



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

ANA CLARA CARVALHO COSTA

**CONTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE MILHO (ZEA MAYS L.) E FEIJÃO-
CAUPI (VIGNA UNGUICULATA L. WALP) NA COMPACTAÇÃO DO SOLO
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CULTIVO MÍNIMO**

MOSSORÓ

2024

ANA CLARA CARVALHO COSTA

**CONTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE MILHO (ZEA MAYS L.) E FEIJÃO-
CAUPI (VIGNA UNGUICULATA L. WALP) NA COMPACTAÇÃO DO SOLO
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CULTIVO MÍNIMO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em AGRONOMIA.

Orientador: Nome Completo, Prof. Dr.
Joaquim Odilon Pereira

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C839c Carvalho Costa, Ana Clara .
CONTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE MILHO (ZEA MAYS
L.) E FEIJÃO-CAUPI (VIGNA UNGUICULATA L. WALP) NA
COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO
E CULTIVO MÍNIMO / Ana Clara Carvalho Costa. -
2024.
39 f. : il.

Orientador: Joaquim Odilon Pereira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2024.

1. compressibilidade do solo. 2. índice de
vazios. 3. oedometria. 4. conservação do solo. I.
Odilon Pereira, Joaquim, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com
AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência Bibliotecária: Keina
Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA CLARA CARVALHO COSTA

**CONTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE MILHO (ZEA MAYS L.) E FEIJÃO-
CAUPI (VIGNA UNGUICULATA L. WALP) NA COMPACTAÇÃO DO SOLO
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CULTIVO MÍNIMO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em AGRONOMIA.

Defendida em: 25 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira (UFERSA)
Presidente

Francisco Éder Rodrigues de Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador

João Luiz Lima (UFERSA)
Membro Examinador

*À minha mãe, Ana Maria de Carvalho,
cuja força e amor sempre me guiaram.
(In memoriam)*

*Aos meus avós Maria Francisca de Araújo Costa,
Raimundo Nonato da Costa e Maria Nyedja de
Carvalho, aos meus pais Raimundo José Araújo
Costa e José Raimundo Araújo Costa, meus
irmãos Mona Lisa, Renata, Bruna, Álvaro e
Ramon e toda a minha família e amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me proporcionar força, sabedoria e inspiração ao longo de toda a minha jornada. Sua presença é um guia constante, iluminando meu caminho em momentos de dúvida e me dando coragem diante dos desafios.

À minha mãe, Ana Maria de Carvalho, eterna fonte de força e inspiração. Sua dedicação, carinho e sabedoria moldaram meu caminho e sempre foram meu farol.

Sou grata aos meus avós, que representam a base da nossa família, transmitindo valores e amor incondicional que carrego comigo. Agradeço também aos meus tios Raimundo, Alcineide, Geruza e Francisco, por seu apoio e carinho, ensinando-me o valor da dedicação e da persistência. Tudo o que sou e conquistei deve a vocês.

Meus irmãos e irmãs, Álvaro, Renata, Bruna, Mona Lisa e Ramon, agradeço por estarem sempre ao meu lado, compartilhando momentos de alegria e enfrentando desafios juntos. A toda a minha família, meu eterno porto seguro, que me fortalece com amor e união em cada etapa dessa jornada.

Agradeço ao meu companheiro de vida, Denis Fernandes, e sua família, por cada passo dado nesta trajetória. Seu amor, apoio e paciência foram fundamentais para eu superar desafios e continuar acreditando em mim mesma.

Agradeço a amizade do meu melhor amigo e irmão de coração, Leonardo Cordeiro. Sua presença em minha vida tem sido um presente divino. Sua amizade, apoio incondicional e conselhos sinceros me ajudaram a enfrentar os desafios com mais leveza e confiança. Sou eternamente grata por nossa parceria, por tudo o que compartilhamos.

À Lumara Eva, minha filha de coração, por iluminar meus dias com seu carinho e por me ensinar que o amor pode ser multiplicado. Sua alegria e leveza são fontes de inspiração. E à minha mãe de coração, Elioneide, pelo cuidado, apoio incondicional e por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos de incerteza.

Agradeço a Deus por me presentear com amizades que dão sentido à vida. A cada um de vocês - Kamila, Felício, Ana Beatriz, Rosinelly, Edilton, Guilherme e Kledson - sinto profunda gratidão por estarem sempre ao meu lado, amo vocês.

Agradeço a todos os meus professores, especialmente ao meu orientador, Joaquim. Sua orientação e apoio foram essenciais para meu crescimento, e sou imensamente grata pelo conhecimento compartilhado e pela dedicação em me guiar.

Por fim, agradeço à banca examinadora, cuja valiosa contribuição e sugestões enriqueceram este trabalho. Sua análise crítica foi fundamental para aprimorar meu estudo.

Somos levados a tomar milhões de
decisões durante toda a vida,
e elas serão responsáveis pelo nosso
presente e nosso futuro,
assim como serão responsáveis pela
nossa felicidade.
Vivemos vários ciclos em nossa jornada,
que nos servem de aprendizado.
Através de nossas escolhas e suas
consequências, tudo será traduzido em
autoconhecimento.
A felicidade é feita de conquistas,
da busca de "novos ares",
da busca de novos conhecimentos,
da busca pela excelência do saber,
e da alegria de ser o que
eu queria ser "quando eu crescer".

Edilton Costa

RESUMO

Os resíduos culturais utilizados como cobertura morta no solo influenciam a estrutura do solo e os processos agroecossistêmicos, potencialmente aumentando a produção agrícola. O objetivo principal desse trabalho é avaliar o efeito dos resíduos da cultura de milho e feijão-caupi em sistema de plantio direto e cultivo mínimo na compressibilidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo da região semiárida. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada em Alagoinha, zona rural de Mossoró/RN, com coordenadas geográficas 5°11' S e 37°20' W. Foi realizada a coleta de amostras para a determinação da densidade do solo e da compressibilidade. A matéria orgânica do solo e a determinação da curva de compactação foi avaliada segundo a metodologia da Embrapa (1997), utilizando amostras de solo indeformadas coletadas antes e após a colheita. Com os resultados obtidos neste estudo pode-se chegar à conclusão de que o sistema de plantio direto, aplicado à região semiárida, demonstrou ser eficaz no aumento do teor de água no solo, resultado da cobertura proporcionada pelos resíduos de culturas deixados na superfície. Esse manejo contribui para a conservação hídrica, crucial para a sustentabilidade agrícola em regiões com escassez de água. Em relação ao acúmulo de carbono orgânico, o sistema de cultivo mínimo apresentou maior eficiência na camada superficial do solo (0 a 5 cm), em comparação ao plantio direto, evidenciando sua relevância na manutenção da matéria orgânica, fator essencial para a fertilidade e a saúde do solo. Essas conclusões ressaltam a importância do manejo adequado de resíduos culturais e das práticas de conservação de solo, especialmente em ambientes semiáridos, contribuindo para o aumento da sustentabilidade e produtividade agrícola a longo prazo.

Palavras-chave: compressibilidade do solo. índice de vazios. oedometria. conservação do solo

ABSTRACT

Crop residues used as mulch influence soil structure and agroecosystem processes, potentially increasing agricultural production. The main objective of this study was to evaluate the effect of corn and cowpea crop residues in no-tillage and minimum tillage systems on soil compressibility in a Red-Yellow Latosol in the semiarid region. The study was conducted at the Rafael Fernandes Experimental Farm, located in Alagoinha, rural area of Mossoró/RN, with geographic coordinates 5°11' S and 37°20' W. Samples were collected to determine soil density and compressibility. Soil organic matter and compaction curve were evaluated according to the Embrapa methodology (1997), using undisturbed soil samples collected before and after harvest. The results obtained in this study show that the no-tillage system, applied to the semiarid region, has proven to be effective in increasing soil water content, as a result of the coverage provided by crop residues left on the surface. This management contributes to water conservation, which is crucial for agricultural sustainability in regions with water scarcity. Regarding the accumulation of organic carbon, the minimum tillage system was more efficient in the surface layer of the soil (0 to 5 cm), compared to no-tillage, demonstrating its relevance in maintaining organic matter, an essential factor for soil fertility and health. These conclusions highlight the importance of adequate crop residue management and soil conservation practices, especially in semiarid environments, contributing to increased long-term agricultural sustainability and productivity.

