



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA – CCCh
COORDENAÇÃO DO CURSO DE AGRONOMIA

EDUARDO FILIPE ROCHA E SILVA

**INDICADORES FÍSICOS DO SOLO EM CULTIVOS DE SOJA SOBRE
PALHADA DO CONSÓRCIO MILHO E *Brachiaria brizantha* cv. Marandu
NO CERRADO MARANHENSE**

Chapadina – MA

2022

EDUARDO FILIPE ROCHA E SILVA

**INDICADORES FÍSICOS DO SOLO EM CULTIVOS DE SOJA SOBRE
PALHADA DO CONSÓRCIO MILHO E *Brachia brizantha* cv. Marandu
NO CERRADO MARANHENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal do Maranhão como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Mariléia Barros
Furtado

Chapadinha – MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Rocha e Silva, Eduardo Filipe Rocha e Silva.
INDICADORES FÍSICOS DO SOLO EM CULTIVOS DE SOJA SOBRE
PALHADA DO CONSÓRCIO MILHO E BRACHIARIA NO CERRADO
MARANHENSE / Eduardo Filipe Rocha e Silva Rocha e Silva. -
2022.

35 p.

Orientador(a): Mariléia Barros Furtado Barros Furtado.
Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão,
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha- MA, 2022.

1. Atributos físicos do solo. 2. Carbono orgânico
total. 3. Plantio direto. I. Barros Furtado, Mariléia
Barros Furtado. II. Título.

EDUARDO FILIPE ROCHA E SILVA

**INDICADORES FÍSICOS DO SOLO EM CULTIVOS DE SOJA SOBRE
PALHADA DO CONSÓRCIO MILHO E *Brachia brizantha* cv. Marandu
NO CERRADO MARANHENSE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal do Maranhão como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mariléia Barros Furtado (Orientadora)
Professora do Curso de Agronomia, CCCh, UFMA

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues
Professor do Curso de Agronomia, CCCh, UFMA

Prof. Dr. Pedro Augusto de Oliveira Morais
Professor do Curso de Agronomia, CCCh, UFMA

Dedico primeiramente a Deus por me guiar e cuidar por todos esses momentos que foram vividos até aqui, sempre com muita saúde e abençoando com sua infinita sabedoria.

Em segundo, aos meus familiares: minha avó Antônia de Araújo Rocha, minha mãe Lília Isabel Araújo Rocha, meu tio Epitácio silva Rocha Júnior e a minha companheira que venho dividindo a vida Victória Fabiana Silva.

E em especial, meu avô Epitácio Silva Rocha (in memoriam), que sempre foi a minha fonte de inspiração, pois teve o papel de pai em minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Nesse momento tão almejado, eu agradeço acima de tudo a Deus por me permitir momentos maravilhosos em todo esse tempo que estive longe de casa, me permitindo fazer mais que amigos durante essa jornada e por sempre habitar em mim cuidando e guiando os meus passos.

Agradeço de alma e coração à minha família, que sempre me apoiou e tornou possível a finalização dessa etapa em minha vida, em especial à minha mãe, Lília Isabel Araújo Rocha, por todo esforço e dedicação pra suprir minhas necessidades longe de casa, por todas as orações, amor, carinho e por ser a maior companheira de minha vida. Agradeço também ao meu tio, Epitácio Silva Rocha Júnior, por ter sido a fonte inspiradora inicial para iniciar essa minha jornada e por fazer por mim o que um pai faria por seu filho. Agradeço muito também à uma grande amiga, Karolline Rosa Cutrim Silva, por ter sido uma pessoa fundamental no meu processo evolutivo dessa jornada e por ter sido uma grande companheira. Um agradecimento especial com muito amor a Rosilene Silva da Silva, que exerceu um papel chave na viabilização da conclusão dessa graduação, me acolhendo e me amando como uma mãe.

Sou muito grato também aos meus amigos que vivendo e convivendo acabaram me proporcionando muitos momentos felizes se tornando pessoas que levo para vida, Savana, Álvaro, Ana Paula, Leonardo, Mayara, Fernando, Gabriela e Eduarda, todos vocês foram grandes pilares nos momentos de alegria e dificuldades que vivi aqui.

Sou grato a minha companheira Victória Fabiana Silva, que foi e é uma grande motivadora de buscar e persistir na luta pelos meus sonhos.

Tenho agradecimentos sinceros e com carinho à professora e orientadora Profa. Dra. Mariléia Barros Furtado, que mesmo com suas diversas ocupações teve a empatia de me aceitar em seu grupo de pesquisa, de dedicar seu tempo e esforço no desenvolvimento deste projeto e por toda a paciência e atenção que teve comigo, sempre sendo uma profissional muito atenciosa e competente com seus compromissos.

Agradeço ao grupo de pesquisa PROCEMA por ter me acolhido, agradeço a todos os integrantes em especial, Debora, Pedro, Larissa, Ruthy, Denilso, Diemerson e Maya, agradeço pela dedicação e colaboração de cada um.

RESUMO

A sustentabilidade do sistema de plantio direto está diretamente ligada ao aporte e manutenção dos resíduos vegetais na cobertura do solo, através do consórcio e rotação de culturas que viabilizem a manutenção da estratégia de manejo para melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo verificar o efeito da cobertura vegetal em diferentes períodos após o consórcio, sob os atributos físicos do solo como: teores de umidade do solo (US), resistência à penetração (RP) e os teores de carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0 – 20 e 20 – 40 cm nas três variáveis. Para isso, foi conduzido um estudo a campo no ano de 2022, na área experimental da Fazenda Barbosa, situado no município de Brejo-MA, sendo que as análises laboratoriais para a determinação dos atributos físicos em análise, foram realizados no Laboratório de Química e Fertilidade. O estudo foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, comparando os seguintes tratamentos: T1: Controle (cultivo da soja em todas as safras); T2: 1º ano de cultivo de soja em sucessão ao consórcio milho + *brachiaria*.; T3: 2º ano consecutivo de cultivo de soja sobre a palhada do consórcio milho+ *brachiaria*; T4: 3º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *brachiaria*.; T5: 4º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *brachiaria*. Os resultados apresentaram a existência de uma diferença significativa para os teores de COT, nas duas profundidades avaliadas entre os tratamentos T1 e T5, apresentando diferença significativa para RP nas profundidades de 0 – 20 cm entre os tratamentos T1 e T4. E foi constatada correlação entre as variáveis, apresentando uma alta correlação entre os teores de carbono orgânico total COT20 e COT40 (0,73), entre RP20 e MO40 (-0,48), entre RP40 e MO40 (-0,48) e entre RP20 e RP40 (-0,41).

Palavras-chave: Atributos físicos do solo; carbono orgânico total; plantio direto.

