeito negativo do consorciamento sobre o desenvolvimento e produtividade da cultura do milho.

4.2 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DAS GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS

A cobertura do solo proporcionada pelos tratamentos milho + *P. maximum* cv. Tanzânia e milho + *U. brizantha* cv. Marandu foram significamente maiores que o milho sem consórcio, propiciaram uma cobertura do solo de 86,67%, porém não se diferiram dos demais consórcios (Tabela 4). Com relação à produção de massa seca da parte aérea (MSPA), as espécies: *P. maximum* cv.Tanzânia, *U. brizantha* cv. Marandu, *U. ruziziensis, U. decumbens*, tiveram valores médios significativamente maiores que *U. humidicola*, e o tratamento sem consórcio. Possivelmente se deve ao fato das sementes de *U. humidicola* terem apresentado problemas de germinação e, consequentemente, de instalação da forrageira. Para a característica massa seca de raízes (MSR), a forrageira *P. maximum* cv. Tanzânia apresentou valor médio significativo igual à *P. maximum* cv. Mombaça, mas significativamente maior que os

demais tratamentos. Analisando globalmente as três variáveis: cobertura do solo, MSPA e MSR, a espécie de forrageira *P. maximum* cv. Tanzânia foi a que apresentou os melhores resultados quando comparado as demais espécies, tornando-se como uma opção para produção de biomassa em consórcio com milho safrinha.

Tabela 4. Cobertura do solo, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR) das forrageiras consorciadas com o milho safrinha. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	Cobertura do solo	MSPA	MSR
	%	Mg ha^{-1}	
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	86,67a	1,66a	1,95a
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	86,67a	1,65a	1,07b
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	85,57ab	1,91a	1,27ab
Milho + *U. ruziziensis*	83,33ab	1,35a	0,53bc
Milho + *U. decumbens*	82,23ab	1,24a	0,63bc
Milho + *U. humidicola*	77,77ab	0,40b	0,043c
Milho sem consórcio	70,03b	-	-

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Tukey.

Resultados semelhantes foram obtidos por Jakelaitis et al. (2004), que observaram viabilidade agronômica tanto na produção do milho quanto no estabelecimento da *U. decumbens* consorciados, favorecendo na formação de pastagem e aumento na produção de palhada para cobertura morta do solo, após a colheita mecânica do milho.

Stone et al. (2006), avaliaram a produção de massa seca de diversas coberturas do solo. Assim, obtiveram 11,8; 3,7; 5,2; 5,8; 7,3; 6,0 e 3,2 t ha^{-1}, para *U. brizantha* cv. Marandu, milho consorciado com *U. brizantha* cv. Marandu, guandu, milheto, *P. maximum* cv. Mombaça, sorgo e estilosante, respectivamente, após a dessecação para o plantio de feijão irrigado. Eles observaram que o baixo valor de massa seca da braquiária consorciada com milho possivelmente ocorreu devido à competição entre as culturas do milho e da braquiária, em que esta última só teve maior desenvolvimento após a colheita do milho.

No presente trabalho não ocorreu competição entre as espécies consorciadas, entretanto, segundo Portes et al. (2000) e Jakelaitis et al. (2006), observaram que as gramíneas forrageiras consorciadas com milho apresentaram competição intraespecífica, isto é, ocorre o sombreamento causado pelo milho, interceptando a maior parte da radiação incidente, promovendo menor crescimento da forrageira, pela baixa disponibilidade de luz.

Assim, como Andrade et al. (2009) e Stone et al. (2006), foi observado que que a braquiária exige um tempo após a colheita do milho para a maior produção de biomassa.

Todos os consórcios apresentaram taxa de cobertura acima de 70% e não se diferiram estatististamente, exceto para o milho não consorciado. Resultados semelhantes foram obtidos por Ceccon et al. (2013), em que as gramíneas forrageiras (*U. brizantha* cv. Marandu e *P. maximum* cv.Tanzânia) consorciadas com o milho proporcionaram cobertura do solo e produção de biomassa superiores quando comparado com o milho solteiro. Corroborando com os resultados de Mariani et al. (2012), que avaliaram o acúmulo de massa seca promovida pelo consórcio de milho com diferentes forrageiras dos gêneros *Urochloa* e *Panicum*. Os consórcios com *P. maximum* cv. Mombaça, *P. maximum* cv Tanzania e *U. brizantha* cv. Marandu proporcionaram os maiores valores de massa seca.

4.3 DENSIDADE DO SOLO

Os valores médios de densidade do solo na camada 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, determinados para cada um dos tratamentos estão na Tabela 6. O tratamento que apresentou a maior densidade de solo na camada 0-0,10 m foi o milho sem consórcio, entretanto não se diferiu com os tratamentos milho + *P. maximum* cv.Tanzânia, milho + *U. brizantha* cv. Marandu, milho + *P. maximum* cv. Mombaça e milho + *U. humidicola.* Os tratamentos que possuem o consórcio milho + *U. ruziziensis* e milho + *U. decumbens* apresentaram os menores valores de densidade do solo diferindo significamente dos demais tratamentos na camada 0-0,10 m.

Não houve diferença significativa para os valores de densidade do solo na camada 0,10-0,20 m entre os tratamentos.

Tabela 5. Densidade do solo (Ds) na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	Ds (Mg m^{-3})	
	0-0,10 m	0,10-0,20 m
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	1,21ab	1,18[ns]
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	1,24ab	1,18
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	1,24ab	1,21
Milho + *U. ruziziensis*	1,19b	1,15
Milho + *U. decumbens*	1,20b	1,19
Milho + *U. humidicola*	1,23ab	1,18
Milho sem consórcio	1,26a	1,18
C.V. (%)	7,06	8,54

[ns] não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan.

Estes resultados diferem aos de Mendonça et al. (2013), em que avaliando alterações em algumas propriedades físicas do solo, após o consórcio de milho com quatro forrageiras (*U. brizantha*, *U. ruziziensis*, *P. maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Áries) semeadas em três modalidades (na linha de semeadura do milho misturada ao adubo, a lanço simultânea à semeadura do milho e a lanço no estádio V4 do milho). Eles observaram que não houve diferença significativa nos valores médios de densidade do solo entre os consórcios, modalidades de semeadura e nem nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Chioderoli et al. (2012), observaram redução de densidade do solo na camada 0-0,10 m após o consórcio de milho + *U. brizantha* e os demais consórcios (milho + *U. ruziziensis* e milho + *U. decumbens*) não apresentaram redução. No entanto, nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m não houve diferença significativa para os tratamentos avaliados.

Segundo Torres e Saraiva (1999) a densidade pode variar consideravelmente, de acordo com a textura e os teores de matéria orgânica do solo. Fatores relacionados ao uso do solo também podem interferir, como por exemplo, pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo

intensivo e sistema de manejo inadequado (REINERT et al., 2008). Embora não haja consenso entre os autores sobre o nível crítico da densidade do solo, isto é, o valor acima do qual o solo é considerado compactado (RICHART et al. 2005), os tratamentos avaliados não apresentaram valores de densidade do solo que possam impedir no uso do solo e causar impedimento ao desenvolvimento de plantas.

4.4 GRAU DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

Os valores de grau de compactação na camada 0-0,10 m foram bastante próximos e sem diferenças significativas entre si (Tabela 10). Entretanto, na camada 0,10-0,20 m houve diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, sendo que o maior valor encontrado foi de 76,45% no consórcio milho + *P. maximum* cv. Mombaça, diferindo significativamente dos demais tratamentos, e o menor valor de grau de compactação foi de 71,75% no consórcio milho + *U. ruziziensis*.

Tabela 6. Grau de compactação (GC) na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	GC (%)	
	0-0,10 m	0,10-0,20 m
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	75,46^{ns}	74,88ab
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	76,38	74,53ab
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	77,46	76,45a
Milho + *U. ruziziensis*	74,70	71,75b
Milho + *U. decumbens*	76,17	74,81ab
Milho + *U. humidicola*	77,61	74,95ab
Milho sem consórcio	77,82	73,43ab
C.V. (%)	7.05	8,54

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan; ^{ns} não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan

Todos os valores de GC da área estão próximos dos ideais estipulados na literatura para o máximo rendimento das culturas, estimados entre 77 e 94% (BETIOLI JÚNIOR et al., 2012). Já para Klein (2006), o GC considerado ótimo para

um Latossolo Vermelho em relação ao desenvolvimento de plantas é entre 71,5 e 88%.