Keywords: soil compressibility. index of voids. oedometry. soil conservation

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Valores do teor de água, teor de carbono e densidade em Cultivo Mínimo...29
Tabela 2	–	Valores do teor de água, teor de carbono e densidade em plantio direto.....30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Processo de Compactação de Solo Agrícola	18
Figura 2	– Efeitos da compactação sobre o desenvolvimento radicular das plantas	19
Figura 3	– Sistema de Plantio Direto.....	20
Figura 4	– Cultivo mínimo do solo utilizando escarificador.....	23
Figura 5	– Constituição Trifásica do Solo.....	25
Figura 6	– Camadas de solo analisadas.....	26
Figura 7	– Coleta de solo de amostras indeformada.....	27
Figura 8	– Método do quadrado.....	27
Figura 9	– Oedometria.....	28
Figura 10	– Índice de vazios estrutural em SCM com densidade 1.2 g/cm ³	31
Figura 11	– Índice de vazios estrutural em SPD com densidade 1.2 g/cm ³	31
Figura 12	– Índice de vazios estrutural em SCM com densidade 1.4 g/cm ³	32
Figura 13	– Índice de vazios estrutural em SPD com densidade 1.4 g/cm ³	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MOS	Matéria Orgânica do Solo
SPD	Sistema de Plantio Direto
SCM	Sistema de Cultivo Mínimo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO GERAL.....	16
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. COMPACTAÇÃO DO SOLO	17
3.1.1. Principais causas da compactação do solo.....	18
3.1.2. Efeitos da compactação do solo	19
3.2. SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	20
3.2.1. Vantagens da implantação do Plantio Direto	21
3.2.1. Limitações da implantação do Plantio Direto	22
3.3. CULTIVO MÍNIMO	23
3.3.1. Vantagens do sistema de cultivo mínimo	24
3.4. ÍNDICE DE VAZIO DO SOLO	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos culturais utilizados como cobertura morta no solo influenciam a estrutura do solo e os processos agroecossistêmicos, potencialmente aumentando a produção agrícola. Esses resíduos, quando aplicados como cobertura ou matéria orgânica, são essenciais para a formação da estrutura do solo. A matéria orgânica do solo (MOS) tem a capacidade de alterar as relações físico-químicas do solo, modificando a disponibilidade de macro e micronutrientes, e promovendo interações entre microrganismos do solo e sua fauna edáfica (DHALIWAL et al., 2019). Ela atua como um agente cimentante na formação de agregados, melhorando a resistência e a porosidade estrutural do solo, além de estimular a atividade microbiana.

A aplicação de resíduos culturais na superfície do solo pode aumentar o carbono orgânico do solo, melhorando suas propriedades físicas e fornecendo nutrientes e energia para as populações microbianas. O incremento do carbono orgânico do solo depende de diversos fatores, sendo a adição de matéria orgânica um dos mais importantes. Resíduos provenientes da própria colheita são especialmente adequados (COPPENS et al., 2007). A matéria orgânica fresca nos resíduos pode ajudar a mitigar a compactação do solo e ajustar a carga aplicada ao solo, o que é crucial para o planejamento agrícola com um teor de água adequado (ARVIDSSON et al., 2003). A redução da densidade do solo, por meio da retenção de resíduos de culturas e pastagens ou do uso de sistemas de cultivo apropriados, também é um fator relevante (HAMZA e ANDERSON, 2005).

Na agricultura utilizando o sistema de plantio direto (SPD), a compactação do solo é causada principalmente pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas, além do uso de sistemas de produção pouco diversificados podendo reduzir expressivamente a produtividade das culturas, principalmente em condições de baixa disponibilidade hídrica. Por meio de experimentos de campo, é possível desenvolver sistemas de rotação de culturas capazes de preservar e/ou melhorar a qualidade física do solo ao longo do tempo, evitando o aparecimento de camadas compactadas (FONSECA, 2019).

O sistema de cultivo mínimo, também conhecido como cultivo conservacionista ou cultivo reduzido, é uma prática agrícola que visa reduzir o número de operações de preparo do solo para o plantio. Em vez de usar arados e grades para revolver intensamente o solo (como no preparo convencional), no cultivo mínimo as intervenções são limitadas para preservar a estrutura natural do solo e reduzir a compactação.

O cultivo mínimo e o plantio direto são sistemas de manejo que podem ser bastante vantajosos no semiárido, uma região caracterizada pela baixa disponibilidade de água, solos geralmente mais frágeis e uma alta vulnerabilidade à erosão. Ambos os sistemas podem ajudar a melhorar a produtividade e a sustentabilidade agrícola no semiárido, mas é preciso adaptá-los às condições específicas da região. Essas técnicas, quando bem adaptadas, podem transformar o semiárido em uma região mais produtiva e sustentável, garantindo maior resiliência contra a seca e melhorando a saúde do solo a longo prazo.

A qualidade do solo é significativamente influenciada pela quantidade de matéria orgânica, especialmente na camada superficial exposta à ação antrópica. Práticas de manejo que visam manter ou aumentar a matéria orgânica incluem a redução da intensidade do preparo do solo e o uso de culturas que maximizem a quantidade de resíduos na superfície (BAYER et al., 2000). Contudo, as taxas de acumulação de carbono orgânico em sistemas de plantio direto variam amplamente, devido à influência do manejo do solo, mineralogia, condições climáticas, quantidade de resíduos e fornecimento de nitrogênio (FRANZLUEBBERS, 2005). Para o sucesso desses sistemas, é fundamental implantar culturas que produzam uma quantidade adequada de palha para a cobertura do solo (ANDREOTTI et al., 2008).

A matéria orgânica também estimula o desenvolvimento e a atividade da comunidade microbiana do solo, além de poder incorporar micróbios exógenos no ambiente do solo. Ela melhora a estrutura física do solo e contribui para o sequestro de carbono (FOLEY & COOPERBAND, 2002). Segundo Gupta e Allmaras (1987), a compressibilidade é um conceito amplo que inclui consolidação e compactação do solo. A consolidação refere-se à compressão de solos saturados, enquanto a compactação se refere à compressão de solos não saturados. O avanço das máquinas agrícolas nas últimas décadas levantou a questão da compressibilidade mecânica máxima aceitável e da capacidade de tráfego dos solos aráveis (HORN, 1993).

A suscetibilidade do solo à compactação depende de suas propriedades físico-mecânicas, que são influenciadas pelo tipo de solo, teor de água, carga aplicada e matéria orgânica, além de sua condição anterior. Portanto, é crucial estudar a interação entre matéria orgânica livre e ligada aos constituintes minerais, considerando a qualidade e quantidade de resíduos culturais, a pressão aplicada no solo e o teor de água, para que os produtores possam planejar de forma eficiente os sistemas de cultivo em suas propriedades agrícolas. (O'SULLIVAN, 1992; ETANA et al., 1997; PEREIRA et al., 2007)

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito dos resíduos da cultura de milho e feijão-caupi em sistema de plantio direto e cultivo mínimo na compressibilidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo da região semiárida.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento compressivo do solo sob amostras não deformadas nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em laboratório.
- Avaliar o efeito dos resíduos incorporados ao solo, na sua densidade e porosidade estrutural.
- Avaliar o teor de água e carbono orgânico após a aplicação dos sistemas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. COMPACTAÇÃO DO SOLO

De acordo com Freitas (2015), a compactação do solo ocorre devido à pressão aplicada durante o uso de máquinas e implementos, pisoteio de animais, ou trabalho com discos na mesma profundidade. Essa degradação estrutural manifesta-se de duas maneiras: na superfície, como formação de crostas, o que pode ser evitado ao manter a cobertura vegetal que protege o solo e reduz sua desagregação; ou abaixo da superfície, como resultado de forças externas e internas.