SUMMARY

The sustainability of the no-tillage system is directly linked to the contribution and maintenance of plant residues in the soil cover, through intercropping and crop rotation that enable the maintenance of the management strategy to improve the physical, chemical and biological characteristics of the soil. In this context, the present study aims to verify the effect of vegetation cover in different periods after intercropping, on the physical attributes of the soil such as: soil moisture content (US), resistance to penetration (RP) and carbon content total organic matter (TOC), in the layers of 0 – 20 and 20 – 40 cm in the three variables. For this, a field study was conducted in the year 2022, in the experimental area of Fazenda Barbosa, located in the municipality of Brejo-MA, and the laboratory analyzes for the determination of the physical attributes under analysis were carried out in the Laboratory of Chemistry and Fertility. The study was conducted in a completely randomized design, comparing the following treatments: T1: Control (soybean cultivation in all seasons); T2: 1st year of soybean cultivation in succession to the corn + brachiaria intercropping; T3: 2nd consecutive year of soybean cultivation on straw from the corn + brachiaria consortium; T4: 3rd consecutive year of soybeans on the corn + brachiaria intercropping straw; T5: 4th consecutive year of soybeans on corn + brachiaria intercropping straw. The results showed the existence of a significant difference for the TOC contents, in the two depths evaluated between treatments T1 and T5, presenting a significant difference for PR in the depths of 0 – 20 cm between treatments T1 and T4. And a correlation was found between the variables, showing a high correlation between the total organic carbon contents TOC20 and TOC40 (0.73), between RP20 and MO40 (-0.48), between RP40 and MO40 (-0.48) and between RP20 and RP40 (-0.41).

Keywords: Soil physical attributes; total organic carbon; direct planting.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise estatística descritiva da umidade do solo (US), resistência a penetração (RP) e os teores de carbono orgânico total (COT).....	14
Tabela 2. Valores médios referentes à umidade do solo e resistência à penetração.....	15
Tabela 3. Valores médios referentes aos teores de carbono orgânico total.....	16
Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson dos atributos físicos do solo.....	17

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	JUSTIFICATIVA.....	3
3	OBJETIVOS.....	3
3.1	Objetivo Geral.....	3
3.2	Objetivos específicos	4
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
4.1	Sistema de plantio direto	4
4.2	Atributos físicos do solo em sistema plantio direto.....	6
4.3	Formação de palha por meio do consórcio milho-forrageira	8
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
5.1	Localização do Experimento.....	10
5.2	Delineamento experimental e tratamentos	10
5.3	Implantação e condução do experimento	11
5.4	Resistência à penetração	11
5.5	Análise dos teores de umidade	12
5.6	Análise do carbono orgânico total.....	12
5.7	Processamento dos dados e análise estatística.....	13
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
7	CONCLUSÃO	17
8	REFERÊNCIAS	17

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos, ficando atrás apenas da China, Estados Unidos e Índia, sendo responsável por uma produção de 239 milhões de toneladas na safra de 2020, que correspondeu por 7,8 % da produção mundial (FAOSTAT, 2020). O Brasil também se destacou com uma produção recorde de soja em 2021, que resultou em 136 milhões de toneladas, o que representou 50% do mercado global dessa *commoditie*, além de ficar com o posto de segundo maior exportador de milho, junto, essas duas culturas representam a maior parte da quantidade produzida no país em 2021 (CONAB, 2022).

No panorama nacional, a região do Centro-Oeste é a maior produtora de grãos, sendo responsável por cerca de 50% de tudo o que é produzido, se destacando nas culturas de milho safrinha e soja, correspondendo por 55,3% e 45,2% respectivamente na produção nacional (CONAB, 2022). Esses elevados percentuais se devem principalmente pela adoção do sistema de sucessão de culturas na maior parte das áreas agrícolas, principalmente no Cerrado, safra após safra.

A estratégia de manejo conservacionista de maior relevância para a sustentabilidade da agricultura não somente no Brasil, mas em escala global é o sistema de plantio direto (SPD) (LOPES; GUIMARÃES, 2016). Visando minimizar principalmente os processos erosivos do solo, houve uma grande expansão do SPD, que é basicamente uma estratégia de manejo que trabalha com o não revolvimento do solo, na utilização de plantas de cobertura associadas ao processo de rotação de culturas, para assim, viabilizar a sustentabilidade do sistema produtivo, com uma maior taxa de infiltração da água e melhoria da estruturação física do solo, com reflexos diretos nos processos erosivos (SALTON et al., 2008; BERTOL et al., 2001).

No entanto, apesar das inúmeras pesquisas e observações a campo, em grande parte das áreas produtoras, ainda existem diversos pontos que acarreta em limitações na sustentabilidade do SPD no Brasil, pois na maioria dos casos têm se observado a adoção errônea do manejo, implantando monocultivo e/ou sucessão de culturas de soja e milho safrinha. Essas práticas de manejo tendem a ocasionar degradação física, química e biológica do solo, além de propiciar aumento na incidência e severidade de pragas, doenças e plantas daninhas nos sistemas de produção, tornando-o insustentável em longo prazo (SEDIYAMA, 2009; BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

A implantação do sistema produtivo consorciando a cultura do milho com forrageiras viabiliza a elevação da quantidade de palhada, o que conseqüentemente resulta em uma maior cobertura do solo, bem como, a melhorias na qualidade e produtividade do sistema de produção. Além de ser boa estratégia para a recuperação, reforma ou ate mesmo formação de pastagens, pois possibilita maior aproveitamento dos insumos utilizados na produção de grãos (SILVA et al., 2015).

O consórcio milho com forrageiras promove melhoria das condições físico-hídricas do solo pela maior quantidade de matéria seca e raízes inseridas, favorecendo a infiltração e retenção de água, maior aproveitamento do perfil do solo e reprimindo os processos erosivos. Desta forma, esta prática interfere diretamente na estrutura do solo, alterando os valores da porosidade total e densidade do solo, modifica a retenção de água e a resistência mecânica do solo à penetração (CHIODEROLI et al., 2012).

A região do Leste Maranhense ganhou notoriedade a partir dos anos 90 em função do baixo custo de comercialização de suas terras, pela topografia favorável ao plantio mecanizado e pela sua localização que favorecia o escoamento da produção em função da proximidade com o porto de Itaqui, em São Luís – MA; características essas atrativas aos agricultores do Sul do país, que conseguiram estabelecer a sojicultura na microrregião de Chapadinha, tornando-a responsável por quase 80% da produção de soja da região (RESENDE, 2013).

No entanto, apesar desses pontos favoráveis ao estabelecimento de uma agricultura tecnificada, os solos se apresentaram como um fator limitante, pois como são originados a partir de sedimentos pré-intemperizados da Formação Barreiras, apresentam disponibilidade limitada de nutrientes, baixos valores de soma de bases, de capacidade de troca catiônica, valores elevados de alumínio trocável, de saturação de alumínio e caráter “coeso”; sendo evidenciado pelo autor que para a redução dos riscos de danos ambientais causados pelas práticas agrícolas, seria necessário o diagnóstico do potencial dos solos para a determinação das áreas passíveis de exploração, bem como o manejo que poderiam ser submetidas (RESENDE, 2013).

As limitações químicas dos solos foram superadas por meio da utilização de insumos agrícolas disponíveis, levando o Leste Maranhense a ser incluído na região MATOPIBA, que compreende uma extensão territorial formada por partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, caracterizados pela expansão agrícola, aonde, as atividades agropecuárias vêm apresentando um desenvolvimento crescente, que contribui com a intensa substituição da

vegetação nativa, principalmente do Cerrado, por áreas cultivadas, especialmente para produção de alimentos, fibra e energia (SANTOS, et al., 2016).

