



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

CAROLINE HONORATO ROCHA

**QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO AFETADOS POR
PLANTAS DE COBERTURA E SISTEMAS DE PREPARO**

Presidente Prudente - SP
2024



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

CAROLINE HONORATO ROCHA

**QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO AFETADOS POR
PLANTAS DE COBERTURA E SISTEMAS DE PREPARO**

Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para defesa final de tese e obtenção do título de Doutora – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Rafael Echer

Presidente Prudente - SP
2024

631.42
R672q

Rocha, Caroline Honorato.

Qualidade do solo e produtividade do algodoeiro afetados por plantas de cobertura e sistemas de preparo. –Presidente Prudente, 2024.

134 f.: il.

Tese (Doutorado em Agronomia) -
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2024.

Bibliografia.

Orientador: Profª. Dr. Fábio Rafael Echer

1. Indicadores biológicos. 2. Física do solo. 3. Preparo de solo. 4. Estoque de carbono. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO AFETADOS POR PLANTAS DE COBERTURA E SISTEMAS DE PREPARO”

AUTOR(A): CAROLINE HONORATO ROCHA

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR(A) em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA LIMA MAZZUCHELLI

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. MARCELO RODRIGO ALVES

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Dr. ALEXANDRE CUNHA DE BARCELLOS FERREIRA

EMBRAPA ALGODÃO – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Profa. Dra. FLAVIANE RIBEIRO CARVALHO

UFV – Universidade Federal de Viçosa (MG)

Data da realização: Presidente Prudente, 29 de Novembro de 2024.



UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA
Reconhecida pela Portaria ME nº 83/87 D.O.U. 16/02/87
Recredenciada pela Portaria MEC nº 413 D.O.U. 27/03/17
Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - A.P.E.C.

Campus I Rua José Bongiovani, 700 • Cidade Universitária • CEP 19050-920 • Presidente Prudente SP • Tel: 18 3229-1000 | Campus II Rodovia Raposo Tavares, KM 572 • Bairro Limoeiro • CEP 19067-175 • Presidente Prudente SP • Tel: 18 3229-2000
Campus Jdú Avenida Antonio de Almeida Pacheco, 2945 • 2ª Zona Industrial • Jdú SP • Tel: 14 3624-1109 | Campus Guarujá Rua Albertino Pedro, 75 | Condomínio Guarujá Central Park • Enseada • CEP 11441-225 • Guarujá SP • Tel: 13 3386-3002

Central de Assinaturas Eletrônicas

Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico
Status do documento: Concluído
Data de criação do documento: 04/12/2024 10:02
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília
Número de assinaturas: 5
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#5959489)

Signatários do documento

rita@unoeste.br (PROFESSOR)

rita@unoeste.br
Recebido em 04/12/2024 10:02
Assinado em 04/12/2024 11:52
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 187.73.197.183
ID da assinatura: 4050798

fabioecher@unoeste.br (PROFESSOR)

fabioecher@unoeste.br
Recebido em 04/12/2024 10:02
Assinado em 04/12/2024 11:53
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 2804:18:194a:1808:eceb:57ad:5e7b:47ac
ID da assinatura: 4050797

marceloalves@unoeste.br (PROFESSOR)

marceloalves@unoeste.br
Recebido em 04/12/2024 10:02
Assinado em 05/12/2024 07:05
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 2804:fec:d488:6200:d7ad:d3bc:2365:e82
ID da assinatura: 4050799

alexandre-cunha.ferreira@embrapa.br (SIGNATÁRIO EXTERNO)

alexandre-cunha.ferreira@embrapa.br
Recebido em 04/12/2024 10:02
Assinado em 04/12/2024 14:34
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 149.102.233.198
ID da assinatura: 4050801

flaviane.ribeiro@ufv.br (SIGNATÁRIO EXTERNO)

flaviane.ribeiro@ufv.br
Recebido em 04/12/2024 10:02
Assinado em 04/12/2024 10:07
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 200.235.235.30
ID da assinatura: 4050800

URL do documento: <https://www.unoeste.br/ca/cab1a688>

Assinatura digital do documento: 269bf0b3ff00fb84630a36ad034d6859b996a60087edaceef62f4d450c81ef85

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista

Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, por me ensinar o valor do conhecimento, da determinação e do respeito ao próximo. Obrigada por serem meu porto seguro e sempre acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por Sua infinita sabedoria, graça e força, que me sustentaram ao longo desta jornada, iluminando meus caminhos, mesmo nos momentos mais desafiadores.