A falta de interação entre processos físicos, químicos e biológicos leva à redução do volume de poros, principalmente macroporos, o que impede o movimento da água e o crescimento das raízes, caracterizando a compactação do solo. Este processo é influenciado por fatores que variam a suscetibilidade ao problema, como a umidade do solo, o uso ou regulação inadequada de implementos, cultivo excessivo e a ausência de cobertura vegetal. (FREITAS, 2015).

A compactação do solo ocorre quando o volume de uma massa de solo é reduzido, diminuindo o espaço dos poros. No entanto, os poros maiores são os primeiros a serem reduzidos, até que o solo se torne resistente o suficiente para suportar a pressão aplicada. Essa redução no tamanho e na distribuição dos poros maiores afeta a retenção e o fluxo de água e ar.

A compactação, um efeito indesejado da mecanização, diminui a produtividade biológica do solo e, em casos extremos, pode torná-lo inadequado para o crescimento das plantas (HILLEL, 1998, 2007 apud REICHERT et al.).

Um dos principais fatores responsáveis pela perda de produtividade das lavouras é a compactação do solo. À medida que esse processo se intensifica, a capacidade de retenção de água diminui, afetando negativamente o rendimento das culturas. É essencial que o produtor monitore o grau de compactação conforme as condições do solo (LANZANOVA *et al.*, 2007).

De acordo com Silva (2019), diversos processos podem levar ao aumento da densidade do solo, sendo causados por fatores como:

- Aumento da resistência do solo à cargas aplicada sobre ele;
- Redução da porosidade;

- Diminuição da permeabilidade;
- Redução da disponibilidade de nutrientes e água.

Figura 1 – Processo de Compactação de Solo Agrícola



Fonte: Autoria Própria, 2024

A Figura 1 ilustra uma das principais causas da compactação do solo, que é o manejo inadequado realizado pelo homem ao utilizar máquinas e implementos agrícolas. Isso difere do adensamento, que é o rearranjo natural de agregados e partículas, resultando no aumento da densidade do solo durante o processo de sua formação (EMBRAPA, 2005).

3.1.1. Principais causas da compactação do solo

A compactação do solo ocorre, em parte, devido à pressão exercida sobre sua superfície, causada pelo trânsito de máquinas agrícolas e o uso frequente de implementos. Isso destrói os agregados do solo, reduzindo sua porosidade, especialmente em solos mais argilosos ou manejados com altos níveis de umidade (SILVA; CABEDA, 2006).

Solos arenosos e secos também são suscetíveis à compactação, especialmente sem o controle adequado do tráfego de máquinas (ARAÚJO, 2004). Segundo Giarola e Santos (2016), durante o preparo do solo, grande parte da energia é usada para destruir agregados em diferentes profundidades. O tráfego subsequente de máquinas pressiona as partículas do solo, criando um arranjo compacto. Quanto maior a pulverização durante o preparo, maior o risco de compactação.

Segundo Richart et. al (2004), algumas condições que favorecem a compactação incluem:

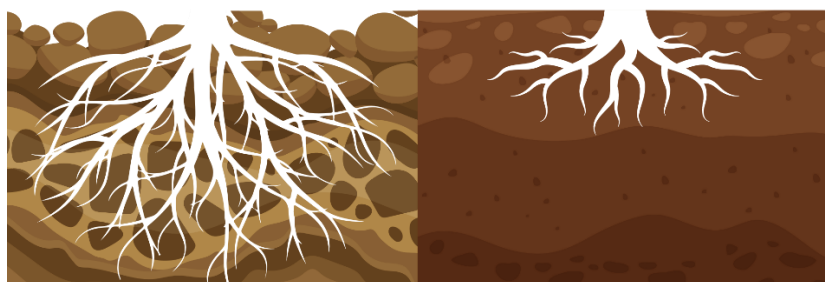
- **Impacto da gota de chuva:** A gota de chuva pode compactar e desagregar o solo descoberto ao longo do tempo. Para entender os efeitos dessa compactação, é importante analisar características como intensidade, diâmetro e velocidade das gotas.

- **Operações de preparo do solo:** O preparo do solo visa melhorar as condições para a germinação e crescimento das plantas, facilitar o movimento de água e ar, controlar plantas indesejáveis e auxiliar no manejo de resíduos culturais. No entanto, pode ter efeitos negativos, como a redução da rugosidade do solo, formação de camadas compactadas e aumento da erosão hídrica, limitando o crescimento das raízes e a produção das culturas.
- **Tráfego de máquinas agrícolas:** A compactação do solo é intensificada pela modernização da agricultura, com máquinas mais pesadas e uso intenso do solo, sem aumento proporcional no tamanho dos pneus, resultando em alterações físicas significativas.
- **Restrição ao movimento de água:** Uma das consequências mais prejudiciais da compactação, que afeta significativamente a drenagem durante as operações agrícolas.
- **Outros fatores envolvidos na compactação:** Textura, umidade, matéria orgânica, densidade, porosidade, estrutura, compressibilidade, resistência à penetração e modelagem da compactação do solo.

3.1.2. Efeitos da compactação do solo

A compactação do solo é um fenômeno que ocorre quando as partículas do solo são pressionadas umas contra as outras, reduzindo o espaço entre elas e diminuindo a porosidade. Esse processo, geralmente causado pelo tráfego excessivo de máquinas agrícolas, pelo pisoteio de animais ou pelo manejo inadequado do solo, traz uma série de impactos negativos.

Figura 2 – Efeitos da compactação sobre o desenvolvimento radicular das plantas



Fonte: Autoria Própria, 2024

A figura 2 mostra que a compactação do solo é um problema significativo que afeta negativamente o desenvolvimento radicular das plantas. Os principais efeitos são a dificuldade de penetração das raízes, menor respiração radicular e absorção de nutrientes, estresse hídrico, além do aumento da suscetibilidade a patógenos, onde raízes mal desenvolvidas e estressadas são mais suscetíveis a doenças e pragas, comprometendo ainda mais a saúde da planta (SÁ E SANTOS JUNIOR, 2005).

Em resumo, a compactação do solo prejudica o desenvolvimento radicular, afetando a saúde, a produtividade e a resistência das plantas a estresses ambientais. A adoção de práticas de manejo que minimizem a compactação, como o uso de pneus adequados, rotação de culturas e sistemas de cultivo que mantenham a estrutura do solo, é essencial para promover um ambiente saudável para o crescimento das raízes.

3.2. SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

No Brasil, o Sistema de Plantio Direto (SPD) começou na década de 1970, no Sul, com o objetivo de reduzir a erosão e minimizar os impactos do cultivo convencional, que utilizava fogo e práticas como aração e gradagem, resultando em erosão, perda de nutrientes e queda da produtividade. No entanto, a adoção do SPD enfrentou obstáculos, como a falta de herbicidas eficientes, maquinário adequado e informações sobre pragas e doenças. Somente no início dos anos 1990, com o desenvolvimento de tecnologias específicas e apoio público e privado, o SPD se expandiu significativamente. (SALTON, HERNANI e FONTES, 1998)

O plantio direto é uma técnica de manejo que promove a melhoria da estrutura do solo através do uso de plantas, que formam bioporos de diferentes tamanhos. Esses bioporos facilitam a difusão de gases, a movimentação da água e o desenvolvimento das raízes no solo (BERTOLLO e LEVIEN, 2019).