2 JUSTIFICATIVA

A expansão do agronegócio vem influenciando, de maneira direta, a intensificação da utilização dos solos agrícolas para suprir a demanda por alimentos ou matérias-primas, o que resulta no detrimento das propriedades físicas, químicas ou físico-químicas desses solos, já que as práticas de cultivos adotadas são, em sua maioria, convencionais. No entanto, apesar dessas práticas convencionais ainda serem as mais adotadas, novos sistemas de uso e manejo vêm sendo difundidos. Estes têm como intuito tornar a produção agrícola mais sustentável, visando melhorar e conservar as características dos solos, aumentando sua fertilidade e, conseqüentemente, sua produtividade.

Os sistemas de manejo conservacionistas englobam práticas como plantio direto, cobertura do solo, cobertura verde, sistemas integrados, sistemas agroflorestais, controle alternativo de pragas e manejo correto da matéria orgânica. Estratégias essas que, quando bem executadas, proporcionam melhorias no âmbito social, econômico e ambiental, justamente por aproximarem as lavouras dos sistemas de produção natural; onde se observa que o acúmulo de fitomassa é o principal responsável por criar condições favoráveis para que o desenvolvimento, a manutenção e a ciclagem de nutrientes do solo ocorram.

Os pontos abordados ressaltam a importância de pesquisas científicas sobre os sistemas integrados e conservacionistas de produção, justamente por servirem como subsídio e auxiliarem no planejamento, instalação e condução desses sistemas de acordo com a época e região a ser implantado, e com isso, evitam-se problemas básicos com relação à escolha das espécies vegetais a serem consorciadas em um sistema de plantio direto.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar os atributos físicos de um solo cultivado com a cultura da soja sob diferentes períodos de consórcio de milho e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

3.2 Objetivos específicos

a) Analisar a influência da palhada do consórcio milho e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu na resistência do solo à penetração.

b) Determinar os teores de carbono orgânico total do solo nos diferentes tempos de cultivo de soja.

c) Verificar se há correlação entre os tempos de cultivo de soja sobre consorcio milho *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e os indicadores físicos do solo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Sistema de plantio direto

Existem três premissas que alicerçam o sistema de plantio direto, que são a manutenção permanente da cobertura do solo, o mínimo revolvimento possível do solo e rotação de culturas (WARD et al., 2018). Porém, a utilização isolada de uma dessas premissas ou apenas duas delas, acaba tornando o SPD insustentável ao longo do tempo (MUNKHOLM et al., 2013; KODZWA et al., 2020).

Atualmente, o sistema de plantio direto é reconhecido mundialmente como uma estratégia de manejo ecologicamente viável para as áreas de produção. Esse sistema tem trazido diversos benefícios para a agricultura brasileira, principalmente no aspecto da redução de erosões, além de melhorar a agregação e estruturação dos solos (MARIA et al., 2019). Outro fator de grande relevância desse sistema é a capacidade de incrementar a diversidade da biota do solo, possibilitando que a atividade microbiológica maximize o potencial produtivo da cultura, o que conseqüentemente acaba reduzindo os custos operacionais, pelo fato da redução da mecanização e da utilização de mão de obra que convencionalmente se utiliza no sistema de produção convencional (MOTTER; ALMEIDA, 2015).

A rotação de culturas desempenha um papel fundamental na ciclagem de nutrientes, pelo fato de ser uma maneira de regular a fertilidade do solo sob o sistema de plantio direto, pois influencia nos elementos que estarão presentes na solução do solo e que serão demandados pela cultura. As espécies implantadas no sistema de rotação vão determinar a forma em que vai proceder a ciclagem dos nutrientes, juntamente com as condições edafoclimáticas as quais estão inseridas, o que vai ter influência direta na taxa de decomposição de seus resíduos (MARTINS, 2016).

A maior relação C/N das gramíneas faz com que elas sejam uma ótima escolha a ser introduzida no sistema de produção, pois trás uma maior persistência de biomassa na superfície do solo, assim desempenhando um papel chave na rotação de culturas e conseqüentemente a para sustentabilidade do SPD (RAIESI; KABIRI, 2016, VASU et al., 2016). No entanto, o processo de degradação das gramíneas acaba imobilizando uma boa quantidade de nutrientes no solo, principalmente de nitrogênio (ANDERSON, 2016) e o percentual de mineralização acaba sendo um processo mais lento, principalmente quando comparado às espécies da família das fabáceas, que além de terem a taxa de mineralização mais rápida, tem as vantagens da fixação biológica de nitrogênio através das bactérias diazotróficas (MENDONÇA et al., 2017).

A escolha de culturas de cobertura que possuam um sistema radicular agressivo é um fator chave para um bom rendimento do sistema SPD, pois essa agressividade vai permitir um maior aprofundamento nas camadas do solo e assim translocar os nutrientes das camadas mais profundas para as camadas mais superficiais e posteriormente favorecer o desenvolvimento da cultura subsequente. No entanto, a quantidade dos nutrientes acumulados é totalmente dependente do volume de fitomassa produzido, além de que o volume produzido pela parte aérea é imprescindível na quantidade de palhada produzida, sendo fundamental principalmente nas regiões tropicais, onde a temperatura e umidade do ar fazem com que a taxa de decomposição seja mais acelerada (PISSINATI et al., 2016).

Portanto, em um sistema de plantio direto é necessário um planejamento visando intercalar gramínea e leguminosa, ou até mesmo a implantação simultânea de ambas as espécies, almejando o maior incremento da matéria orgânica através da maior taxa de mineralização dos nutrientes (RODRIGUES et al., 2012). O percentual de decomposição da biomassa e a capacidade de ciclagem dos nutrientes estão diretamente ligados a microbiota do solo, sendo potencializados ou amenizados de acordo com o sistema de manejo adotado (GONÇALVES et al., 2019).

Segundo Cardoso et al. (2013), os microrganismos são fortes indicadores de que a estratégia de manejo está sendo eficiente ou não no seu papel conservacionista, pois como a microbiota é um potencializador das característica físico-químicas do solo, ele irá poder resultar em produtividade maiores das culturas. À medida que o SPD vai se consolidando no sistema produtivo, ele vai disponibilizando diversas camadas de resíduos em diferentes estádios de decomposição, e com isso suprindo as necessidades do desenvolvimento dos microrganismos, pois a cobertura constante vai propiciar condições favoráveis ao

desenvolvimento da biota, principalmente no aspecto de temperatura e umidade do ar (SILVA, et al., 2012).

A manutenção da cobertura de solo que ocorre no SPD, possibilita a elevação do pH através dos compostos orgânicos que adsorvem o hidrogênio e o alumínio, a troca de ligantes que ocorre entre os grupos funcionais das hidroxilas e dos oxihidróxidos de ferro e alumínio que faz que os ânions orgânicos aumentem seu potencial de oxidação biológica (FRANCHINI et al., 2003).

O processo de decomposição da palhada do SPD possibilita que essa matéria orgânica maximize a eficiência da adubação mineral aplicada, pois como a capacidade de troca catiônica acaba sendo elevada, e assim as perdas por lixiviação conseqüentemente são reduzidas (ALVES et al., 2021), que é o caso constatado pelo potássio, que em sistemas que tem uma constante manutenção e/ou incorporação de matéria orgânica, sua adsorção é mais eficiente nos sítios de troca do solo (GARCIA et al., 2015).