À minha família, meu alicerce inabalável, agradeço pelo amor incondicional e apoio contínuo. Agradeço especialmente aos meus pais, Elizangela Rocha e Cláudio Honorato, que sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram a nunca desistir. Às minhas irmãs, Eloisa H. Rocha e Bárbara H. Rocha, que acompanharam minha trajetória e me apoiaram durante todo o percurso. Vocês são minha inspiração. Ao meu namorado, Juan Victor O. Fonseca, agradeço pelo apoio, incentivo, carinho e companheirismo. Obrigada por me fazer feliz.

Ao professor Fábio R. Echer, registro minha imensa gratidão por sua orientação cuidadosa, paciência e dedicação. Suas valiosas contribuições, conselhos e encorajamento me guiaram não apenas na construção desta pesquisa, mas também no meu desenvolvimento profissional e pessoal. Sempre disponível e disposto a me ajudar, agradeço sua confiança e amizade.

Ao professor Cássio A. Tormena, pela coorientação, apoio, ensinamentos e amizade durante este período de aprendizado. Seus conselhos e incentivo contribuíram de forma ímpar para o meu crescimento acadêmico. Agradeço também aos integrantes do Departamento de Solo da Universidade Estadual de Maringá (UEM), do laboratório de física do solo, pela contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Tyson B. Raper, por me receber em sua equipe durante oito meses no West Tennessee Research and Education Center, na Universidade do Tennessee. Agradeço pelo acolhimento, receptividade, incentivo, ensinamentos e confiança. À equipe do Algodão, composta por Patrícia Soares, Samuel Reeves, Ryan Blair, Earl Reed e Matt Davis, sempre solícitos e dispostos a me ajudar. Agradeço pelo acolhimento, amizade e paciência durante o intercâmbio.

Aos alunos do Grupo de Estudos do Algodão (GEA), agradeço de forma geral por toda ajuda. Esta pesquisa é fruto de um grande trabalho em equipe, e sou imensamente grata por cada contribuição recebida ao longo desta jornada. Obrigada pelo apoio, amizade e pelas alegrias compartilhadas.

Aos professores colaboradores da PPGA/UNOESTE, meu sincero agradecimento por suas contribuições ao longo deste processo.

Ao professor Juliano Calonego, pela parceria na condução de avaliações no Departamento de Solos da Universidade Estadual de São Paulo (Unesp) de Botucatu. Aos funcionários da instituição, Rosa Maria, Edson Aparecido, Lucas Rodrigues da Silva, Diego Guevara Magalhães, Luma Freitas, Luciana Muchiutti e Keid Kruger, pelo auxílio laboratorial e nas atividades de campo.

Às minhas amigas, Gislaine Pereira, Bruna C. Lima, Flávia A. Mignacca e Camila P. Cagna, por estarem ao meu lado nos momentos de dúvidas e cansaço, por serem uma rede de afeto e encorajamento. A amizade de vocês tornou essa jornada mais leve e significativa.

Agradeço à Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), por ter sido minha casa do saber durante minha graduação, meu mestrado e doutorado.

Enfim, sou grata por inúmeros momentos ímpares que fizeram parte desta pesquisa. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – código 140621/2020-2, por possibilitar o desenvolvimento e a realização desta pesquisa, e ao apoio financeiro da Associação Paulista dos Produtores de Algodão (APPA).

*Quando se nasce pobre, ser estudioso é a maior rebeldia
contra o sistema.*

RESUMO

Qualidade do solo e produtividade do algodoeiro afetados por plantas de cobertura e sistemas de preparo