Figura 3 – Sistema de Plantio Direto



Fonte: EMBRAPA, 2020.

É um sistema composto por técnicas integradas que visam otimizar o uso do solo, da água e do clima, para maximizar o potencial genético das culturas. Esse sistema, que combina a ausência de revolvimento do solo, a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura para a formação de palhada, e o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas, requer adaptações específicas conforme as condições locais (SILVA FILHO, 2005).

O plantio direto é uma técnica que se adapta bem ao semiárido, pois permite que as sementes sejam plantadas diretamente no solo coberto por restos de culturas anteriores, reduzindo o revolvimento do solo e mantendo-o sempre protegido. Essa cobertura ajuda a conservar a umidade, diminuir a evaporação e reduz o estresse térmico das plantas, além de proteger o solo contra a erosão. A presença contínua de matéria orgânica na superfície melhora a estrutura e fertilidade do solo, promovendo uma agricultura mais sustentável em condições de seca. (SENAR, 2022)

No entanto, o plantio direto no semiárido enfrenta desafios como a disponibilidade limitada de resíduos vegetais para cobertura, e o custo elevado de maquinário específico, o que pode dificultar a adoção por pequenos agricultores. Estratégias como a rotação de culturas, uso de plantas de cobertura adaptadas à seca e o manejo eficiente da água, incluindo a captação da chuva, são essenciais para o sucesso dessa prática na região semiárida.

Além desses, o preconceito de alguns agricultores com o plantio direto está relacionado à desconfiança e à falta de conhecimento sobre a técnica, já que a prática tradicional envolve o preparo intensivo do solo, algo que parece mais seguro em condições de seca e solos pobres. Muitos acreditam que o plantio direto pode não ser eficaz para culturas de sequeiro e enxergam dificuldades no custo inicial e na necessidade de maquinário específico. A ausência de suporte técnico também alimenta essa resistência, tornando essencial o investimento em capacitação e assistência para demonstrar os benefícios do plantio direto na conservação da umidade e na sustentabilidade agrícola do semiárido.

3.2.1. Vantagens da implantação do Plantio Direto

O Sistema de Plantio Direto (SPD) oferece diversas vantagens em relação ao sistema de cultivo convencional, principalmente em termos de sustentabilidade e produtividade. Essas vantagens tornam o SPD uma prática eficiente para aumentar a produtividade, melhorar a saúde do solo e reduzir o impacto ambiental da agricultura.

De acordo com Passos, Alvarenga e Santos (2018), quando adotado de forma completa, o sistema de plantio direto oferece inúmeras vantagens ao produtor, podendo ser mencionados:

- Redução nos custos de produção devido ao menor consumo de diesel;
- Melhoria na fertilidade do solo, principalmente pelo aumento da MOS viva e morta;
- Melhoramento das condições físicas do solo, favorecendo a estruturação dos agregados;
- Diversificação do sistema produtivo, reduzindo perdas naturais da atividade agrícola;
- Maior ciclagem e reciclagem de nutrientes, aumentando a eficiência no uso de fertilizantes e corretivos;
- Melhoria da umidade do solo, conferindo maior resiliência e estabilidade produtiva diante de períodos de seca;
- Possibilidade de usar leguminosas em sistemas rotação de culturas, trazendo benefícios como a Fixação Biológica de Nitrogênio e economia de nitrogênio mineral;
- Sistema sustentável, com potencial de fixação de gases de efeito estufa em rotação de culturas;
- Menor infestação de plantas daninhas, economizando em herbicidas devido ao bloqueio mecânico da palhada e aos benefícios da rotação de culturas.

3.2.1. Limitações da implantação do Plantio Direto

De acordo com o SENAR(2022) As vantagens do Sistema de Plantio Direto (SPD), em comparação ao sistema convencional, são bastante claras. No entanto, o agricultor deve estar atento a algumas desvantagens, que podem dificultar a adoção do SPD em certas regiões, tais como:

- Dificuldades para algumas culturas ou baixa permeabilidade em função da alta umidade do solo;
- Acamamento da cultura devido à alta concentração de nitrogênio;
- Necessidade de aplicação de herbicidas para dessecação da cobertura vegetal;
- Enraizamento superficial das plantas;

- Requerimento de maquinário específico; e
- Necessidade de treinamento para a mão de obra.

3.3. CULTIVO MÍNIMO

O cultivo mínimo é um sistema intermediário entre o cultivo convencional e o plantio direto. Com o objetivo de reduzir o revolvimento e a compactação do solo, o uso de máquinas agrícolas é minimizado. Nesse sistema, o preparo do solo ocorre apenas nas linhas essenciais para o plantio (DEVECHIO, 2024).

Para Silva (2019), o plantio no Sistema de Cultivo Mínimo pode gerar excelentes resultados, especialmente ao longo do tempo, demonstrando maior qualidade e produtividade nas culturas. Nesse sistema, a gradagem pesada realiza todas as etapas de preparo do solo em uma única operação, o que caracteriza o preparo reduzido do solo.

No sistema de cultivo mínimo, realiza-se apenas uma operação de preparo com o mínimo de revolvimento do solo e semi-incorporação dos resíduos culturais. Essa mobilização limitada, que pode ser feita com o uso de grade leve, grade pesada ou escarificador, ajuda a romper crostas superficiais e controlar parcialmente as plantas daninhas. Vale destacar que, nesse tipo de manejo, é essencial manter os resíduos culturais sobre a superfície do solo, pois isso contribui para reduzir os problemas relacionados à erosão (PES e GIACOMINI, 2017).

Figura 4 - Cultivo mínimo do solo utilizando escarificador



Fonte: Pes e Giacomini (2017)

3.3.1. Vantagens do sistema de cultivo mínimo

O sistema de cultivo mínimo oferece várias vantagens, principalmente relacionadas à conservação do solo e à eficiência no manejo agrícola (FURLANETO; MIGUEL; GRIZOTTO, 2010; SILVA, 2019). Entre os principais benefícios estão:

- Redução da erosão: como o solo é revolvido de forma mínima, a sua estrutura permanece mais estável, o que ajuda a reduzir a erosão hídrica e eólica.
- Melhora na retenção de água: a cobertura do solo com resíduos culturais e o menor revolvimento permitem que o solo retenha mais umidade, favorecendo o desenvolvimento das plantas em períodos de seca.
- Conservação da matéria orgânica: ao preservar os resíduos culturais na superfície, o cultivo mínimo aumenta o teor de matéria orgânica no solo, contribuindo para a fertilidade e saúde do solo.
- Redução da compactação nas linhas: o menor tráfego de máquinas agrícolas diminui a compactação do solo, facilitando o crescimento radicular e a absorção de nutrientes pelas plantas.
- Menor consumo de energia: por exigir menos operações de preparo do solo, o cultivo mínimo consome menos combustível e reduz os custos operacionais.
- Sustentabilidade: esse sistema contribui para a preservação do solo e do ambiente, minimizando o impacto das práticas agrícolas tradicionais, além de promover um manejo mais sustentável e produtivo.

Essas vantagens fazem do cultivo mínimo uma alternativa interessante para produtores que buscam aumentar a produtividade e a sustentabilidade em suas áreas.