Porém, estes valores foram maiores na profundidade 0-0,10 m do que em 0,10-0,20 m, ou seja, na camada superficial. Possivelmente, a razão para esse resultado se deve a baixa produção de matéria seca devido às condições climáticas. Consequentemente, a baixa cobertura favoreceu a maior exposição do solo às chuvas, causando um selamento superficial e influindo na densidade do solo. Conforme Schaefer et al. (2002), após simulação de chuvas em diferentes porcentagens de cobertura (0, 20, 40, 80 e 100%), observaram que houve o desenvolvimento de crostas ou selamento em todos os solos expostos, pela destruição de agregados, afetando a rugosidade do solo.

Nota-se também que houve a influência dos tratamentos nos valores de GC, principalmente na profundidade de 0,10-0,20 m. Conforme Chioderoli et al. (2012), relataram que as plantas de cobertura, têm potencial para mitigar os efeitos da compactação pelos bioporos formados por suas raízes, que geralmente são agressivas, bem como diminuir a Ds, principalmente nas camadas superficiais. Entretanto, essas gramíneas possuem sistema radicular profundo, o qual permitiu maior aproveitamento do perfil do solo e influenciou desse modo na camada 0,10-0,20 m. O consórcio milho + *U. ruziziensis* apresentou os menores valores de GC nas duas profundidades avaliadas, destacando esta gramínea forrageira favorável para redução de GC.

4.5 ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO

Não houve diferença significativa entre os valores de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) para os tratamentos avaliados na profundidade de 0,0-0,10 m (Tabela 6).

Tabela 7. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) na profundidade de 0-0,10 m, após o consórcio de milho safrinha com gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamento	DMP	DMG	IEA
	mm		%
Milho + *P. maximum* cv Tanzania	2,52 ns	2,11 ns	89,99 ns
Milho + *U. brizantha* cv Marandu	2,45	1,99	87,87
Milho + *P. maximum* cv Mombaça	2,52	2,15	90,29
Milho + *U.ruziziensis*	2,46	2,00	88,50
Milho + *U. decumbens*	2,57	2,19	90,60
Milho + *U. humidicola*	2,44	2,01	86,61
Milho sem consórcio	2,46	2,02	88,05
C.V. (%)	7,66	15,19	5,37

ns não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan.

Segundo Calegari et al. (2006), os sistemas de manejo exercem influência sobre a formação e estabilização dos agregados do solo. Esses autores observaram que sob o plantio direto, incluindo o uso de plantas de cobertura, favorece para o aumento do diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e no índice de estabilidade de agregados nas pronfundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Porém no presente trabalho não foi observado influência das coberturas consorciadas com o milho no aumento do diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e no índice de estabilidade de agregados na pronfundidade de 0-0,10 m.

Na camada 0,10-0,20 m, o maior valor de diâmetro médio ponderado (2,65 mm) foi observado no tratamento de milho + *U.ruziziensis*, porém não se difere dos tratamentos milho + *U. brizantha* cv Marandu, milho + *P. maximum* cv Mombaça e milho + *U. decumbens*. Entretanto, o menor valor (2,35 mm) foi apresentado pelo milho sem consórcio, não se diferindo dos consórcios milho + *P. maximum* cv Tanzânia e milho + *U. humidicola* (Tabela 7). Para o diâmetro médio geométrico, o maior valor (2,34 mm) foi observado para o tratamento Milho + *U.ruziziensis*, porém não se difere para os tratamentos milho + *U. brizantha* cv Marandu, milho + *P. maximum* cv Mombaça e milho + *U. decumbens*. O menor valor (1,86 mm) se apresenta no milho sem consórcio e não difere significativamente para os tratamentos milho + *P. maximum* cv Tanzânia e milho + *U. humidicola* (Tabela 7).

Os valores de índice de estabilidade de agregados variaram entre 85,02 a 93,31%. Sendo que este maior valor foi para o tratamento Milho + *U.ruziziensis*, porém não se difere significativamente aos consórcios milho + *U. brizantha* cv Marandu, milho + *P. maximum* cv Mombaça, milho + *U. decumbens* e milho + *U.*

humidicola. E o menor valor para o milho sem consórcio e sem diferença significativa para o milho + *P. maximum* cv Tanzania (Tabela 7).

Santos et al. (2012), relataram que as braquiárias possuem o sistema radicular abundante e agressivo e que as exsudações de compostos orgânicos por suas raízes, possivelmente, devem contribuir para a formação de agregados mais estáveis. Porém na camada 0,0-0,10 m estes fatores não inferiram para diferenciar os consórcios com as braquiárias com os demais tratamentos. Sendo observado, no entanto na camada de 0,10-0,20 m, o que aponta para o efeito benéfico do consorciamento, especialmente com a forrageira *U. ruziziensis*.

Possivelmente, com o selamento superficial, compreendida na profundidade 0-0,10 m, o sistema radicular das gramíneas forrageiras e da cultura do milho não foram eficientes em favorecer a estabilização dos agregados.

Tabela 8. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) na profundidade 0,10-0,20 m, após o consórcio de milho safrinha com gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamento	DMP	DMG	IEA
	mm		%
Milho + *P. maximum* cv Tanzania	2,14 bc	2,03 bc	85,38 b
Milho + *U. brizantha* cv Marandu	2,56 ab	2,16 ab	90,04 ab
Milho + *P. maximum* cv Mombaça	2,63 a	2,28 ab	91,70 a
Milho + *U.ruziziensis*	2,65 a	2,34 a	93,31 a
Milho + *U. decumbens*	2,55 ab	2,15 ab	89,15 ab
Milho + *U. humidicola*	2,45 bc	204 bc	88,32 ab
Milho sem consórcio	2,35 c	1,86 c	85,02 b
C.V. (%)	7,13	13,55	6,88

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan.

Estas variações confirmam as constatações observadas por Moreira et al. (2009), que relataram que as diferentes plantas utilizadas para cobertura influenciam, de forma diferenciada, as características físicas do solo, incluindo a estabilidade de agregados.

Estes resultados foram semelhantes aos de Bertol et al. (2001), que avaliaram DMP em diferentes sistemas de cultivo, também observaram o aumento do DMP com a profundidade, nos tratamentos Campo Nativo Pastejado e

Semeadura Direta, embora não estatisticamente diferentes, fato não observado no Preparo Convencional.

Segundo Calegari et al., (2006) e Bertol et al., (2001), o diâmetro médio ponderado (DMP), indica a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores (> 2 mm), o diâmetro médio geométrico (DMG) representa uma estimativa das classes de agregados de maior ocorrência, isto é, a tendência de agregados maiores se romperem em agregados menores, e o índice de estabilidade de agregados (IEA) é resultante da quantidade de agregados estáveis em água. Assim, maiores valores destes índices indicam formação e estabilidade de agregados e a diminuição desses valores indica a vulnerabilidade dos agregados formados.

Observando as variações ocorridas nos valores de DMP, DMG e IEA, pode-se demonstrar que ocorreu a formação e estabilização dos agregados do solo nos consórcios milho + *U. brizantha* cv Marandu, milho + *P. maximum* cv Mombaça, milho + *U. ruziziensis* e milho + *U. decumbens*, resultante da ação das raízes, que possivelmente, colaboraram no processo de união de agregados menores para a formação de agregados maiores. Pereira et al. (2010), afirmam que quanto maior o valor de DMP e DMG, maior a contribuição do manejo na estabilização dos agregados do solo.

Brandão e Silva, (2012), avaliando o efeito do sistema radicular da *U. ruziziensis* na formação e estabilização de agregados do solo, concluíram que houve efeito significativo do sistema radicular dessa gramínea na formação e estabilização de agregados, confirmando seu desempenho no presente trabalho.

Tisdall e Oades, (1980), destacaram a correlação positiva entre o teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados, pois a matéria orgânica é um poderoso agente de formação e estabilização dos agregados.

4.6 RESISTÊNCIA TÊNSIL DOS AGREGADOS E FRIABILIDADE DO SOLO

Os valores de resistência tênsil do solo na camada 0,0-0,10 m apresentaram variação entre os tratamentos avaliados (Tabela 8). O tratamento milho + *U. brizantha* cv. Marandu apresentou o maior valor de RT (117,80 kPa), porém não se

diferiu significativamente dos consórcios milho + *U. humidicola*, milho + *U. brizantha* cv. Marandu, milho + *P. maximum* cv. Mombaça, milho + *U. ruziziensis*, milho + *U. decumbens* e milho sem consórcio e o tratamento milho + *P. maximum* cv.Tanzânia apresentou a menor RT (86,08 kPa).