4.2 Atributos físicos do solo em sistema plantio direto

As premissas que norteiam o SPD vêm sendo comprovados ao logo do tempo. Diversos trabalhos vêm constatando que essa estratégia de manejo têm apresentado relevantes melhorias na qualidade física do solo (MUNKHOLM et al., 2013; NUNES et al., 2017), viabilizando um maior volume de carbono orgânico no sistema, o que conseqüentemente acarreta na melhoria da estruturação, capacidade de retenção de água, além de criar uma barreira física que protege o solo dos processos erosivos (OLIVEIRA NETO, 2017).

No entanto simultaneamente a essa barreira impeditiva a erosão, vem sendo constatado a diminuição dos macroporos e conseqüentemente elevação da densidade do solo, que justifica-se esses dados devido ao intenso tráfego de maquinários pesados utilizados no manejo das áreas e as constantes pressões acabam modificando as forma de arranjo dos espaços porosos e posteriormente acarretando na compactação do solo (BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

Diversos trabalhos indicam que os casos da degradação das características estruturais do solo em um SPD ocorrem predominantemente devido ao manejo inadequado do sistema no tocante à rotação de culturas que é uma situação bastante comum nas áreas de produção do Brasil, pois a sucessão implantando soja e milho safrinha não é o suficiente para atender as premissas do SPD, o que acaba provocando degradação física do solo por se tratar de um

número reduzido de espécies, desfavorecendo o aporte de carbono orgânico no sistema e inviabilizando a utilização do SPD em longo prazo (PIATI, 2022).

Em contra partida, a implantação do SPD atendendo as premissas da rotação de culturas, tende a converter essa compactação, pois as diversidades de sistemas radiculares acabam que por melhorar a estruturação do solo, e assim facilitar as trocas gasosas o que por consequência permite o desenvolvimento de um vigoroso sistema radicular elevando a área de superfície de contato com o solo e potencializando a absorção de nutrientes (INDORIA et al., 2017; BERTOLLO; LEVIEN, 2019; MTYOUBILLÉ et al., 2020).

Um dos parâmetros pelos quais se pode mensurar a qualidade física de um solo é através dos teores de matéria orgânica, pois o mesmo vai ter correlação direta entre o grau de agregação e estruturação, o que reflete em melhor infiltração de água e reduz problemas com erosões (KING et al., 2019). Diversos estudos têm constatado os benefícios na estruturação dos solos causados pela adoção da rotação de culturas em SPD, pois o acúmulo de biomassa viabiliza a manutenção e posteriormente aumento da agregação (NUNES et al., 2015; CONYERS et al., 2019).

Segundo Tiemann et al. (2015), a diversificação de espécies vegetais em um manejo de rotação de culturas, vai ter efeito direto na estabilidade dos agregados do solo, pois em um sistema altamente diversificado o aporte dos níveis de matéria orgânica acabam sendo elevados e conseqüentemente tendo efeito nas propriedades físicas do solo. Em consonância com o autor, Munkholm et al. (2013), através de escores visuais, foi capaz de discernir os efeitos positivos da rotação de culturas, tanto na estrutura do solo quanto no rendimento produtivo da cultura.

Investir na melhoria da qualidade estrutural do solo faz com que seja criado um ambiente que possibilita a maximização do desenvolvimento radicular, o que conseqüentemente acaba possibilitando a cultura de interesse aumentar a sua superfície de contato com o solo, dessa forma tendo mais acesso aos nutrientes e conseqüentemente uma maior eficiência na absorção, possibilitando também uma maior atividade da biota do solo, trocas gasosas e retenção de água, assim viabilizando a elevação da produtividade, como exemplo da soja (ORTIZ et al., 2019).

Outro atributo físico que pode ser utilizado na estimativa da qualidade física do solo é a densidade do solo. Pois como vários estudos relatam, há uma elevação dessa característica após o primeiro ano de implantação do sistema de plantio direto, pois as pressões exercidas

pelo tráfego do maquinário na área faz com que ocorra a formação dessa compactação, principalmente se essas pressões forem combinadas com elevados teores de argila e umidade (ORTIZ et al., 2019).

No entanto, a manutenção constante de biomassa cobrindo o solo safra após safra em sistema de rotação de culturas faz com que os níveis de matéria orgânica se elevem e a densidade do solo diminua gradativamente (GONZÁLEZ et al., 2016). Segundo Haruana e Nkongolo (2015), o SPD foi capaz de reduzir os valores de densidade, em um sistema em que as culturas de ervilhaca e centeio eram utilizadas como cobertura de solo, pois quando comparado esses valores com de sistemas em monocultivo de milho e soja, houve significativa diferenciação. Os autores explicam essa diminuição da densidade pelo acúmulo de biomassa gerada pelas culturas, e que na medida em que esse material é degradado a densidade vai diminuindo, principalmente nas camadas mais superficiais.

Outro fator que é um forte indicador da qualidade física do solo é a capacidade de infiltração de água, a elevação dessa capacidade está diretamente ligada aos benefícios da implantação do SPD. Prando et al. (2010), desenvolveu um estudo visando estimar a capacidade de infiltração de água no solo comparando uma área com e sem escarificação, com uma com rotação de culturas por dois anos. Foi observado que a área escarificada teve os maiores valores na taxa de infiltração apenas no primeiro ano e que no decorrer do segundo ano, a área sob rotação de cultura teve os maiores valores da taxa de infiltração. Com isso os autores concluíram que o sistema radicular das espécies nas parcelas sem escarificação proporcionou melhor estado de agregação e estrutura ao solo, capaz de aumentar a taxa de infiltração de água, independente da cultura utilizada.

4.3 Formação de palha por meio do consórcio milho-forrageira

A implantação do consórcio entre milho e forrageira tem se provado uma alternativa viável para a melhoria da qualidade e quantidade do sistema de produção, pois além dos benefícios gerados pela produção da palhada, tem-se a oferta de matéria seca, dessa forma sendo uma estratégia de manejo adequada por possibilitar a recuperação, reforma ou até mesmo à implantação de pastagens e de maneira simultânea, além de manter a cobertura de solo possibilitando o desenvolvimento do SPD e ter o melhor aproveitamento dos insumos usados para a cultura do milho, a matéria acumulada em superfície vai favorecer o controle físico das plantas daninhas (SILVA et al., 2015).

Para as condições edafoclimáticas que impõe restrições hídricas e baixos percentuais de umidade relativa do ar como ocorre no Cerrado, a consorciação de culturas tem se mostrado bem eficiente quando comparado aos sistemas de monocultivos, pois a deposição de um maior volume de palha propicia melhorias quanto a variações de temperatura e erosões, pois a biomassa acaba servindo como barreira física contra a radiação solar e a energia cinética do impacto das gotas de chuva, conseqüentemente reduzindo o potencial de escoamento superficial (CABEZAS, 2011; CECCON et al., 2009).

A implantação de pastagens no sistema de produção de culturas anuais possibilita melhorias nos aspectos físicos do solo devido à ação combinada dos fatores: ausência da mecanização durante o ciclo fenológico das pastagens, atuação do sistema radicular agressivo das gramíneas descompactando e agregando as estruturas do solo e a elevação da atividade da biota do solo (MARCHÃO, 2009). As combinações dos fatores destacados anteriormente tiveram papel chave no avanço e manutenção, não somente do sistema de plantio direto, mas também na integração lavoura-pecuária nas áreas do Cerrado, pois a estratégia de consorciação do milho e forrageiras possibilitou a maximização da utilização das áreas de produção, resultando em melhorias das condições hídricas e estruturais do solo e acarretando em elevação da produtividade da região (SANTOS et al., 2014).