3.4. ÍNDICE DE VAZIO DO SOLO

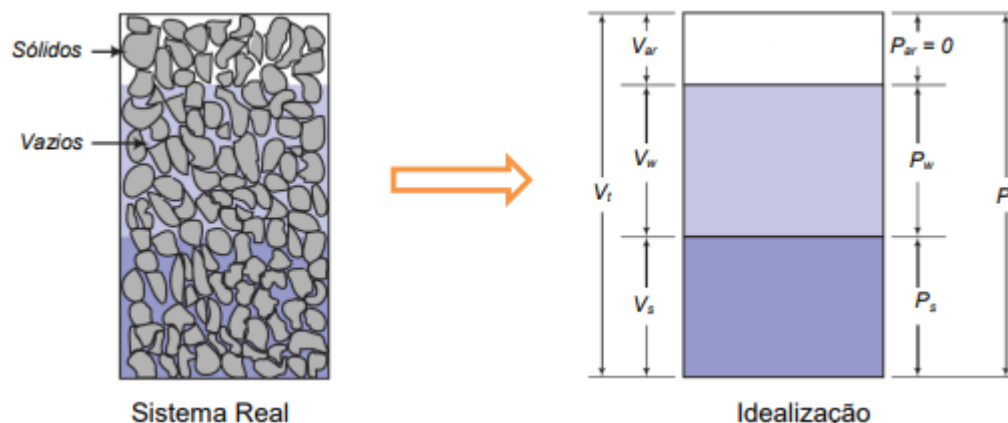
O índice de vazios é uma das propriedades mais importantes do solo, especialmente no estudo de sua compressibilidade e colapsibilidade. Na mecânica dos solos, ela é definida como o volume dos poros (V_v) dividido pelo volume ocupado pelas partículas sólidas (V_s) de uma amostra de solo (ZONZAN et.al, 2019).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Através do ensaio de massa específica real, pode-se obter o volume dos sólidos (V_s), e o volume total da amostra (V) pelo método da balança hidrostática. Já por consequência o volume de vazio (V_v) é a diferença entre os dois.

Os índices de vazios máximo e mínimo são parâmetros fundamentais para calcular a compactidade relativa do solo. Esses índices são obtidos através de ensaios de laboratório, onde se estabelecem correlações entre pesos e volumes previamente determinados. (MEDEIROS, 2018).

Figura 5 - Constituição Trifásica do Solo



Fonte: Budhu, 2015 *apud* Zonzan et.al, 2019

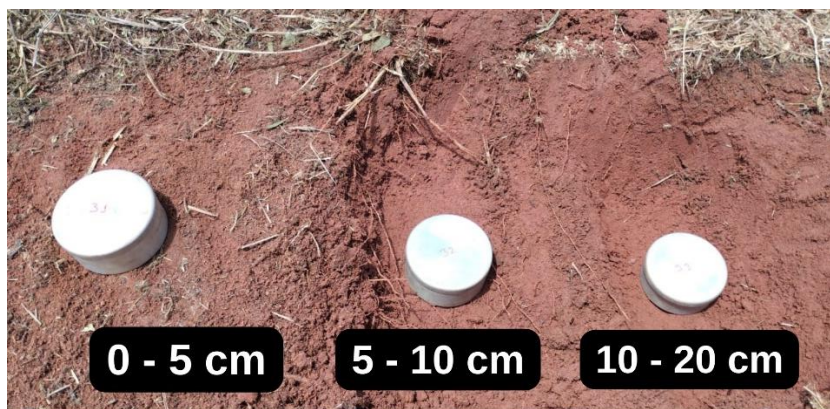
O solo, material natural de constituição complexa, é composto por três fases principais: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida corresponde ao esqueleto mineral do solo, formado pelas partículas. Já as fases líquida e gasosa, referidas como vazios, podem ser preenchidas por água ou ar, dependendo das condições do solo (ZONZAN *et.al*, 2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada em Alagoinha, zona rural de Mossoró/RN, com coordenadas geográficas 5°11' S e 37°20' W. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, conforme a EMBRAPA (1999). A área é utilizada para o sistema de plantio direto e cultivo mínimo, a cerca de 10 anos (cultivo superficial) com as culturas de milho (*Zea mays* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp).

Inicialmente, as amostras foram coletadas nas entrelinhas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, com três repetições por parcela, no final do ciclo das culturas. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme descrito por EMBRAPA (1997), utilizando anéis volumétricos de 70 mm de diâmetro interno por 24 mm de altura. No mesmo local, também foram coletadas amostras para a determinação da matéria orgânica e do carbono. Conforme pode ser visto na figura 3 e 4.

Figura 6 – Camadas de solo analisadas



Fonte: Autoria própria, 2024

A coleta foi realizada com auxílio de um castelo, martelo, enxada, pá e facas que facilitaram a retirada da amostra do solo sem que a mesma sofresse alterações em sua estrutura. Logo após a retirada de todas as amostras, o material foi conduzido ao Laboratório de Dinâmica da Interação solo-máquina da Universidade Federal Rural do SemiÁrido – UFERSA.

Figura 7 – Coleta de solo de amostras indeformadas



Fonte: Autoria própria, 2024

Os parâmetros analisados incluíram densidade do solo e índice de vazios. A compressibilidade do solo foi determinada por meio das curvas de compressão obtidas no ensaio uniaxial, traçando-se o índice de vazios estrutural de cada amostra em função do logaritmo da pressão aplicada (ARVIDSSON & KELLER, 2004). A matéria orgânica do solo foi avaliada segundo a metodologia da EMBRAPA (1997), utilizando amostras de solo indeformadas coletadas antes e após a colheita, com cobertura proveniente dos resíduos da última colheita.

Figura 8 – Método do quadrado



Fonte: Autoria própria, 2024

Para determinação da curva de compactação, utilizou-se amostras de solo indeformadas, com umidade e densidade coletadas em campo. Para cada parcela foram realizadas duas repetições em cada parcela nas três camadas, totalizando 48 amostras. No

ensaio oedométrico, as amostras indeformadas foram mantidas nos cilindros de alumínio, e estes, colocadas na célula (Figura 9), subsequentemente, submetidos às pressões sequenciais de 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 450, 600 kPa.

Figura 9 – Oedometria



Fonte: Autoria própria, 2024

As amostras foram submetidas à aplicação de pressões cíclicas de 30s, efetuando o relaxamento de 60s no intervalo de cada pressão. Após a liberação da pressão, as amostras foram secas em estufa a 105°C, por 48 h, determinou-se a sua umidade e a densidade foi calculada.

A compactação do solo foi avaliada em termo de índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada para os teores de água e de matéria orgânica do solo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Matéria orgânica e teor de água do solo

A tabela 1 mostra os valores de densidade do solo, teor de água e carbono orgânico no sistema de cultivo mínimo com plantio de feijão e milho. Pode-se verificar que na densidade de 1,21 g/cm³, o teor de carbono orgânico produzido pelos resíduos de milho foi 1,9% e 0,54%, respectivamente para as camadas do solo de 0 a 5 cm e 10 a 20cm, enquanto o produzido pelos resíduos de feijão foi 1,2% e 0,42%, nas mesmas camadas.

TABELA 1 – Valores do teor de água, teor de carbono e densidade em Cultivo Mínimo.

Profundidade	Cultivo mínimo - Feijão			Cultivo mínimo - Milho		
	Teor de Água (%)	Teor de carbono (%)	Densidade	Teor de Água (%)	Teor de carbono (%)	Densidade
0-5 cm	6	1,2	1,21	8	1,9	1,25
5-10 cm	5	0,55	1,4	8	0,8	1,4
10-20 cm	5	0,42	1,21	9	0,54	1,2

Fonte: Autoria própria, 2024

Esses valores revelam que houve maior retenção de água na área cultivada com milho, 8% na camada de 0 a 5 cm e 9% na camada de 10 a 20 cm comparada com a área cultivada com feijão, com teores de água do solo, respectivamente, de 6% e 5% para as mesmas camadas. Isso pode ser atribuído, em hipótese, a razão de que os resíduos do feijão apresentam maior velocidade de decomposição, quando comparado aos resíduos do Milho, em função de sua própria composição, da ação dos elementos micro e macro biológicos e as condições ambientais clima e solo.