Os valores de friabilidade na profundidade de 0,0-0,10 m apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 8). O tratamento milho + *U. humidicola* apresentou o maior valor (0,62), porém não se diferiu significativamente dos tratamentos de milho + *P. maximum* cv.Tanzânia, milho + *U. brizantha* cv. Marandu, milho + *P. maximum* cv. Mombaça, milho + *U. decumbens* e milho sem consórcio e o tratamento de menor valor (0,47) foi do tratamento milho + *U. ruziziensis*. Nessa amplitude, esses valores pertencem à classe muito friável e friável, respectivamente, segundo classificação proposta por Imhoff et al. (2002). Evidenciando a existência de condições físicas adequadas para bom contato solo-semente por ocasião da semeadura.

Tabela 9. Resistência tênsil (RT) e friabilidade (F) na profundidade 0-0,10 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	RT (kPa)	F
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	86,08 b	0,49 ab
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	117,80 a	0,54 ab
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	108,01 ab	0,49 ab
Milho + *U. ruziziensis*	96,08 ab	0,47 b
Milho + *U. decumbens*	111,42 ab	0,58 ab
Milho + *U. humidicola*	108,64 ab	0,62 a
Milho sem consórcio	111,23 ab	0,52 ab
C.V. (%)	32,15	33,03

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan.

Tormena et al. (2008a) relataram que em solos sob plantio direto, as condições estruturais são controladas, basicamente, pelos processos naturais relacionados ao clima e às culturas implantadas. Desta forma, as espécies de

gramíneas forrageiras utilizadas nos consórcios com o milho exerceram papel fundamental para a estruturação do solo.

O sistema radicular dessas plantas possivelmente influenciou na resistência dos agregados e na friabilidade do solo na camada 0-0,10 m. De acordo com Bastos et al. (2005), através da exsudação de compostos orgânicos, promoção de bioporos, proporcionando condições favoráveis para a sobrevivência de microrganismos que, por sua vez, liberam substâncias orgânicas que também atuam como agentes cimentantes de partículas.

Porém, segundo Imhoff et al. (2002), o teor de argila, a mineralogia, a presença de argila dispersa também pode influenciar nos valores de RT e friabilidade do solo. Outros autores também constataram que solos com elevados teores de argila tendem a apresentar maiores valores de RT (TORMENA et al., 2008b). Assim, o solo avaliado apresenta textura argilosa, fato que pode ter contribuído para o aumento da RT, através da presença de selamento superficial, observado nos valores de densidade e grau de compactação do solo na profundidade 0-0,10 m. Imhoff et al. (2002), também afirmam que o teor de carbono ôrganico total (COT) influencia na RT e friabilidade dos agregados, apesar de ocorrer correlação tanto positiva como negativa na literatura (BLANCO-CANQUI et al. 2005; BARTOLI et al. 1992).

Os valores de RT e friabilidade do solo na camada 0,10-0,20 m apresentaram pequena amplitude de variação entre os tratamentos (Tabela 9), porém não foram constatadas diferenças significativas. Os valores de friabilidade para os consórcios milho + *P. maximum* cv. Mombaça, milho + *U. ruziziensis* pertencem à classe muito friável e os demais tratamentos à classe mecanicamente instável, segundo classificação proposta por Imhoff et al. (2002).

Tabela 10. Resistência tênsil (RT) e friabilidade (F) na profundidade 0,10-0,20 m após consórcio de milho safrinha e gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	RT (kPa)	F
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	88,94 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	80,05	0,93
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	92,89	0,79

Milho + *U. ruziziensis*	87,21	0,79
Milho + *U. decumbens*	86,29	0,85
Milho + *U. humidicola*	99,92	0,91
Milho sem consórcio	73,68	0,97
C.V. (%)	38,91	29,36

[ns] não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan

O selamento superficial, observado nos valores de densidade do solo na camada 0-0,10 m, pode ter provocado também a união dos agregados, aumentando a densidade individual e reduzindo a porosidade interna do agregado, resultando no aumento da resistência dos agregados nessa camada, comparado com a profundidade 0,10-0,20 m, em acordo com Tormena et al. (2008a), Blanco-Canqui et al. (2005) e Araújo et al. (2000).

Os valores médios de RT encontrados no presente trabalho, ambas as profundidades, foram semelhantes aos encontrados por Tormena et al. (2008a) em Latossolo Vermelho distrófico, em que o valor médio foi de 90,94 kPa, porém com agregados com tamanhos superiores (diâmetro médio de 15,75 mm), e friabilidade variando entre 0,22 para cultivo de preparo convencional e 0,61 para mata nativa. Os valores médios de RT também foram semelhantes aos de Tormena et al. (2008b), este em Latossolo Vermelho distroférrico, o qual apresentou valor médio de 88,04 kPa. Já os valores médios de F são inferiores, variando entre 0,42 a 0,50. Entretanto, os valores de RT foram superiores quando comparados aos valores de Bavoso et al. (2010) em Latossolo Bruno que obteve valor médio de 37,99 kPa, já os valores de F foram inferiores, variando entre 0,44 a 0,70.

Enquanto os resultados de RT foram obtidos com agregados com diâmetros de 9,5 a 4,75 mm, Guedes Filho (2012), afirma que a diminuição do tamanho de agregados utilizados na determinação implica em uma redução da sensibilidade de força aplicada. Isso se deve pela redução dos planos de fraqueza uma vez que os agregados menores são fragmentos dos agregados maiores, estes tendem a refletir melhor as condições do manejo adotado.

Conforme Utomo e Dexter, (1981), solos que apresentam valores muito baixos de F, indicam que podem ser fraturados em agregados de tamanho variado, quando submetido a qualquer força mecânica, resultando em um ambiente físico

inadequado para a germinação e crescimento das plântulas. Porém, se o solo apresentar valor muito elevado de F pode sofrer intensa fragmentação com uma mínima força aplicada, prejudicando sua utilização em culturas agrícolas mecanizadas. Neste sentido, os consórcios milho + *U. brizantha* cv. Marandu, milho + *P. maximum* cv. Mombaça, milho + *U. ruziziensis,* milho + *U. decumbens*, milho + *U. humidicola* e milho sem consórcio apresentaram valores de RT favoráveis para a condição desejável à germinação das sementes, o crescimento das plântulas e o estabelecimento das culturas.

4.7 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO (IHO)

Os modelos ajustados à curva de retenção da água (CRA) e à curva de resistência do solo à penetração (CRS) (Tabela 11) foram utilizados para estimar os teores de água (θ) na capacidade de campo (CC), no ponto de murcha permanente (PMP), na resistência crítica do solo à penetração (RP) e na porosidade de aeração de 10 % (PA). Todas as curvas ajustadas, tanto de resistência à penetração do solo como de retenção de água, apresentaram coeficientes de determinação significativos a 1 % pelo teste F.

Os modelos ajustados à CRS mostraram que a RP foi positivamente correlacionada com a densidade do solo e negativamente com θ em todos os tratamentos. Segundo Calonego et al. (2011), a literatura apresenta diferentes valores críticos de RP, porém o valor de 2,0 MPa é o mais utilizado como crítico para o crescimento das plantas. Entretanto, para solos sob plantio direto o limite crítico de RP deve ser ampliado para além deste valor, adotando-se 3 MPa, pelo fato do sistema proporcionar diferente organização da porosidade do solo.

Os modelos ajustados à CRA mostraram que o conteúdo de água obteve correlação positiva com a densidade do solo e negativa com o potencial de água no solo. Segundo Guedes Filho (2012), é comum observar um aumento na retenção de água associado ao aumento na densidade do solo, possivelmente isso se deve à redução da macroporosidade do solo.