Os teores de matéria seca e de biomassa do sistema radicular resultantes do consórcio de culturas fazem com que haja melhorias nos aspectos físicos e conseqüentemente hídricos do solo, alterando os valores de resistência à penetração, densidade e porosidade total. O maior acúmulo de material nos horizontes mais superficiais do solo faz com que a taxa de infiltração e retenção de água se eleve e assim, reduza os processos erosivos naturais da intemperização (CHIODEROLI et al., 2012).

Um dos principais fatores que rege a sustentabilidade do sistema é a relação C/N das espécies forrageiras, pois dependendo das condições climáticas do local, os teores de umidade atrelados à temperatura pode acelerar o metabolismo dos organismos decompositores e assim acabar degradando o material da palhada e deixar o solo exposto as intempéries (JAKELAITIS et al., 2004).

Um estudo desenvolvido por Pacheco et al. (2011) estimou a relação C/N de três forrageiras após 200 dias da semeadura, as forrageiras *B. ruziziensis*, *B. brizantha* e *P. glaucum* apresentaram valores da relação C/N respectivamente de 34, 49 e 61 e constatou que entre as espécies de *Brachiaria*, a *B. brizantha* apresentou a maior relação C/N, justificando-

se pelo seu hábito de crescimento da espécie que reduz a capacidade de rebrota e eleva a presença de colmos em processo de senescência.

Almejando-se reduzir a exposição do solo as intempéries do clima na região do Cerrado sob SPD e/ou ILP, é necessário um aporte em média de 6 t ha^{-1} ano de material, para que os efeitos da taxa de decomposição não degradem toda a palhada (ALVARENGA et al., 2006), pois um volume de material inferior a essa média, vai ser degradada ao ponto em que as propriedades físicas e químicas sejam alteradas pela exposição ao clima (SEIDEL et al., 2014).

Segundo um estudo realizado por Timossi et al. (2007), visando os melhores valores de cobertura vegetal, foi mensurada o volume de biomassa das espécies *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* na época do manejo químico e foram obtidos valores superiores a 11 t ha^{-1} , o que é quase o dobro do que recomenda Alvarenga et al. (2006).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização do Experimento

O trabalho foi realizado na área experimental da Fazenda Barbosa, situada no município de Brejo - MA ($3^{\circ}41'07'' \text{ S}$ e $42^{\circ}45'4'' \text{ O}$). O solo da região é classificado como LATAOSSOLO AMARELO Distrocoeso (SANTOS et al., 2018)

Segundo Köppen a classificação climática da região é do tipo tropical quente e úmido (Aw). Apresenta temperatura média anual superior a 27° C , umidade relativa do ar anual de 73 a 79% e média anual de pluviosidade de 1835 mm, caracterizada por um período de chuva entre os meses de janeiro a junho e um período de seca que se estende de julho a dezembro (PASSOS et al., 2016).

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

A pesquisa foi conduzida em cinco áreas experimentais distintas, avaliando as características físicas do solo, em áreas de cultivo de soja sobre diferentes tempos de consorciação de milho com forrageira. Ressalta-se que o consórcio milho + *B. brizantha* ocorreu sempre no período da safra. Logo, os plantios de soja se referem ao número de anos em que se deixou de cultivar milho + *B. brizantha* na área e passou a cultivar soja nessas áreas. As unidades experimentais foram alocadas em delineamento inteiramente casualizado,

contando com cinco tratamentos e cinco repetições (pontos cardeais norte, sul, leste, oeste e centro de cada área avaliada), a seguir: T1 – Cultivo de soja em todas as safras; T2 – 1º ano de cultivo de soja em sucessão ao consórcio milho + *B. brizantha*; T3 – 2º ano consecutivo de cultivo de soja sobre a palhada do consórcio milho+ *B. brizantha*; T4 – 3º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *B. brizantha*; T5 – 4º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *B. brizantha*.

5.3 Implantação e condução do experimento

No período em que a soja estava na fase de florescimento, realizou-se a resistência à penetração do solo, bem como a coleta das amostras de solo nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm, que posteriormente foi feita a pesagem das amostras úmidas e após a secagem em estufa de ventilação forçada a 105°C por 24 horas, foi feita a pesagem novamente para a quantificação dos teores de umidade, em seguida foi feito o destorroamento e peneiramento das amostras para a quantificação dos teores de carbono orgânico total pelo método oxidação em via úmida com ácido sulfúrico e dicromato de potássio.

5.4 Resistência à penetração

A avaliação da resistência mecânica à penetração do solo ocorreu com o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR/STOLF (STOLF et al., 1983), que apresenta as seguintes características: massa de 4 kg com impacto em curso de queda livre de 0,40 m; cone com 0,0128 m de diâmetro, área de 1,29 cm² e ângulo sólido de 30°; e haste com diâmetro aproximado de 0,01 m. As avaliações foram realizadas em abril de 2022 na fazenda Barbosa com o solo próximo à capacidade de campo. Este equipamento tem como princípio a penetração de uma haste ao longo do perfil do solo mediante uma força que provém do impacto de um êmbolo que compõem o equipamento, o qual é solto de uma altura constante. Em cada uma das cinco parcelas, foi feita a resistência à penetração com cinco repetições, nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm. Para o cálculo da resistência a penetração do solo utilizou-se o método descrito por STOLF (1990) e STOLF (1991), com o embasamento na equação a baixo. Houve o agrupamento dos resultados de 10 em 10 cm até a camada de 40 cm.

$$R = \left(\frac{(M + m)g + \left(\frac{M}{M+m} * \frac{Mgh}{x} \right)}{A} \right) * 10$$

R: resistência do solo a penetração (Mpa); M: massa que provoca o impacto (kg); m: massa dos demais componentes (kg); g: aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$); h: altura de queda (cm); x: penetração por impacto (cm); A: areada base do cone (cm^2).

5.5 Análise dos teores de umidade

No mesmo momento em que foram feitas as medições da resistência do solo, foram coletadas amostras deformadas de solo, nas mesmas profundidades descritas anteriormente para resistência, as quais foram coletadas com o auxílio de uma cavadeira e em seguida colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e colocados em uma caixa de isopor, onde posteriormente foram encaminhadas ao laboratório de Química e Fertilidade para a pesagem do material úmido, em seguida com base no método da estufa, as amostras foram levadas à estufa de circulação forçada de ar a $105^{\circ}C$ durante 24h. Posteriormente, as amostras foram pesadas novamente, para assim, obter os valores da massa do solo seco e calcular a umidade do solo.

5.6 Análise do carbono orgânico total

A análise foi feita através da oxidação em via úmida com ácido sulfúrico e dicromato de potássio, realizando uma adaptação da metodologia (WALKLEY-BLACK, 1934). Utilizando os reagentes, dicromato de potássio ($K^2Cr^2O^7$), sulfato ferroso ($FeSO^4$), ácido sulfúrico (H^2SO^4) e difenilamina ($C^{12}H^{11}N$).