A tabela 2 mostra os valores de densidade do solo, teor de água e carbono orgânico no sistema de plantio direto, cultivado com feijão e milho.

Na área de Plantio direto, em todas as camadas, do solo, avaliadas houve ligeiro aumento do teor de água tanto na área com cultivo do milho, bem como na área com a

cultura do feijão, comparando com o sistema de cultivo mínimo (tabela 1). Observa-se que na camada de 0 a 5cm, embora tenha ocorrido menor teor de carbono orgânico do que no sistema de cultivo mínimo (1,03% na área de feijão e 1,40% na área de milho) houve maior retenção de água no solo de PD. A possível explicação para essa observação é a manutenção da cobertura do solo pela palhada proveniente dos restos de cultura, acarretando a diminuição na taxa de evaporação da água do solo, uma vez que neste sistema não há a incorporação da palhada na camada do solo de 0 a 5 cm, como é o caso do sistema de cultivo mínimo.

TABELA 2 – Valores do teor de água, teor de carbono e densidade em plantio direto.

Profundidade	Plantio Direto - Feijão			Plantio - Milho		
	Teor de Água (%)	Teor de carbono (%)	Densidade	Teor de Água (%)	Teor de carbono (%)	Densidade
0-5 cm	10	1,03	1,37	8	1,4	1,4
5-10 cm	7	0,64	1,2	9	0,95	1,2
10-20 cm	7	0,51	1,4	10	0,86	1,4

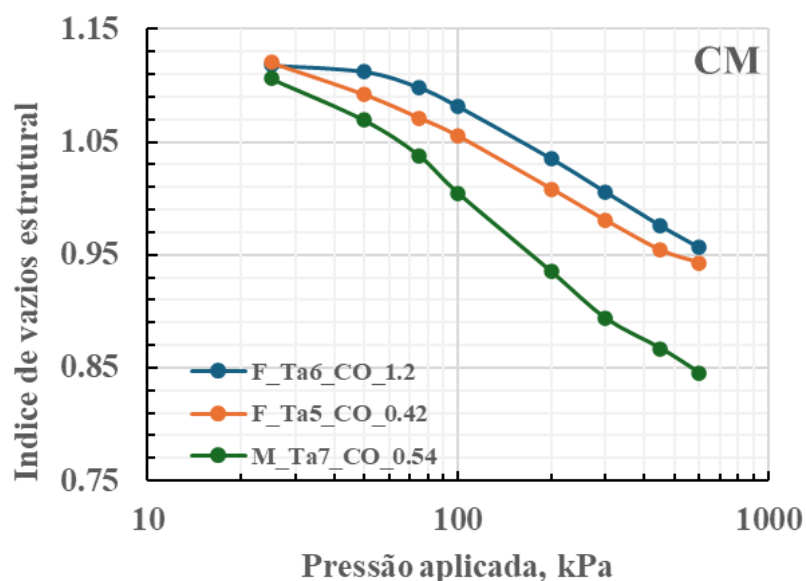
Fonte: Autoria própria, 2024

Além do mais, outro fator importante é que o solo em estudo, caracteriza-se com baixa capacidade de retenção de água o reforça a afirmação de Bordovsky et al. (1999) que um aumento no resíduo da superfície resultante da redução do cultivo, juntamente com o controle adequado de ervas daninhas poderia potencialmente conservar esse recurso natural a longo prazo.

Sistemas de cultivo mínimo - CM e plantio direto – PD.

No sistema de cultivo mínimo – CM, verifica-se que o teor de carbono orgânico de 1.2%, produzido pela palhada de feijão, favoreceu a diminuição do índice de vazios estruturais com relação ao teor de carbono de 0,42%, em todas as pressões aplicadas. O teor de carbono de 0,54% produzido pelos restos culturais do milho no solo com o teor de água de 7% propiciou menor índice de vazios estruturais em todas as pressões aplicadas.

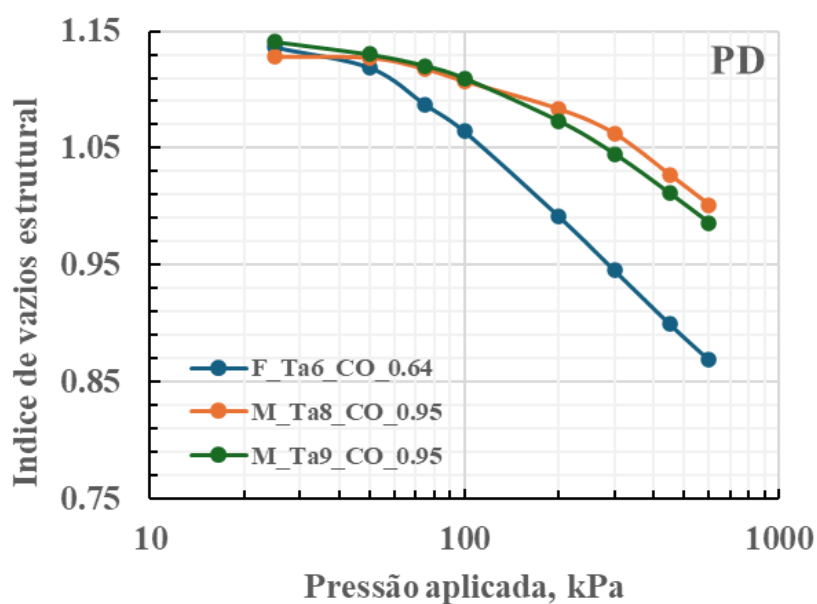
Figura 10 - Índice de vazios estrutural em SCM com densidade 1,2 g/cm³.



Fonte: Autoria própria, 2024

Comparando a condição do solo com teor de água de 5 e 7% com percentagem de carbono orgânico, respectivamente de 0,42% produzido pelos restos culturais de feijão e de 0,54% produzido pelos restos culturais de milho, verifica-se o efeito predominante do teor água na diminuição do índice de vazios estruturais no sistema de cultivo mínimo.

Figura 11 - Índice de vazios estrutural em SPD com densidade 1,2 g/cm³.



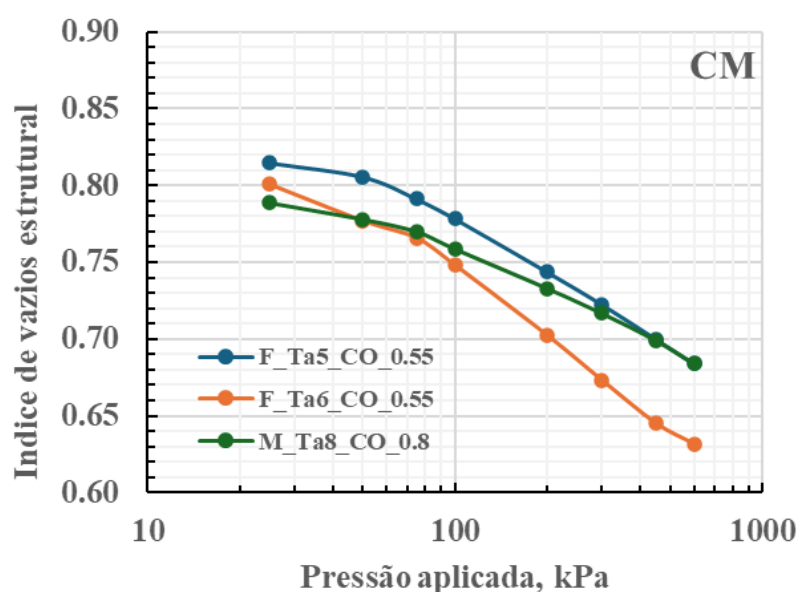
Fonte: Autoria própria, 2024

No sistema de plantio direto PD, ocorreu redução do índice de vazios estrutural com o aumento do teor de água para o mesmo teor de matéria orgânica (0.95%) produzido pelos restos culturais do milho, nas pressões aplicadas superiores a 100 kPa. No entanto, verifica-se efeito positivo na melhoria do índice de vazios estrutural da produção de matéria orgânica do milho, mesmo em teores de água mais elevados (8 e 9%) com relação à produzida pelos restos culturais do feijão, a 6% de teor de água, no sistema de plantio direto.