Tabela 11. Ajuste das curvas de retenção de água no solo e de resistência à penetração de acordo com modelos não lineares propostos pela literatura, seguido dos coeficientes de determinação (R^2), para os diferentes consórcios e profundidade de amostragem

Consórcio	Profundidade	Equação da curva de resistência do solo e R^2	Equação da curva de resistência da água e R^2
	m		
Milho + Tanzânia	0-0,10	$RP = 0.0351\ \Theta_v^{-2,4616}\ Ds^{4,4929}\ R^2\ 0,75^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,6152 + 0,6901\ Ds)\ \psi^{-0,1327}\ R^2\ 0,94^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.0158\ \Theta_v^{-2,9589}\ Ds^{3,7408}\ R^2\ 0,83^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,4905 + 0,5735\ Ds)\ \psi^{-0,1287}\ R^2\ 0,95^{**}$
Milho + Marandu	0-0,10	$RP = 0.0414\ \Theta_v^{-2,2395}\ Ds^{4,8000}\ R^2\ 0,77^{**}$	$\Theta_v = \exp(-1,8127 + 0,0147\ Ds)\ \psi^{-0,1597}\ R^2\ 0,87^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.0283\ \Theta_v^{-2,5324}\ Ds^{4,9392}\ R^2\ 0,70^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,5654 + 0,5772\ Ds)\ \psi^{-0,1456}\ R^2\ 0,92^{**}$
Milho + Mombaça	0-0,10	$RP = 0.0310\ \Theta_v^{-2,6789}\ Ds^{3,4708}\ R^2\ 0,91^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,3215 + 0,4557\ Ds)\ \psi^{-0,1206}\ R^2\ 0,83^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.0110\ \Theta_v^{-3,2367}\ Ds^{3,4708}\ R^2\ 0,80^{**}$	$\Theta_v = \exp(-1,8495 + 0,0099\ Ds)\ \psi^{-0,1447}\ R^2\ 0,80^{**}$
Milho + *U. ruziziensis*	0-0,10	$RP = 0.0273\ \Theta_v^{-2,4863}\ Ds^{5,5230}\ R^2\ 0,89^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,1896 + 0,3554\ Ds)\ \psi^{-0,1308}\ R^2\ 0,88^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.0051\ \Theta_v^{-3,4499}\ Ds^{6,2041}\ R^2\ 0,80^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,6071 + 0,6784\ Ds)\ \psi^{-0,1316}\ R^2\ 0,91^{**}$
Milho + *U. decumbens*	0-0,10	$RP = 0.0183\ \Theta_v^{-2,7306}\ Ds^{5,4328}\ R^2\ 0,92^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,1538 + 0,3011\ Ds)\ \psi^{-0,1328}\ R^2\ 0,92^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.0174\ \Theta_v^{-2,7686}\ Ds^{5,5552}\ R^2\ 0,79^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,6318 + 0,6933\ Ds)\ \psi^{-0,1313}\ R^2\ 0,87^{**}$
Milho + *U. humidicola*	0-0,10	$RP = 0.1258\ \Theta_v^{-1,9833}\ Ds^{1,5041}\ R^2\ 0,80^{**}$	$\Theta_v = \exp(-1,8515 + 0,0059\ Ds)\ \psi^{-0,1507}\ R^2\ 0,87^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.0345\ \Theta_v^{-2,2272}\ Ds^{6,1318}\ R^2\ 0,76^{**}$	$\Theta_v = \exp(-2,4690 + 0,5768\ Ds)\ \psi^{-0,1226}\ R^2\ 0,87^{**}$
Milho sem consórcio	0-0,10	$RP = 0.0569\ \Theta_v^{-2,4989}\ Ds^{1,9129}\ R^2\ 0,85^{**}$	$\Theta_v = \exp(-1,7784 + 0,0187\ Ds)\ \psi^{-0,1371}\ R^2\ 0,83^{**}$
	0,10-0,20	$RP = 0.4080\ \Theta_v^{-1,0962}\ Ds^{2,1146}\ R^2\ 0,42^{**}$	$\Theta_v = \exp(-1,7781 + 0,0408\ Ds)\ \psi^{-0,1507}\ R^2\ 0,58^{**}$

RP: Resistência à penetração (MPa); Ds: Densidade do solo (g cm^{-3}); Θv: Umidade volumétrica do solo ($cm^3\ cm^{-3}$); ψ: Potencial matricial.

Para o intervalo hídrico ótimo para os tratamentos avaliados na profundidade 0-0,10 m (Figura 4), os valores de θcc e θpmp nos limites críticos de potenciais de água no solo aumentaram de acordo com a densidade do solo, de forma similar aos resultados de Tormena et al. (2007).

A porosidade de aeração não foi fator limitante superior para nenhum dos tratamentos mantendo-se acima dos valores de θcc, porém a capacidade de campo

e a resistência à penetração foram os limites superior e inferior, respectivamente, para toda a extensão dos IHOs dos tratamentos avaliados.

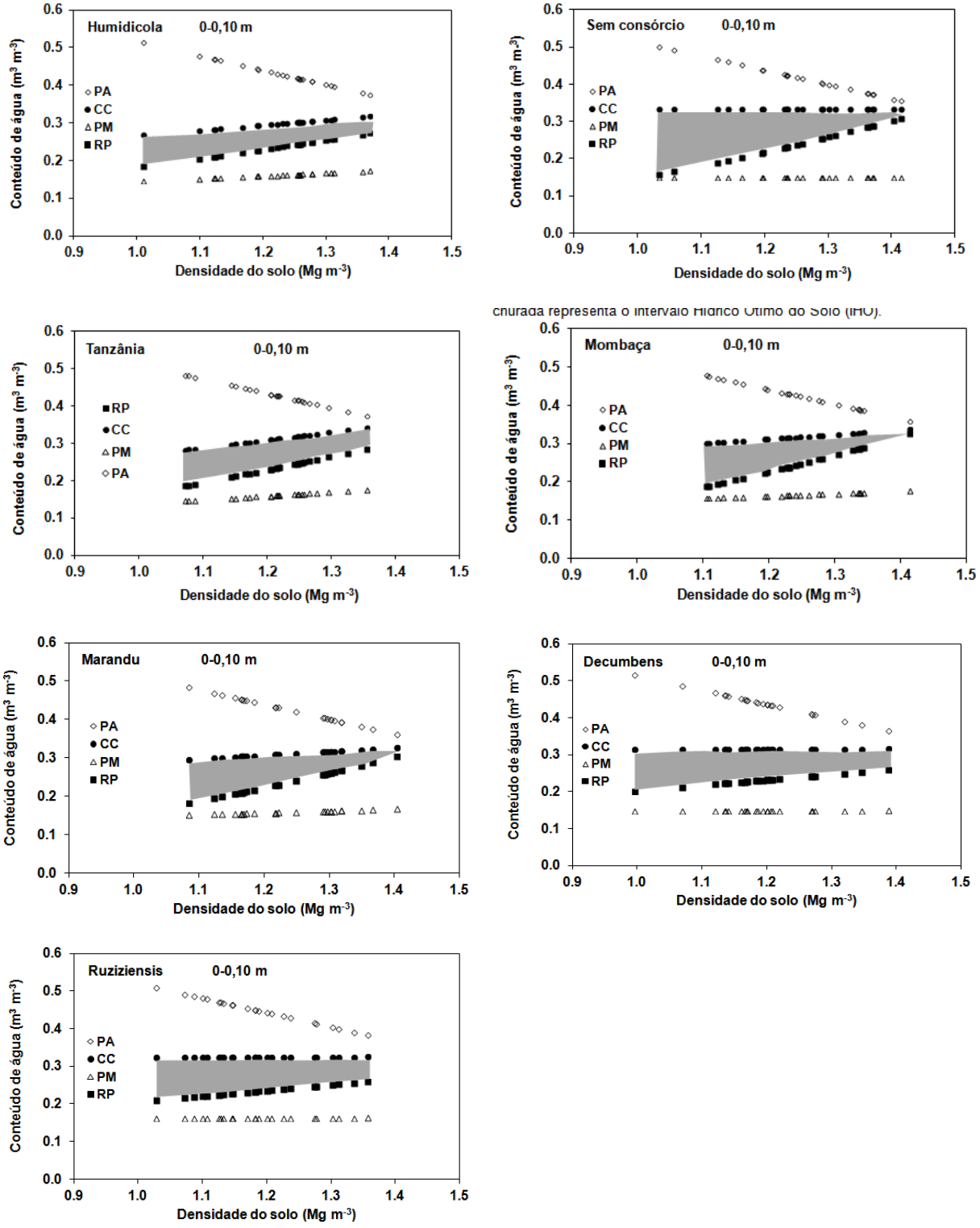

Figura 4. Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo (CC ou y = -0,01 MPa), ponto de murcha (PMP ou y = -1,5 MPa), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência à penetração de 3,0 MPa (RP) na camada 0-0,10 m, nos tratamentos com Humidicola, Sem consórcio, Tanzania, Mombaça, Marandu, Decumbens e Ruziziensis. A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do Solo (IHO).

Segundo Betioli Júnior et al. (2012), a maioria dos trabalhos que medem o IHO em solos brasileiros, a RP é a principal variável responsável pela redução da qualidade física, sendo dependente da variação do conteúdo de água e influenciada pelo aumento da densidade do solo.