As amostras de solo foram inicialmente destorroadas e peneiradas numa malha de 2 mm. Em seguida, foi feita a pesagem das amostras em uma balança analítica padronizando alíquotas de 0,5g para cada amostra de solo em erlenmeyers de 125 ml. Na mesma balança foi feita a pesagem dos reagentes, sendo 49,13 g de dicromato de potássio, 203,69 g de sulfato ferroso e 1 g de difenilamina. Destacando-se que após a pesagem, foi feita a diluição dos reagentes em água destilada e ácido sulfúrico, sendo um litro de água destilada para o dicromato, dois litros de água destilada com adição de 20 ml de ácido sulfúrico para o sulfato ferroso e a difenilamina diluída em 50 ml de ácido sulfúrico. Em seguida, visando à padronização do sulfato ferroso, foi feita três provas em branco em erlenmeyers de 125 ml, onde se adicionou 10 ml de dicromato e 20 ml de ácido sulfúrico. Após o resfriamento, realizou-se o mesmo processo nas alíquotas de 0,5g de solo, dessa forma procedendo-se com

a titulação dos íons de dicromato em excesso com sulfato ferroso amoniacal para a determinação do carbono orgânico total.

O cálculo que embasou a determinação do COT partiu do pressuposto da reação do carbono orgânico com o dicromato de potássio em meio ácido, que apresenta essa reação quando é adicionado o ácido sulfúrico e o dicromato na amostra de solo: $2\text{Cr}^{2+}(\text{aq}) + 3\text{C}(\text{s}) + 16\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 4\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) + 8\text{H}_2\text{O}$. Em seguida, por meio dessa reação: $\text{Cr}^{2+}(\text{aq}) + 6\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 14\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 6\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 7\text{H}_2\text{O}$ é possível determinar o excesso de dicromato, e como os valores da concentração e o volume gasto na titulação do Fe^{2+} são conhecidos, podemos calcular o número de mols de Fe^{2+} para cada amostra. Por meio da reação, foi possível observar que para cada 6 mols de Fe^{2+} precisamos de 1 mol de dicromato de potássio, dessa maneira através de uma regra de três podemos calcular o número de mols de dicromato que restou da reação com o solo, pois como os valores de concentração (0,1667 mol/L) e volume (10 mL) iniciais do dicromato de potássio são conhecidos, através da subtração entre os valores iniciais e o valor após a reação foi possível calcular o quanto do dicromato de potássio reagiu com a amostra de solo. E assim para a determinação de quantos mols de carbono orgânico tinha na amostra, realizou-se outra regra de três, partindo da primeira reação onde foi observado que para cada 3 mols de carbono precisamos de 2 mols de dicromato, e assim concluiu-se o cálculo multiplicando os valores por 12 que é a massa molar do carbono para converter o número de mols para massa em gramas.

5.7 Processamento dos dados e análise estatística

Foi realizado o teste de normalidade e homogeneidade das amostras, sendo o teste de normalidade feito pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5% e o de homogeneidade feito pelo teste de Cochran a 5%, constatando que todas as variáveis foram normais e homogêneas, realizou-se a análise de variância e a comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. De acordo com Silva (2016), procedeu-se também, análise de correlação de Pearson e o teste (t), com o auxílio do programa ASSISTAT e empregou-se a classificação de interpretação conforme os coeficientes de correlação (r): insignificante (0,0-0,3); baixa (0,31-0,50), moderada (0,51-0,70), alta (0,71-0,90) e muita alta (0,91-1,0). Foi utilizado o programa computacional INFOSTAT e o SISVAR para a análise dos dados (DI RIENZO et al., 2018); (FERREIRA, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados da análise descritiva dos dados. Em geral, os valores médios da umidade gravimétrica do solo (US) apresentou-se maior nas profundidades de 0 - 20 cm, o que já era esperado, pois as coletas foram feitas no período chuvoso. Em relação aos valores médios da resistência a penetração (RP) apresentaram-se maiores nas profundidades de 20 - 40 cm, muito provavelmente causada pelo tráfego de maquinário. Já para os valores médios de (COT), apresentam-se maiores nas profundidades de 0 - 20 cm, que é atribuído os resultados ao maior volume de biomassa depositado nas camadas mais superficiais do solo.

Tabela 1 – Análise estatística descritiva da umidade do solo (US) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, resistência a penetração (RP) nas profundidades de 0-20 e 20-40 e os teores de carbono orgânico total (COT) de 0-20 e 20-40 cm.

Variáveis	Unidade	Média	D. P	E.P	CV (%)	Min	Max
US (0-20 cm)	Kg	8,95	2,50	0,50	27,99	0,44	12,48
US (20-40 cm)	Kg	8,40	3,52	0,70	41,80	1,43	20,42
RP (0-20 cm)	Mpa	1,74	0,37	0,07	21,42	1,25	2,63
RP (20-40 cm)	Mpa	2,63	0,88	0,17	31,44	1,25	5,38
COT (0-20 cm)	%	35,02	6,87	1,37	19,61	15,35	44,5
COT (20-40 cm)	%	30,60	6,53	1,31	21,35	14,12	41,8

CV= coeficiente de variação; D.P= desvio padrão; E.P= erro padrão.

Segundo a Tabela 1, observa-se uma alta variabilidade dos dados, para umidade do solo nas profundidades de 20 - 40 cm, apresentando um CV de 41,80%, e para os valores de resistência à penetração nas profundidades de 20 - 40 cm, o CV chegou a 31,44%. Já os valores de carbono orgânico total o CV apresentou o maior valor nas profundidades de 20 - 40 cm, chegando a 21,35 %. O CV é considerado baixo quando inferior a 10%, médio entre 10 e 20%, alto entre 20 e 30% e muito alto quando superior a 30% (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Os valores encontrados demonstram que a dispersão dos dados é considerada muito alta para a variável de US, já para variável RP os valores oscilaram de alta a muito alta com nas diferentes profundidades, e para o COT a dispersão dos dados pode ser considerada como média nas profundidades de 0 - 20 cm e alta nas profundidades de 20 - 40 cm.

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise estatística dos valores médios para os teores de umidade do solo, resistência do solo à penetração e dos teores de carbono orgânico total nas diferentes profundidades estudadas. Observa-se que não houve diferença significativa (p -valor $< 0,05$), entre os tratamentos nas duas profundidades para US, atribuiu-se os resultados o

fato do solo está úmido no momento da coleta. Para os valores de RP, houve diferença significativa (p -valor $< 0,05$), entre os tratamentos 1 e 4 nas profundidades de 0 – 20 cm, os demais tratamentos não diferiram significativamente entre si, mantendo essa não diferenciação significativa nas camadas mais profundas de 20 – 40 cm. Para os valores de COT, houve diferença significativa (p -valor $< 0,05$), nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm entre os tratamentos 1 e 5.

Tabela 2. Valores médios referentes à umidade do solo e resistência à penetração obtidos em sistema de plantio direto, em área cultivada com consórcio de milho com *B. brizantha* rotacionado com soja. Brejo – MA.