Neste estudo mostra que, tanto a quantidade, bem como a qualidade dos resíduos de colheita deixados na superfície do solo, reflete a importância do carbono orgânico, na redução da compactação do solo. Resultados obtidos por Gupta et al. (1987) em solos arenosos indicaram que a adição de resíduo à areia aumentou ligeiramente a inclinação da curva de compressão virgem. Além do mais, estes autores atribuem a ação destes resíduos nas mudanças da compactação do solo a variação da quantidade e tamanho dos resíduos.

Nas figuras 12 e 13 mostra a variação do índice de vazios estrutural em função da pressão aplicada em um Latossolo vermelho Amarelo, num sistema de cultivo mínimo - CM e plantio direto - PD com variação do teor de água e carbono orgânico densidade do solo de $1,4 \text{ g/cm}^3$. Em ambos os sistemas foi utilizado o solo com cobertura de resíduos de milho e feijão deixados após a colheita.

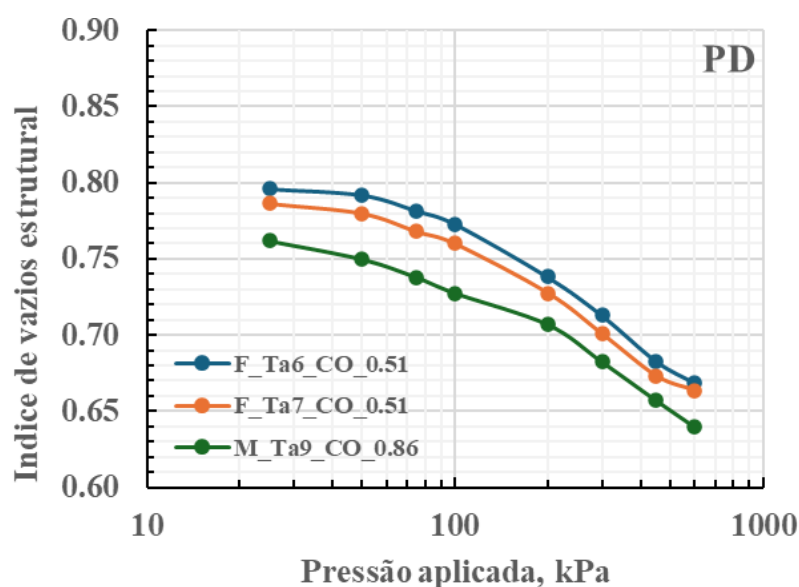
Figura 12 - Índice de vazios estrutural em SCM com densidade $1,4 \text{ g/cm}^3$.



Fonte: Autoria própria, 2024

No sistema de cultivo mínimo evidencia-se a diminuição do índice de vazios estrutural com o aumento do teor de água para o carbono orgânico proveniente da palhada de feijão, com maior decréscimo nas pressões aplicadas superiores a 100 kPa. No mesmo sistema de cultivo, a matéria orgânica proveniente dos resíduos da cultura de milho revelou menor redução do índice de vazios estrutural com as pressões superiores a 100 kPa, com o teor de água de 8% e teor de carbono orgânico de 0.8%, conforme é visto na figura 12.

Figura 13 - Índice de vazios estrutural em SPD com densidade 1,4 g/cm³.



Fonte: Autoria própria, 2024

Para o sistema de plantio direto, como se pode verificar na figura 13, a compactação do solo aumenta com o teor de água independente da matéria orgânica. Uma vez que essas amostras foram coletadas na profundidade de 10 a 20 cm, esses resultados podem refletir o histórico de manejo do solo e da aplicação de carga, nas condições de teor de água maiores, considerando que neste sistema não ocorreu revolvimento do solo.

6. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos neste estudo, pode-se chegar à conclusão de que o sistema de plantio direto, aplicado à região semiárida, demonstrou ser eficaz no aumento do teor de água no solo, resultado da cobertura proporcionada pelos resíduos de culturas deixados na superfície. Esse manejo contribui para a conservação hídrica, crucial para a sustentabilidade agrícola em regiões com escassez de água.

Em relação ao acúmulo de carbono orgânico, o sistema de cultivo mínimo apresentou maior eficiência na camada superficial do solo (0 a 5 cm), em comparação ao plantio direto, evidenciando sua relevância na manutenção da matéria orgânica, fator essencial para a fertilidade e a saúde do solo.

A utilização de resíduos culturais do milho como cobertura mostrou-se benéfica para reduzir a compactação do solo, como indicado pelo aumento dos índices de vazios estruturais, mesmo com maior teor de água. Esse efeito foi mais observado em comparação aos resíduos deixados pela cultura do feijão, destacando a importância do tipo de resíduo na qualidade física do solo.

REFERÊNCIAS

- Andreotti, M. et al. **Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em Sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial**. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.
- ARAÚJO, Augusto Guilherme de et al. ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS ATRAVÉS DA MODELAGEM NEBULOSA. 2004. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-06012005-170624/publico/ModeloNebulosoCompactaSolo.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.
- Arvidsson, J. Keller, T. Soil precompression stress. I. A survey of Swedish arable soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 85-95, 2014.
- Arvidsson, J., Sjöberg, E., van den Akker, J.J.H. Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden III. Risk assessment using a soil water model. **Soil and Tillage Research** 73, 77–87, 2003.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J.C., Martin-Neto, L., Fernandez, S.V. **Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil**. Soil and Tillage Research. 54, 101–109. 2000
- BERTOLLO, Altamir Mateus; LEVIEN, Renato. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 208-218, 4 dez. 2019. Revista Científica Pesquisa Agropecuaria Gaucha (PAG). <http://dx.doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>. Disponível em: <https://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/113>. Acesso em: 05 maio 2024.
- CHAVES, T. de A. *et al.* **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural**. Niterói: Programa Rio Rural, 2012. 19p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126102/1/Recuperacao-areas-degradadas-2012.pdf>>. Acesso em 23 de abril de 2024.
- Bordovsky, D.G, Choudhary, M. Gerard, C.J. Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas rolling plains. **Soil Science** 164 n. 5, p. 331-340. 1999.
- Coppens, F., Garnier, P., Findeling, A., Merckx, R. & Recous, S. **Decomposition of mulched versus incorporated crop residues: Modelling with PASTIS clarifies**

interactions between residue quality and location. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2339-2350, 2007. doi: 10.1016/j.soilbio.2007.04.005.

DEVECHIO, Fernanda de Fátima da Silva. **Manejo do solo::** preparos convencionais e conservacionistas. Preparos convencionais e conservacionistas. Disponível em: https://edisdisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7982487/mod_resource/content/1/Material%20de%20aula%205_Preparo%20do%20solo.pdf. Acesso em: 06 ago. 2024.

Dhaliwal, S.S, Naresh, R.K, Mandal, A, Singh, R, Dhaliwal, M.K. **Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter Indicators build-up:** A review. *Environmental and Sustainability*, 1-2, 2019.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ed. Rio de Janeiro:** Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 212p. EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999, 412 p.