Todos os tratamentos apresentaram redução do IHO conforme o aumento da densidade do solo, caracterizando perda da qualidade física com o aumento da compactação do solo, fato observado por diversos autores (TORMENA et al., 2007; GUBIANI et al., 2013; MOREIRA et al., 2014). De acordo com Kertzman (1996), em Latossolos com textura argilosa, a compactação ou o aumento da densidade do solo interfere o espaço poroso, reduzindo o diâmetro dos poros maiores, de modo a se tornarem mais eficientes na retenção de água em elevados potenciais (θcc). Desta forma, em baixos potenciais, a correlação positiva entre θpmp e densidade do solo corresponde à maior massa de partículas com elevada superfície de adsorção, já que a compactação geralmente não afeta a microporosidade do interior dos agregados.

Os tratamentos com milho sem consórcio, milho + *P. maximum* cv. Mombaça e milho + *U. brizantha* cv. Marandu foram os que apresentaram faixa de IHO reduzida. Porém, nenhum dos tratamentos atingiu IHO zero, apenas mantiveram a faixa de IHO na frequência de maiores valores de densidade do solo.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) obtido para os tratamentos na profundidade 0,10-0,20 m estão apresentados na Figura 5. Assim como na profundidade 0-0,10 m, a capacidade de campo e a resistência à penetração foram os limites superior e inferior, respectivamente, para toda a extenção dos IHOs dos tratamentos avaliados.

Na profundidade 0,10-0,20 m, observa-se na Figura 5 que houve o aumento da retenção de água do solo na capacidade de campo e do ponto de murcha permanente em todos os tratamentos, fato associado às alterações decorrentes da redução do diâmetro dos poros (DEXTER et al., 2008).

Dentre os IHOs, o consórcio milho + *U. decumbens* foi o que apresentou a menor faixa dentre os tratamentos, apresentando tendência de limitação com os valores de capacidade de campo e RP na densidade do solo de 1,35 Mg m^{-3}.

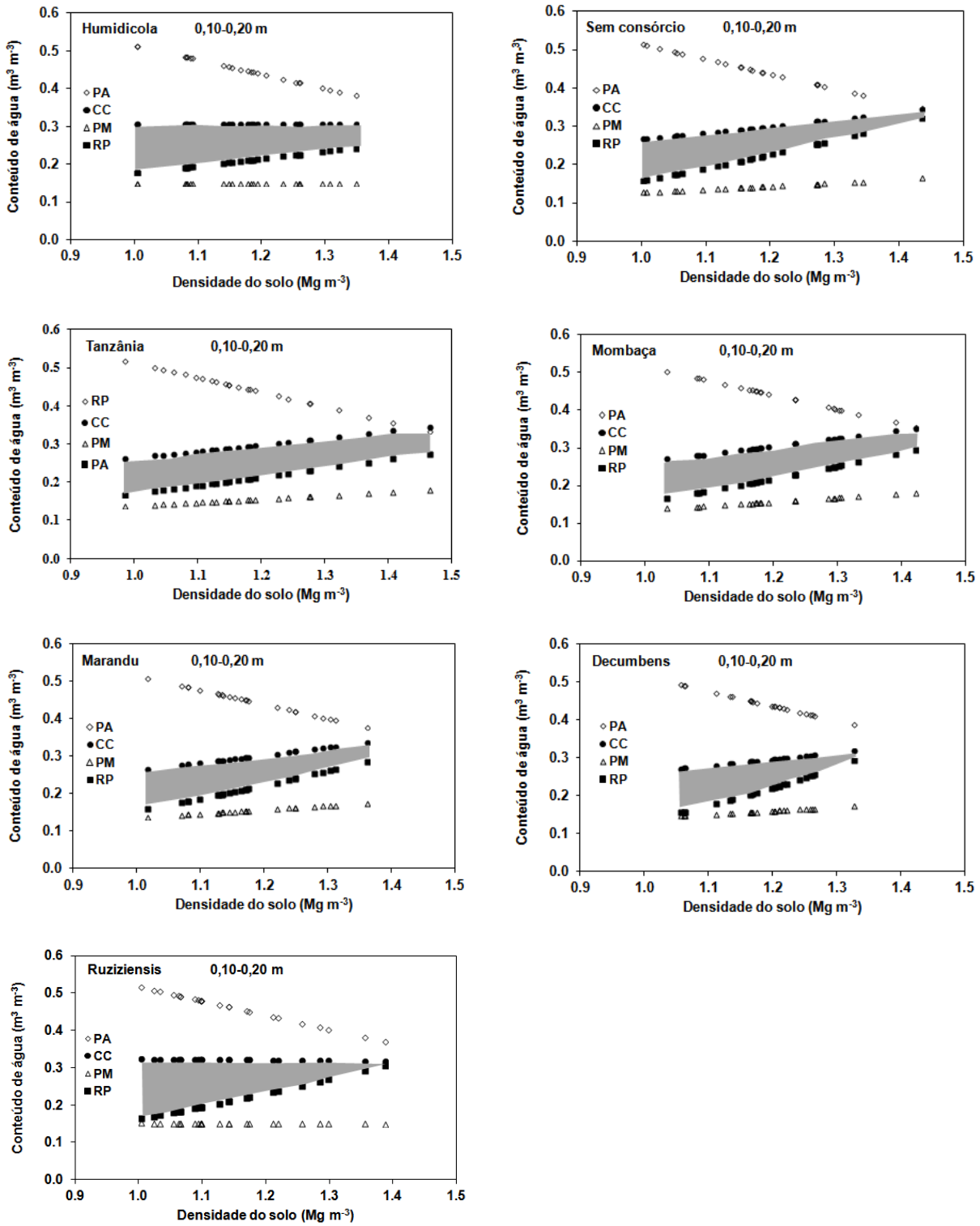

Figura 5. Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo (CC ou y = -0,01 MPa), ponto de murcha (PMP ou y = -1,5 MPa), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência à penetração de 3,0 MPa (RP) na camada 0,10-0,20 m, nos tratamentos com Humidicola, Sem consórcio, Tanzania, Mombaça, Marandu, Decumbens e Ruziziensis. A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do Solo (IHO).

Dentre os fatores que compõem o IHO a RP foi o mais limitante nas duas profundidades avaliadas, corroborando com vários estudos que avaliaram o IHO e também demonstraram que a RP sendo o mais limitante fator do solo. Desta forma, o IHO tem se mostrado um parâmetro mais sensível em revelar as alterações na estrutura do solo que a curva de retenção de água (MOREIRA et al., 2014; FIDALSKI et al., 2013; SILVA et al., 2011; SILVA et al., 1994).

De acordo com as Figuras 6 e 7, observa-se a diminuição do IHO de todos os tratamentos à medida que houve o aumento da densidade do solo. Na profundidade 0-0,10 m (Figura 6), o tratamento sem consórcio apresentou o maior valor de IHO (0,17 m^3 m^{-3}) na densidade do solo de 1,03 Mg m^{-3}, porém apresentou o segundo menor valor de IHO (0,02 m^3 m^{-3}) na densidade do solo de 1,41 Mg m^{-3}, perdendo apenas para o consórcio milho + *U. humidicola* em que o menor valor de IHO observado foi de 0,01 m^3 m^{-3} na densidade do solo de 1,41 Mg m^{-3}. Provavelmente, esses baixos valores para o consórcio milho + *U. humidicola* são resultantes da baixa produção de cobertura do solo em função de problemas de germinação das sementes dessa forrageira.

Na Figura 7, o consórcio milho + *U. ruziziensis* apresentou o maior valor de IHO (0,16 m^3 m^{-3}) na densidade do solo de 1,00 Mg m^{-3}, e também o menor valor 0,01 m^3 m^{-3} na densidade do solo de 1,39 Mg m^{-3}, logo seguido pelo milho sem consórcio com IHO 0,02 m^3 m^{-3} na densidade do solo de 1,44 Mg m^{-3}. Ambas as profundidades, nenhum dos tratamentos atingiu IHO igual à zero. De acordo com Silva et al. (1994), quando o IHO se iguala a zero, significa que o limite inferior de água no solo iguala-se ao limite superior e a densidade do solo que se dá este encontro é considerada como crítica, denominando-a como densidade crítica do solo (Dsc). Assim, quanto maior a Dsc, menor será a probabilidade de a planta permanecer em condições de estresse.

Calonego et al. (2011), avaliando os atributos físicos do solo com o cultivo de milho solteiro e consorciado com *U. brizantha*, observaram que o consórcio com a braquiária por dois anos consecutivos, proporcionou melhora no IHO, com redução da resistência mecânica à penetração e aumento da densidade crítica do solo. Isso demonstra que o presente trabalho, com apenas um ano de implantação, os

tratamentos consorciados já apresentam tendência de melhora na faixa do IHO, quando comparado com o milho solteiro.