Tratamentos	US (%)	US (%)	RP (MPa)	RP (MPa)	COT (%)	COT (%)
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
1	8,49 A	6,68 A	2,08 A	3,52 A	24,96 C	24,61 B
2	8,95 A	9,49 A	1,66 AB	2,42 A	31,89 BC	26,91 AB
3	9,63 A	8,17 A	1,66 AB	2,63 A	38,65 AB	31,96 AB
4	7,23 A	9,76 A	1,39 B	2,28 A	38,43 AB	34,43 AB
5	10,47 A	7,94 A	1,94 AB	2,28 A	41,18 A	35,06 A
p-valor	0,4315	0,6642	0,0156	0,2597	0,0001	0,0176
F	1,01	0,61	4,25	1,35	15,03	4,11

1- Soja em todas as safras; 2- 1º ano de cultivo de soja em sucessão ao consórcio milho + *B. brizantha*; 3 -2º ano consecutivo de cultivo de soja sobre a palhada do consórcio milho+ *B. brizantha*; 4 – 3º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *B. brizantha*; 5 – 4º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *B. brizantha*. *Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%* de probabilidade.

Com relação aos valores de RP, acredita-se que como o revolvimento do solo em plantio direto é mínimo, pode ocorrer à formação de camadas compactadas pela distribuição das pressões exercidas na superfície do solo pelas máquinas e implementos (Cruz et al., 2003). Em relação aos teores de carbono orgânico total, observou-se que o tratamento 5 apresentou os maiores teores de COT e o tratamento 1 os menores teores, essa diferença se manteve nas duas profundidades 0 – 20 cm e 20 – 40 cm entre os tratamentos. Acredita-se que o fato dos maiores valores médios de COT ter sido verificado na camada de 0 – 20 cm, seja por conta da maior deposição de resíduos vegetais em superfície pelas plantas e ao fato do baixo revolvimento do solo (Faccin et al., 2016). A redução no teor de COT da superfície para as camadas subsequentes, deve-se a maior deposição e elevação na taxa de decomposição do material aportado sobre o solo. Os dados apresentados por esse trabalho corroboram com os observados por Centurion et al. (1985), Brady (1999) e Souza (2018).

Outro fator que pode justificar os elevados percentuais de COT nos demais tratamentos é que este sistema de consórcio é implantado anualmente no verão, e após a colheita do milho a forrageira permanece na área, assim o solo permanece coberto durante todo o ano,

favorecendo o desenvolvimento das raízes da forrageira e o acúmulo de material orgânico em subsuperfície. Além disso, quando a forrageira é dessecada para semeadura da safra seguinte os resíduos, após decomposição, podem incrementar nos teores das camadas mais superficiais (CAMPBELL et al., 2000; LOSS et al., 2011; CASTOLDI, 2011; PEGORARO et al., 2011; COSTA et al., 2015).

Na Tabela 3 estão apresentadas as correlações entre os atributos físicos do solo avaliados em cinco manejos nas profundidades 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Houve uma alta correlação significativa entre os teores de carbono orgânico total COT20 e COT40 (0,73), houve uma baixa correlação negativa, entre RP20 e MO40 (-0,48), houve uma baixa correlação negativa entre RP40 e MO40 (-0,48) e houve uma baixa correlação negativa entre RP20 e RP40 (-0,41). As demais variáveis não apresentaram significância a 5% de probabilidade, e não atenderam ao primeiro pressuposto de correlação ou grau de influência no teste de Pearson.

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson dos atributos físicos do solo, umidade do solo (US) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, resistência a penetração (RP) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e os teores de carbono orgânico total (COT) de 0-20 e 20-40 cm. Valores obtidos em sistema de plantio direto, em área cultivada com consórcio de milho com *B. brizantha* rotacionado com soja. Brejo – MA.

	US20	US40	COT20	COT40	RP20	RP40
US20	1,00					
US40	0,22	1,00				
COT20	0,00	0,13	1,00			
COT40	-0,01	0,08	0,73**	1,00		
RP20	0,19	-0,24	-0,37	-0,48*	1,00	
RP40	-0,20	-0,13	-0,36	-0,48*	0,41*	1,00

Um estudo desenvolvido por Viana et al. (2011), foi capaz de constatar que a matéria orgânica do solo exerce influência direta e indireta em todas as características do solo, de modo que a redução do carbono orgânico total está relacionada à degradação física dos solos, e seu incremento, através do manejo adequado modifica a capacidade de carga dos solos, que se tornam menos vulneráveis à compactação, que está intimamente ligada à densidade do solo e a resistência à penetração.

7 CONCLUSÃO

A comparação dos dados apresentou a existência de uma diferença significativa para os teores de COT, nas duas profundidades avaliadas entre os tratamentos com o 4º ano consecutivo de soja sobre a palhada do consórcio milho + *B. brizantha* e o tratamento com o cultivo de soja em todas as safras, provavelmente o maior período de tempo após o consórcio favoreceu a mineralização da matéria orgânica. Existiu diferença significativa para RP nas profundidades de 0 – 20 cm entre os tratamentos com o 3º ano consecutivo de soja com consórcio milho + *B. brizantha* comparado com o cultivo de soja em todas as safras. As demais variáveis não diferiram significativamente.

Existiu correlação entre as variáveis, apresentando uma alta correlação entre os teores de carbono orgânico total COT20 e COT40 (0,73), entre RP20 e MO40 (-0,48), entre RP40 e MO40 (-0,48) e entre RP20 e RP40 (-0,41). As demais variáveis não atenderam o pressuposto de correlação.

8 REFERÊNCIAS

- ALVES, D. F.; FRANCO JUNIOR, K. S.; BRIGANTE, G. P.; DIAS, M. S.; FERREIRA, N. S. Efeitos de diferentes fontes de material orgânico na fertilidade e umidade do solo, **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 4, p. 644-659, 2021. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p644-659>
- ALLEN, S.E., GRIMSHAW, H.M., ROWLAND, A.P. Chemical Analysis. In: MOORE, P.D. e CHAPMAN, S.B. (Eds.) *Methods in Plant Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1986, Cap. 6, 604 p.
- ANDERSON, R. L. Improving resource-use-efficiency with no-till and crop diversity, **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 1, n. 2, p. 1-4, 2016. <http://dx.doi.org/10.1017/S1742170516000090>
- 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 - MG: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006, (EMBRAPA Milho e Sorgo, Circular Técnica, 80),
- BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019. <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

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

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 12 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 881p.

CABEZAS, W, A, R, L, Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com *Urochloa ruziziensis* e eficiência do nitrogênio aplicado em cobertura, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v, 10, n, 2, p, 130-145, 2011.

CAMPBELL; C.A; ZENTNER, R.P.; SELLERS, F.; BIEDERBECK, V.O.; MCCONKEY, B.G.; BLOMERT, B. JEFFERSON, P.G. Quantifying short-term effects of crop rotations on soil organic carbon in southwestern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v.80, p. 193-202, 2000.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agrícola**, v. 70, n. 4., p. 274-289, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>

CASTOLDI, G. Nitrogênio no sistema solo-planta após a dessecação de Brachiarias, 2011. 83 p. (**Dissertação de Mestrado**) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Cruz, A.C.R.; Pauletto, E.A.; Flores, C.A.; Silva, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1105-1112, 2003.

CECCON, G.; KURIHARA, C, H.; STAUT, L, A, Manejo de *Urochloa ruziziensis* em consórcio com milho safrinha e rendimento de soja em sucessão, **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v, 19, n, 113, p, 4-8, 2009.