EMBRAPA (org.). **Embrapa lança capacitação on-line sobre Sistema de Plantio Direto.** 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/busca-de-noticias/-/noticia/51875313/embrapa-lanca-capacitacao-on-line-sobre-sistema-de-plantio-direto>. Acesso em: 22 jun. 2024.

Etana, A. Comia, R.A. Hakansson. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four swwedish soils. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 44 p. 13-21, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00025-1).

Foley, B.J. & Cooperband, L.R. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. **Journal of Environmental Quality**, 31(6), 2086-2095, 2002. doi: 10.2134/jeq2002.2086.

FONSECA, Raionara Dantas. **SUSCEPTIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.** 2019. 36 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi Arido, Mossoró, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/58e397ac-a0c0-4ee1-8341-1c33c4e3735c/content>. Acesso em: 20 jun. 2024.

Franzluebbers, A.J. Greenhouse gas contributions and mitigation potential in agricultural regions of North America: introduction. **Soil and Tillage Research**. 83, 1–8, 2005. FREITAS, Pedro Luiz de. A compactação do solo é um problema em sistema plantio direto? 2015. Disponível em: <<http://agronomos.ning.com/profiles/blogs/a-compacta-o-dosolo-um-problema-em-sistema-plantio-direto>>. Acesso em: 18 jul. 2021.

GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo; SANTOS, José Alfredo Baptista dos. **AGRICULTURA CONSERVACIONISTA NO PARANÁ::** fundamentos, implantação e

condução. Paraná: Senar, 2016. 130 p. Disponível em:
https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0320-Agricultura-Conservacionista_web-1.pdf. Acesso em: 24 jun. 2024.

FURLANETO, Fernanda de Paiva Badiz; MIGUEL, Fernando Bergantini; GRIZOTTO, Regina Kitagawa. CULTIVO MÍNIMO NA CANA-DE-AÇÚCAR. **Pesquisa e Tecnologia**, Alta Mogiana, v. 7, n. 2, p. 1-1, dez. 2010. Disponível em:
<https://www.agricultura.sp.gov.br/documents/1007647/0/30.%20CULTIVO%20M%C3%8DNIMO%20NA%20CANA-DE-A%C3%87%C3%9ACAR.pdf/bdf6bee8-c794-766f-a90a-cd50f7eb52b0#:~:text=1%2D%20Possibilidade%20de%20plantio%20em,plantio%20em%20at%C3%A9%20alguns%20meses.&text=2%2D%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20mais%20intensa%20da,de%20m%C3%A1quinas%2C%20implementos%20e%20combust%C3%ADvel>. Acesso em: 05 ago. 2024.

GUPTA, S. C; ALLMARAS, R. R. **Models to access the susceptibility soil to excessive compaction**. Advanced Soil Science, Massachusetts, v. 6, p. 65-100, 1987. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-4682-4_2. Acesso em: 05 ago. 2024.

Hamza, M.A., Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research** 82, 121– 145, 2005.

Horn R **Mechanical properties of structured unsaturated soils**. Soil Technology. 6: 47 – 75, 1993.

LANZANOVA, Mastrângello Enívar *et al.* Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1131-1140, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000500028>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/P7v8Dhf3fJztypBPyPFW43s/?lang=pt#>. Acesso em: 14 maio 2024.

MEDEIROS, Mateus Costa de. **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES DE VAZIOS MÁXIMO E MÍNIMO DE MATERIAIS GRANULARES**. 2018. Rio de Janeiro/RJ. Disponível em: . Acesso em: 04 mar. 2019

O’Sullivan, M.F. **Uniaxial compaction effects on soil physical properties in relation to soil type and cultivation**. Soil Tillage Res. 24, 257-269, 1992.

PASSOS, Alexandre Martins Abdão dos; ALVARENGA, Ramon Costa; SANTOS, Flávia Cristina dos. Sistema de Plantio Direto. In: NOBRE, Myram Maia; OLIVEIRA, Ivênio Rubens de. **Agricultura de baixo carbono:: tecnologias e estratégias de**

implantação.. Brasília: Embrapa, 2018. p. 61-104. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1101744/agricultura-de-baixo-carbono-tecnologias-e-estrategias-de-implantacao>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Pereira JO, Defosse P, Richard G. **Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system**. European Journal of Soil Science, v. 58 p. 34-44, 2007.

PES, Luciano Zucuni; GIACOMINI, Diego Antonio. **Conservação do Solo**. Santa Maria: Colégio Politécnico; Rede E-Tec Brasil, 2017. 69 p. Disponível em:
https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/10_conservacao_solo.pdf. Acesso em: 06 out. 2024.

REICHERT, Miguel *et al.* Compactação do Solo em Sistemas Agropecuários e Florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Tópicos Ci. Solo**, [S.L], v. 5, n. 1, p. 49-134, ago. 2007. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/283498339_Compactacao_do_solo_em_sistemas_agropecuarios_e_florestais_Identificacao_efeitos_limites_criticos_e_mitigacao. Acesso em: 29 maio 2024.

RICHART et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-343, 3 set. 2004. Disponível em:
<https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744077016.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2024.

SÁ, Marcos Aurélio Carolino de; SANTOS JUNIOR, João de Deus Gomes dos. **Compactação do Solo::** conseqüências para o crescimento vegetal. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2005. 26 p. Disponível em:
https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/27465/1/doc_136.pdf. Acesso em: 29 jul. 2024.

SALTON, Júlio Cesar; HERNANI, Luis Carlos; FONTES, Clarice Zanoni (org.). **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: : Embrapa-Spi ; Dourados: Embrapa-Cpao, 1998. 254 p. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2024.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Plantio direto:** implantação do sistema de plantio direto (spd). Brasília: Senar, 2022. 146 p. Disponível em:
https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/pdf/241_Cartilha-Senar_Impresso-1.pdf. Acesso em: 26 out. 2024.

SILVA, Antonio Alberto da *et al.* Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Ceres**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 497-506, ago. 2009. Disponível em:
<https://ojs.ceres.ufv.br/ceres/article/view/3458/1356>. Acesso em: 18 maio 2024.

SILVA, Apolino José Nogueira da; CABEDA, Mário Sérgio Vaz. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 921-930, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832006000600001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bJcS6mRCng5TBmbqnsbWCzr/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

SILVA, Leonardo Cordeiro da. **SUSCEPTIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO SUBMETIDO A UM SISTEMA DE CULTIVO MÍNIMO**. 2019. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi Arido, Mossoró, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/c11aa31f-1d6b-4e69-9fa7-c44a66315d76/content>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SILVA FILHO, Roberti André da. **Compactação do solo devido à mecanização**. 2005. 19 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Produção e Gestão Agroindustrial, Universidade Ahanguera - Uniderp, Campo Grande – MS, 2005. Disponível em: <https://www.webartigos.com/storage/app/uploads/public/588/4ce/95a/5884ce95a2927255895543.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2024.

TAPPI T 222 om-02. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp, in:** 2002-2003 TAPPI Test Methods, 2002. Tappi Press, Atlanta, GA, USA. Disponível em: <https://www.tappi.org/content/SARG/T222.pdf> Acessado em 11/06/2023.

Van Soest, P.U. **Use of detergents in the analysis of fibrous feeds**. IV. Determination of plant cell-wall constituents. Journal of Association Officials of Animal Chemistry, 50, 50-55, 1967.

ZORZAN, Lucas Ghion *et al.* **PROPRIEDADES E ÍNDICES FÍSICOS DE SOLOS**. Paraná: Ufpr, 2019. 50 p. Disponível em: <https://dcc.ufpr.br/wp-content/uploads/2020/01/APOSTILA-PROPRIEDADES-E-%C3%8DNDICES-F%C3%8DSICOS-DE-SOLOS.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2024.