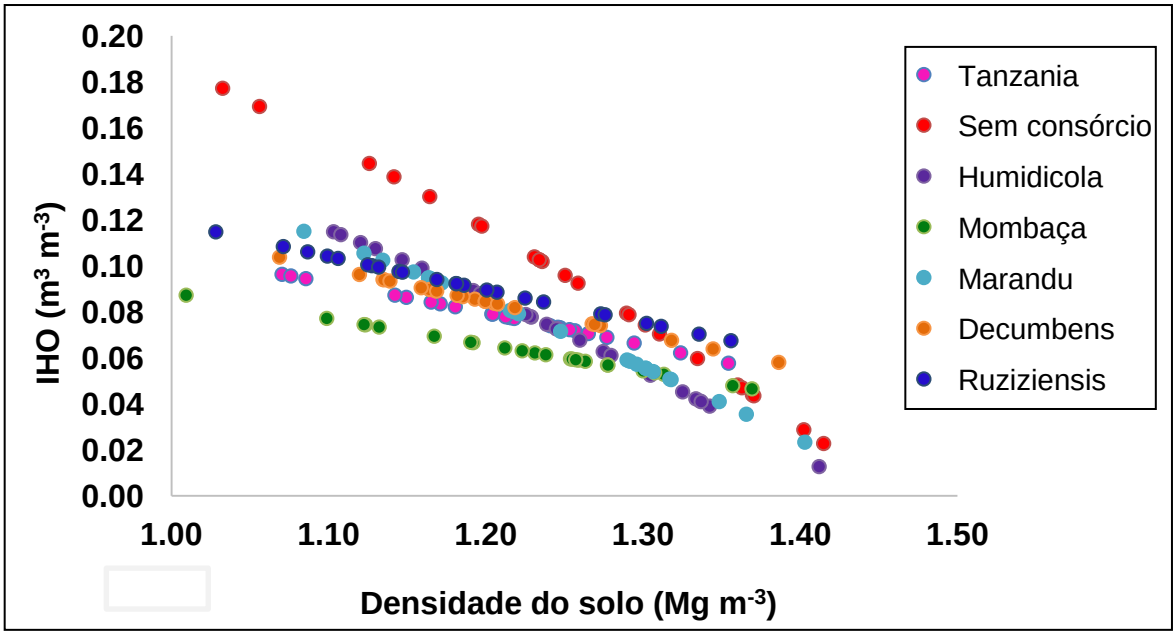

Figura 6. Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da densidade do solo, nos consórcios de milho com gramíneas forrageiras, na profundidade de 0-0,10 m.

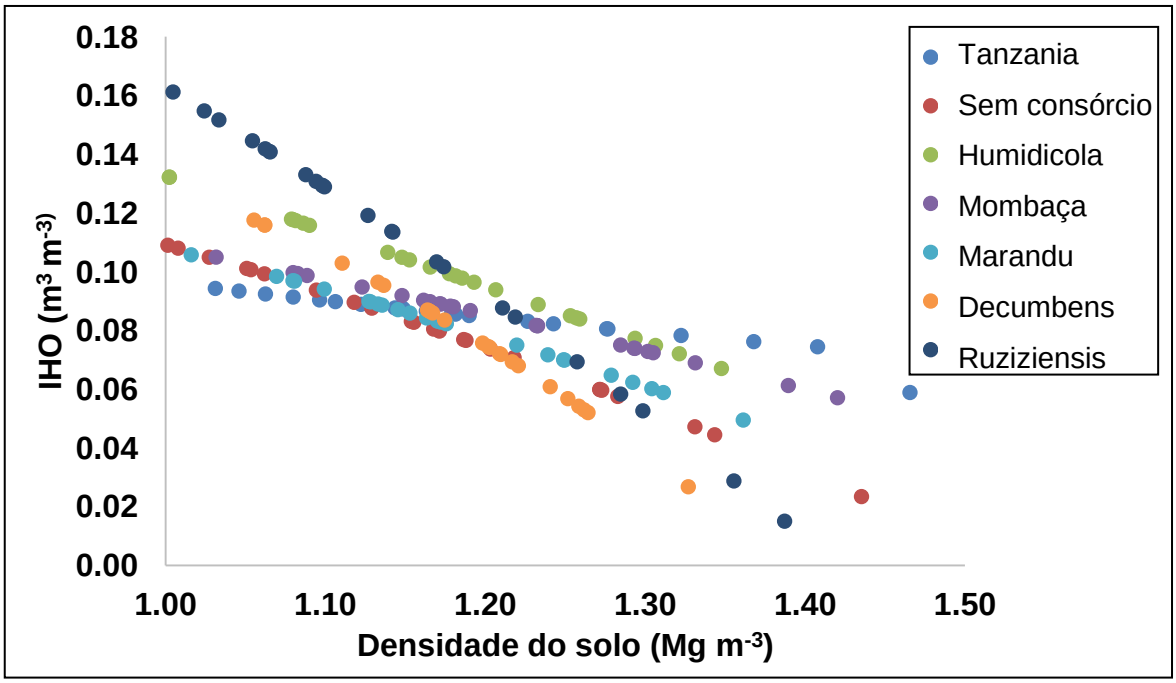

Figura 7. Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da densidade do solo, nos consórcios de milho com gramíneas forrageiras, na profundidade de 0,10-0,20 m.

Os maiores valores médios de IHO na profundidade 0-0,10 m, correspondem ao consórcio milho + *U. ruziziensis* e milho sem consórcio com 0,0914 e 0,0912 m^3 m^{-3}, respectivamente. O menor valor médio de IHO foi de 0,0626 m^3 m^{-3} para o consórcio milho + *U. humidicola*. Já para profundidade 0,10-0,20 m, o maior valor médio de IHO (0,1097 m^3 m^{-3}) foi para o tratamento milho + *U. ruziziensis* e o menor valor médio foi de 0,0778 m^3 m^{-3} para o milho sem consórcio, porém não diferiu dos tratamentos com milho + *P. maximum* cv.Tanzânia, milho + *U. brizantha* cv. Marandu, milho + *P. maximum* cv. Mombaça e milho + *U. decumbens* (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios do intervalo hídrico ótimo (IHO), em m^3 m^{-3}, para os consórcios de milho com gramíneas forrageiras. Rondonópolis, MT, 2015

Tratamentos	Profundidade (m)	
	0-0,10	0,10-0,20
Milho + *P. maximum* cv.Tanzânia	0,0778ab	0,0852b
Milho + *U. brizantha* cv. Marandu	0,0723ac	0,0806b
Milho + *P. maximum* cv. Mombaça	0,0730ac	0,0837b
Milho + *U. ruziziensis*	0,0914a	0,1097a
Milho + *U. decumbens*	0,0851ab	0,0784b
Milho + *U. humidicola*	0,0626c	0,0993a
Milho sem consórcio	0,0912a	0,0778b
C.V. (%)	28,55	25,07

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan; ^{ns} não diferem significativamente (P>0,05) pelo teste Duncan

Os maiores valores médios do IHO indicam uma melhor condição física do solo, pois representam maior disponibilidade de água para o crescimento das plantas (TORMENA et al., 1999). Embora o tratamento com milho sem consórcio tenha apresentado valor do IHO elevado na camada superficial, este não se manteve na profundidade 0,10-0,20 m. Provavelmente, pela ausência da influência do sistema radicular da gramínea forrageira nesta profundidade.

O consórcio milho + *U. ruziziensis* foi o tratamento que apresentou os melhores valores médios do IHO para ambas as profundidades avaliadas. Possivelmente, o sistema radicular agressivo e volumoso desta espécie de gramínea promoveu a melhoria da estrutura do solo e, consequentemente, o aumento do IHO.

Confimando os resultados de Mendonça et al. (2013), que observaram melhoria nos atributos físicos do solo após o consórcio de milho com gramíneas forrageiras.

5 CONCLUSÕES

Os consórcios de milho com gramíneas forrageiras não interferiram nas características biométricas e produção da cultura do milho.

A espécie de forrageira *P. maximum* cv. Tanzânia em consórcio com milho pode ser considerada uma opção viável para a produção de massa seca e cobertura do solo.

O consórcio milho + *U. ruziziensis* favoreceu o aumento da faixa do IHO que, consequentemente, proporciona o aumento da qualidade física do solo.

O cultivo de gramíneas forrageiras em consórcio com o milho melhoraram as condições físicas e estruturais do solo em relação ao milho solteiro, especialmente na camada 0,10-0,20 m.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consórcio de milho com gramíneas forrageiras sob plantio direto, pode ser indicada para a região do Cerrado matogrossense para promover cobertura do solo e melhoria dos seus atributos físicos.