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

CHIODEROLI, C, A,; DE MELLO, L, M,; GRIGOLLI, P, J,; FURLANI, C, E,; SILVA, J, O,; CESARIN, A, L, Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e *Urochloa*, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v, 16, n, 1, p, 37-43, 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Grãos, Safra 2021/2022. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Segundo levantamento, fevereiro 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 16 de agosto, 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Grãos, Safra 2021/2022. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Boletim de grãos, dezembro 2020. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>> Acesso em: 17 de agosto, 2022.

CONYERS, M.; RIJT, V. V. D.; OATES, A.; POILE, G.; KIRKEGAARD, J. A.; KIRKBY, C. The strategic use of minimum tillage within conservation agriculture in southern New South Wales, Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 193, p. 17-26, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.021>

COSTA, N. R.; ANDREOTTI M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Campo Grande, MS. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Campo Grande, EMBRAPA -CNPGC, 1984. 31p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 21).

FAOSTAT – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Grãos: Arroz, Cevada, Milho, Soja, Trigo. Safra 2019/2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso: 17 de agosto, 2022.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI. E. M.; SERRA, A . P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. Faculdade de Agronomia Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.12, p.2000-2009, dez. 2016

Ferreira, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FRANCHINI, J. C.; HOFMMAN-CAMPO, C. B.; TORRES, E. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic Composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in Acid Oxisol. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. v. 34, p. 2045-2058, 2003. <https://doi.org/10.1081/CSS-1200232>

GARCIA, J. C.; BONETI, J. E. B.; AZANIA, C. A. M.; BELUCI, L. R.; VITORINO, R. Fontes de adubação potássica na lixiviação de potássio em neossolo quartzarênico. **Revista Eletrônica Thesis**, v. 25, p. 76-89, 2015.

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, p. 1-8, 2019. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2611>

INDORIA, A. K.; SRINIVASA, R. C. H.; SHARMA, K. L.; SAMMI, R. K. Conservation agriculture – a panacea to improve soil physical health. **Current Science**, v. 112, n.1, p. 52–61, 2017. <https://doi.org/10.18520/cs/v112/i01/52-61>

- LOPES, A. S.; GUIMARÃES, G. L. R. A career perspective on soil management in the cerrado region of Brazil. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in agronomy**. London: Academic Press, 2016. v. 137, p. 1-72.
- LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado Goiano**. (Tese de Doutorado). Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011. 122p.
- 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-*Urochloa* (*Urochloa decumbens*), **Planta Daninha**, Viçosa, v, 22, n, 4, p, 553-560, 2004.
- KODZWA, J. J.; GOTOSA, J.; NYAMANGARA, J. Mulching is the most important of the three conservation agriculture principles in increasing crop yield in the short term, under sub humid tropical conditions in Zimbabwe. **Soil & Tillage Research**, v. 197, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104515>
- King, A. E.; Ali, G. A.; Gillespie, A. W.; Wagner, R. C. Soil organic matter as catalyst of crop resource capture. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, n. 50, p. 1-8, 2019.
- MARIA, I. C.; BERTOL, I.; DRUGOWICH, M. I. Práticas conservacionistas do solo e da água In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (Org.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 527-587.
- MARTINS, M. F. L. **Velocidade de decomposição da fitomassa do crambe em latossolo argiloso sob sistemas de manejo**. 2016. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.
- MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v, 44, n, 8, p, 1011-1020, 2009.
- MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. C.; GUIMARÃES, G. P.; MOURA, W. M.; ANDRADE, F. V. Biological nitrogen fixation by legumes and N uptake by coffee plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 1-10, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160178>
- MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. Plantio Direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira, Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 73 p.
- MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 85-91, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.02.007>
- NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v. 259, p. 149-150, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003>

NUNES, A. L. P.; PIT, E.; RALISCH, R. Compactação em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 6, n. especial, p. 104-113, 2017.

OLIVEIRA NETO, A. A. A produtividade da soja: análise e perspectivas. **Compêndio de estudos Conab**, v.10, p. 1 – 35, 2017.

ORTIZ, J. A. M. **Propriedades físicas do solo em sistema plantio direto: associação com a produtividade da soja e variações em relação à mata nativa**. 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; ASSIS, R. L. D.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1787-1799, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500033>

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R. da; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C.S. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, v.21, n.2, p.261-273, 2011.

PISSINATI, A.; MOREIRA, A.; SANTORO, P. H. Biomass Yield and Nutrients Concentration in Shoot Dry Weight of Winter Cover Crops for No- Tillage Systems, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 20, p. 2292-2305, 2016. <https://doi.org/10.1080/001T03624.2016.1243711>

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística Aplicada a Experimentos Agrônômicos e Florestais. Piracicaba: FEALQ, v. 11, 2002. 309 p.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 693-700, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300010>

RAIESI, F.; KABIRI, V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 198-207, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.061>

RESENDE, J. M. do A. **Caracterização Pedométrica De Atributos De Argissolos Coesos Do Leste Maranhense**. 83 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

RODRIGUES, R. B.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V., BUZETTI, S.; BERTOLIN, D. C.; PINA, T. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, v.59, n. 3, p. 380-385, 2012.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L. dos; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1466-1475, 2016.

SANTOS, F. C.; KURIHARA, C. H.; DE 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, Circular Técnico (Infoteca-E), 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, Paraná: Mecenaz, v. 1, 314p., 2009.

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, S.; FERNANDO, I.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Urochloa brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo, **Semina- Ciências Agrárias**, Londrina, v, 35, n, 1, p, 55-66, 2014,

SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FERNANDES, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600002>

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 *Urochloa*, **Ciência Rural**, Santa Maria, v, 45, n, 8, p, 1394-1400, 2015.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SOUZA, E.D. de; SILVA, F.D. da; PACHECO, L.P.; LAROCA, J. dos S.V.; SOUZA, J.M.A. de; BONETTI, J. de A. Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. In: SOUZA, E.D.; SILVA, F.D.; ASSMANN, T.S.; CARNEIRO, M.A.C.; CARVALHO, P.C.F.; PAULINO, H.B. (Org.). **Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão: Copiart, 2018, v. 1, p. 107-120.

STOLF, R. Formúlas de transformação dos dados do penetrômetro de impacto em força/unidade de área. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, 1990, Piracicaba. **Anais...** v. 2, p. 823-836.

STOLF, R. Operação do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR., 1984. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n.2).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmula de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI Neto, V.L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. STAB, 1:18-23, 1983. [(Reeditado: Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim, 1)]

TIEMANN, L. K.; GRANDY, A. S.; ATKINSON, E. E.; SPIOTTA, E. M.; DANIEL, M. D. M. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. **Ecology Letters**, v. 18, n. 8, p. 761-771, 2015. <https://doi.org/10.1111/ele.12453>

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

The jamovi project (2022). *jamovi*. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>. R Core Team (2021). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01). Kim, S. (2015). *ppcor: Partial and Semi-Partial (Part) Correlation*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=ppcor>.

Viana, E.T.; Batista, M.A.; Tormena, C.A.; Costa, A.C.S.; Inoue, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011, 35, 6, 2105-2114.

WARD, P. S.; BELL, A. R.; DROPELMANN, K.; BENTON, T. Early adoption of conservation agriculture practices: Understanding partial compliance in programs with multiple adoption decisions. **Land Use Policy**, v.70, n. 1, p. 27-37, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.001>

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.