Porém os resultados apresentados e discutidos no presente trabalho são oriundos de um curto período de avaliação, sendo o primeiro ano safra na área experimental. Desta forma, estes resultados são apenas indicativos com pouca interferência dos consórcios analisados.

Nesta perspectiva, há a necessidade de avaliar em maior tempo todas as variáveis apresentadas. Assim, os resultados terão maiores influências dos tratamentos sobre as características biométricas e produção do milho e das gramíneas forrageiras, como também nas propriedades físicas do solo.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519-531, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da interação lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.717-723, 2001.

ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. **A cultura do milho na Integração Lavoura-Pecuária.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 80).

ALVES, V. B.; PADILHA, N. S.; GARCIA, R. A.; CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, p. 280-292, 2013.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.411-418, 2009.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; WATANABE, S. H.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MATA, J. D. V. Avaliação do impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de um Latossolo Vermelho distrófico do noroeste do Paraná. **Acta Science**, v.22, p.1045-1053, 2000.

ARAUJO, L. S.; CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; NETTO, M. S.; OLIVEIRA, F. C. Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*Cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 5, p. 483-488. 2015.

BARTOLI, F.; BURTIN, G.; GUÉRIF, J. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water-stability. **Geoderma**, v.54, p.259-274, 1992.

BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G; DE MARIA, I. C.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.146-154, 2011.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n.1, 2010.

BERTOL, I. BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p.91-95, 2000.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, Á. P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um latossolo vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, n.3, p.971-982. 2012.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.6, 2005.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R.; OWENS, L. B.; POST, W. M.; IZAURRALDE, R. C. Mechanical properties and organic carbon of soil aggregates in the Northern Appalachians. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.1472-1481, 2005.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.1269-1276, 2007.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.163-171, 2007.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* e sistema de plantio direto. **Energia Agrícola,** Botucatu, v. 21, p. 19-33, 2006.

BORGHI, E.; MELLO, L. M. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. **Acta Scientiarum**, v.26, p.337-345, 2004.

BORTOLINI, C. G. Rotação de culturas no sistema plantio direto. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 8., Tangará da Serra, 2005. **Anais...** Tangará da Serra, Gráfica e Editora Sanches. p.115-118..

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSATOTO, J. A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária na região de Sorriso, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 8, p. 263-274, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.33, p. 519-524, 1990.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina**, v.27, n.2, p.147-158, 2006.

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

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001, cap. 19, p.270-276.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; SILVA, R. R.; SILVA, R. R. Integração agricultura-pecuária: um enfoque sobre cobertura vegetal permanente. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v.6, n.8, p.1-19, 2005.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.65, p. 45-51, 2002.

CECCON, G.; SAGRILO, E.; FERNANDES, F. M.; MACHADO, L. A. Z.; STAUT, L. A.; PEREIRA, M. G.; BACKES, C. F.; ASSIS, P. G. G.; SOUZA, G. A. Milho safrinha em consórcio com alternativas de outono-inverno para produção de palha e grãos, em Mato Grosso do Sul, em 2005. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 8., 2005, Assis. **Anais**... Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p. 361-366.

CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. M.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.204-212, 2013.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, v.16, n.97, p.17-20, 2007.

CHIEZA, E. D.; LOVATO, T.; ARAUJO, E. S.; TONIN, J. Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 37, n. 5, p.1393-1401, 2013.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1101-1109, 2010.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em

sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 37-43, 2012.

COBUCCI, T.; WRUCH, F. J.; KLUTHCOUSKI, J. MUNIZ, L. C.; MARTHA JUNIOR, G. B.; CARNEVALLI, R. A.; TEIXEIRA, S. R.; MACHADO, A. A.; TEIXEIRA NETO, M. L. **Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos**. Belo Horizonte: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 42p. (Informe Agropecuário, 240).

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_07_20_16_57_08_previa_boletim_graos_julho_06-07-2016.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2016.

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

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E.; GURAGNA, J. G. Alterações na fertilidade do solo após dois anos de integração agricultura-pecuária, In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO (FERTIBIO), 27, Bonito, 2006. **Resumos...** Bonito: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. **Integração Lavoura-Pecuária: Benefícios das gramíneas perenes no sistema de produção**. Piracicaba, Potafós, 2009. 14p. (Informações Agronômicas, 125)

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 23p. (Sistema de Produção, 1).

DANE, J.H.; HOPMANS, J.H. Water retention and storage. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. IV: Physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 671-717.

DANIEL, L.A.; MARETTI, H.J. **Avaliação de camada de solo compactada e análise de crescimento de plantas**. In: SILVEIRA, G.M. da, coord. Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola, 4., Jundiaí, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p. 22-33.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 31, p. 139-147, 1985.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C., eds. Soil and environmental analysis: **Physical methods**. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 2000. p.405-433.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; RICHARD, G.; RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, v.143, p.243-253, 2008.

DUARTE, A. P. Milho safinha: Características e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed) **Tecnologias de produção de milho**. Viçosa: Editora UFV, 2004. p. 109-138.

DUARTE, A. P.; KAPPES. C. Evolução dos sistemas de cultivo de milho no Brasil. **Informações Agronômicas**. n. 152. Piracicaba: IPNI, 2015. p. 15-18.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja: Região central do Brasil 2007**. Londrina: EMBRAPA, 2006. 225p.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R. (Ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Reimar Carlesso, 2001. p. 59-73.

FARIAS, J. R.B.; NEPOMUCENO, A. L; NEUMAIER, N. **Ecologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 10p (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48).

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. **Evolução da área de plantio direto no Brasil.** 2015. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/publicacoes> Acesso: 23 Ago. 2016.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23, p. 515-524, 1999.

FIORIN, J. E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1999, Cruz Alta. **Resumos de palestras...** Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999. p. 39-55.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 22- 30, 2007.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARANATI, 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, n.4, p.627-636, 2007.

FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, M. V.; AGNES, E. L.; CARDOSO, A. A.; JAKELAITIS, A. Formação de pastagem via consórcio de

Brachiaria brizantha com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**. v. 23, n.1, p.49-58, 2005.

GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M; TEIXEIRA FILHO, M.C. M.; LOPES, K. S. M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, Campinas, v.73, n.2, p. 143-152, 2014.

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. O. Cultivo do milho no Sistema Plantio Direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.233, jul.ago. 2006.

GAZOLA, R. N.; MELO, L. M. M.; DINALLI, R. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P. Sowing depths of brachiaria in intercropping with corn in no tillage planting. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p.157-166, 2013.

GENRO JUNIOR, A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, p.477-484. 2004.

GIANLUPPI, V.; GIANLUPPI, D.; MARSARO JUNIOR, A. L.; ZILLI, J. É.; NECHET, K. L.; BARBOSA, G. F.; MATTIONI, J. A. M. **Cultivo de soja no cerrado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. 21p. (Embrapa Roraima. Sistema de Produção, 1).

GLAT, D. Perspectivas do milho para 2002. **Revista Plantio Direto**, v. 69, p. 15-17, 2002.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 32, p. 180-186, 1968.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. IV: Physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 201-225.

GUEDES FILHO, O. Qualidade física da cama de semeadura do solo em sistemas de manejo. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

GUBIANI, P.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n.1, 2013.

HÅKANSSON, I.; LIPIEC, J. A rewiew of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil Tillage**. v.53, p.71-85, 2000.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A.R. Factors contributing to the tensile strength and friability of oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 1656-1661, 2002.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v.22, p.553-560, 2004.

KAPPES, C. Sistemas de Cultivo de Milho Safrinha no Mato Grosso. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 12., 2013. **Anais...** Dourados: EMBRAPA/UFGD, 2013. p. 1-21. CD-ROM

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

KLEIN, V. A.; CÂMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.221-227, 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, p. 857-867, 2002.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L.P.; OLIVEIRA, I.P.; COSTA, J.L.S.; SILVA, J.G.; 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 Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28p. (Circular Técnica, 38).

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. **Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas**. Piracicaba: Potafós, 2004. 20p. (Informações Agronômicas, 106).

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR,H.; YOKOYAMA, L.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNOBOSCO, C. de 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, 2000. 28 p. (Circular técnica, 38).

JONG VAN LIER, Q. **Física do Solo**. Revista Brasileira de Ciência Solo, Viçosa, v. 36, n. 4, 298p, 2010.

LAFLEN, J.M.; AMAMIYA, M.; HINTZ, E.A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Fairmont, W. Va, v.36, n.6, p.341-343, 1981.

LANGE, A.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. LANGE, A. ; CABEZAS, Waldo A R Lara ; TRIVELIN, Paulo C O . Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 43, p. 123-130, 2008.. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 43, p. 123-130, 2008.

LLANILO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.

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

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; PERFECT, E.; TORMENA, C.A. An algorithm for calculating the least limiting water range of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 1210-1215, 2005.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W. B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. **Soil compaction in crop production**. London, Elsevier, 1994. p.265-286.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Cultivo do Milho: **Ecofisiologia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 47p. (Sistema de Produção, 1).

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

MOREIRA, J. A. A.; AGUIAR, R. A.; STONE, L. F.; BERNARDES, T. G.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Efeito de diferentes plantas de cobertura do solo sobre alguns atributos do solo em sistema de produção orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, p.3748-3751, 2009.

MOREIRA, F. R.; DECHEN, S. C. F.; SILVA, Á. P.; FIGUEIREDO, G. C.; MARIA, I. C.; PESSONI, P. T. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.118-127. 2014.

NAPOLEÃO, B. A. GUERRA, L. C. G.; XAVIER, M. D.; CAPUTE, A. S.; SIMÃO, M. L. R.; GONÇALVES FILHO, A. F.; MENDES, J. S. T.; ASSIS, C. B.; LACERDA, V. **Cultivo do Milho em Sistema de Plantio Direto**. Belo Horizonte: EPAMIG -MG, 2006. 11p. (Informe Agropecuário, 233).

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 sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.815-823, 2008.

PARIZ, C.M.; FERREIRA, R.L.; SÁ, M.E. de; ANDREOTTI, M.; CHIODEROLI, C.A.; RIBEIRO, A.P. Qualidade fisiológica de sementes de Brachiariae avaliação da

produtividade de massa seca, em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuaria sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.330-340, 2010.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; CHIODEROLI, C. A. Desempenhos técnicos e conômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros Panicum e Brachiaria em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.360-370, 2009.

PEREIRA, C. R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. 282f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

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

PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A., THOMAS, A. L.; MAEHLER, A. R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1541-1547, 2000.

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, p.1349-1358, 2000.

REIS, V. M.; REIS JUNIOR, F. B.; QUESADA, D. M.; OLIVEIRA, O. C. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. ; BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation associated with tropical pasture grasses. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.28, p.837-844, 2001.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FERNANDES, K. L.; HERMÓGENES, V. T. L. Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, v.38, n. 6, p.1065-1071, 2014.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F. LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.431-437, 2001.

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

SALIRE, E.V., HAMMEL, J.E., HARDCASTLE, J.H. **Compression of intactsubsoilis under short-duration loading**. Soil & Till. Res., Amsterdam, v.31 p. 235- 48, 1994.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. M. **Sistema Plantio Direto**. Dourados: Embrapa-CPAO. 1998. 248p. (Coleção 500 perguntas 500 respostas).

SANTANA, C. T. C. **Comportamento do milho (*Zea mays* L.) e propriedades físicas do solo, no sistema plantio direto, em resposta a aplicação de fertilizante organomineral**. (Dissertação de Mestrado). Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2012. 49p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum**, v. 31, p. 719-727, 2009.

SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A .A.; VIVIAN, R.; COSTA, M. D.; SILVA, A. F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, p. 683-691, 2005.

SANTOS, F. C.; KURIHARA, C. H.; RESENDE, A. V.; ALVARENGA, R. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Arranjo de plantas de braquiária em consórcio com a cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 6p. (Circular Técnica, 202).

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.115-122, 2008.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.11, p.1171-1178, 2012.

SAS INSTITUTE. SAS: user´s guide statistics. 9th ed. Cary, 2002. 943p.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. (Tese de Doutorado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p.

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

SEVERINO F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. II - implicações sobre as espécies forrageiras. **Planta Daninha**. v. 24, p. 45–52, 2006.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde – milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecúaria Brasileira**, v.32, p. 649-654, 1997.

SILVA, J. R. P. **Comportamento de híbridos comerciais de milho submetidos a diferentes arranjos espaciais**. (Monografia de Graduação). Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2007. 30p.

SILVA, R. A.; CARVALHO, G. S. Ocorrência de insetos na cultura do milho em sistema de plantio direto, coletados com armadilhas-de-solo. **Ciência Rural**, v.30, p.199-203. 2000.

SILVA, S. G. C.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and convencional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**. V.167/168, p. 61-70, 2011.

SILVA, D. V.; PEREIRA, G. A. M.; FREITAS, M. A. M.; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, G. S.; FERREIRA, L. R.; CECON, P. R. Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.45, n.8, p.1394-1400, 2015.

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

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relationship between the soil water content and root penetration resistance of a dystrocohesive yellow argissol in Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage**. v.79, p.7-31, 2004.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006.

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.963-973, 2008.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. R. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v.66, n.4, p.617-622, 2007.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M.; Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal Soil Science**. v. 33, p.141-163, 1982.

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, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. Soil Tillage Re., 52:223- 232, 1999.

TORMENA, C. A., ARAÚJO, M. A., FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. D. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.31, v.2, p.211-219. 2007.

TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p.33-42, 2008a.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P.. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 3, p.943-952. 2008b.

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

TORRES, J. L.R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, n.3, p.421-428, 2008.

TRECENTI, R. **Porque investir na formação de palhada para o plantio direto?** Revista Cultivar, n. 202, p. 13, Mar 2016. Disponível em: < http://www.grupocultivar.com.br/noticias/porque-investir-na-formacao-de-palhada-para-o-plantio-direto> Acesso em: 19 ago. 2016.

TRENTO, S. M.; IRGANG, H. R. H.; REIS, E. M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.609-613. 2002.

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. Soil friability. **Journal Soil Science**, v.32, p.203-213, 1981.

WATTS, C.; DEXTER, A.R. Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.49, p.73-84, 1998.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, v.65, p.190-203, 2008.

ANEXO

ANÁLISES DE VARIÂNCIA (ANOVA)

Densidade do solo – 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.12142980	0.01517873	2.04	0.0453
Resíduo	159	1.18483448	0.00745179		
Total	167	1.30626428			

Densidade do solo – 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.05843015	0.00730377	0.72	0.6755
Resíduo	159	1.61759539	0.01017356		
Total	167	1.67602553			

Grau de Compactação - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	314.360419	39.295052	1.35	0.2237
Resíduo	159	4635.676479	29.155198		
Total	167	4950.036898			

Grau de Compactação - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	312.500220	39.062527	0.97	0.4622
Resíduo	159	6409.099742	40.308803		
Total	167	721.599962			

Diâmetro Médio Geométrico - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	1.21702143	0.15212768	1.53	0.1598
Resíduo	75	7.43693452	0.09915913		
Total	83	8.65395595			

Diâmetro Médio Geométrico - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	5.23198333	0.65399792	7.86	0.0001
Resíduo	75	6.23759167	0.08316789		
Total	83	11.46957500			

Diâmetro Médio Ponderado - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.45615476	0.05701935	1.56	0.1526
Resíduo	75	2.74770238	0.03663603		
Total	83	3.20385714			

Diâmetro Médio Ponderado - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	1.96438095	0.24554762	7.57	0.0001
Resíduo	75	2.43397500	0.03245300		
Total	83	4.39835595			

Índice de Estabilidade de Agregados - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	475.192240	59.399030	2.60	0.0144
Resíduo	75	1710.977874	22.813038		
Total	83	2186.170114			

Índice de Estabilidade de Agregados - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	1904.981574	238.122697	6.33	0.0001
Resíduo	75	2819.592925	37.594572		
Total	83	4724.574499			

Resistência Tênsil - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	15463.5788	1932.9474	1.68	0.1140
Resíduo	96	110688.9069	1153.0094		
Total	104	126152.4857			

Resistência Tênsil - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	10782.5530	1347.8191	1.18	0.3216
Resíduo	96	110035.9447	1146.2078		
Total	104	120818.4977			

Friabilidade do Solo - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.38985908	0.04873238	1.57	0.1449
Resíduo	96	2.98545386	0.03109848		
Total	104	3.37531294			

Friabilidade do Solo - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.49774585	0.06221823	0.94	0.4881
Resíduo	96	6.35865333	0.06623597		
Total	104	6.85639918			

Intervalo Hídrico Ótimo - 0-0,10 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.01935274	0.00241909	4.74	0.0001
Resíduo	159	0.08112659	0.00051023		
Total	167	0.10047933			

Intervalo Hídrico Ótimo - 0,10-0,20 m

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	8	0.02108230	0.00263529	5.43	0.0001
Resíduo	159	0.07718711	0.00048545		
Total	167	0.09826941			