A introdução de sistemas intensivos de produção, a exemplo da produção do algodoeiro, em solos de textura arenosa é crescente no Brasil, o tipo de manejo empregado nestes solos pode interferir negativamente na qualidade do solo. Por outro lado, o cultivo de plantas de cobertura pode promover o aumento dos teores de matéria orgânica e melhorar as condições físicas e biológicas destes solos. O objetivo geral deste estudo foi avaliar a produtividade e a qualidade de fibra do algodoeiro (Capítulo 1) e os indicadores da qualidade física e biológica do solo (Capítulo 2), estoque de C e fracionamento da matéria orgânica do solo (MOS) (Capítulo 3) sob influência das plantas de cobertura milho e capim mombaça em sistema de semeadura direta (SSD), cultivo mínimo (CM), preparo convencional do solo no outono (PCO) e preparo convencional do solo na primavera (PCP). O experimento foi conduzido na Fazenda experimental da Unoeste, localizada em Presidente Bernardes-SP em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura arenosa nas safras 2020/2021 e 2021/2022. O teor de carboidrato na folha do algodoeiro variou apenas na safra 2020/2021 com maiores valores sob PCP, independentemente da planta de cobertura. O PCP+milho e o CM+capim mombaça resultaram em maior número de capulhos e produtividade na safra 2021/2022. O CM+milho aumentou o micronaire, comprimento e resistência da fibra, embora todos os parâmetros de qualidade de fibra foram adequados à comercialização. Os sistemas SSD, PCO e PCP sobre milho melhoraram a capacidade de armazenamento de água (cc/pt) no solo apresentando resistência à penetração entre 2.500 kPa a 3.200 kPa. O capim mombaça sob CM atenuou a resistência à penetração em 23% bem como melhorou a capacidade de armazenamento de ar (par/pt), a cc/pt aumentou sob milho. O carbono da biomassa microbiana (Cmic) e a respiração do solo aumentaram no SSD+milho em 2020/2021 e diminuíram na safra 2021/2022. Em ambas as safras o milho sob SSD e CM incrementou o teor de nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), já o capim mombaça favoreceu o aumento do Nmic no PCO e PCP. O teor de glomalina aumentou no SSD com milho em CM com capim mombaça na camada de 0,20-0,40 m. O estoque de carbono aumentou em 8% no SSD em 5% sob CM e em 5% no PCO com milho em comparação ao PCP, respectivamente. O uso de milho sob SSD aumentou o COT

na camada de 0,10-0,20 m em comparação ao PCP; no entanto, na camada 0,20-0,40 m o PCP+milheto incrementou o COT em 13% em relação aos demais sistemas de preparo. Na camada de 0,20-0,40 m o CAM aumentou sob SSD+capim mombaça, mas na camada de 0,40-0,60 m o milho foi maior. O Carbono associado a minerais (CAM) aumentou em 28% com milho em 0,10-0,20 m e 17% com capim mombaça em relação ao PCO na camada de 0,10-0,20 m. O C lábil do solo aumentou em 32% com milho sob CM em 0,0-0,10 m, mas o teor de C lábil sob capim mombaça aumentou em 21% em 0,10-0,20 m, respectivamente. Quando associado ao capim mombaça, o CM incrementou os teores de ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), AH:AF, humina e substâncias húmicas (SH) em profundidade. Com SSD sob milho o teor de AH e AH:AF foi maior nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,40-0,60 m. Contudo, o SSD sob milho aumentou a humina e as SH em 0,40-0,60 m. O incremento na concentração de AH, AH:AF e humina em 0,0-0,20 m foi observado com milho em PCP. O capim mombaça sob PCO proporcionou incremento de humina e SH em 0,20-0,40 m entre as plantas de cobertura. Nossos resultados sugerem que o milho sob SSD incrementa o estoque de carbono na superfície do solo arenoso, aumenta em profundidade a fração estável da matéria orgânica, melhorando os atributos físicos e biológicos do solo. Mesmo em uma curta janela de plantio o milho introduzido em PCP é uma boa opção para incrementar a produtividade de fibra do algodoeiro e o estoque de carbono na superfície do solo. Sob melhores disponibilidades hídricas, o CM sobre capim mombaça melhorou a produtividade, os atributos físicos e biológicos do solo e o incremento de carbono.

Palavra-chave: Fracionamento da MOS; armazenamento de ar e água; resistência à penetração; indicadores biológicos; biomassa; física do solo; preparo de solo, estoque de carbono.

ABSTRACT

Soil quality and cotton production affected by cover crops and soil management

The introduction of intensive production systems, such as cotton production, in sandy textured soils is increasing in Brazil; the type of management employed in these soils can negatively affect soil quality. However, the cultivation of cover crops can promote the increase of organic matter levels and improve the physical and biological conditions of these soils. The general objective of this study was to evaluate the production and fiber quality of cotton (Chapter 1) and the indicators of soil physical and biological quality (Chapter 2), carbon stock (C stock) and the chemical and physical fractions of organic C (Chapter 3) under the influence of cover crops millet and guinea grass in no-tillage (NT), minimum tillage (MT), fall tillage (FT) and Spring tillage (ST). The experiment was carried out during 2020/2021 and 2021/2022 seasons. The soil is classified as a Ferralsol with sandy texture. Cotton leaf carbohydrate content varied only in the 2020/2021 season, with higher values under ST, regardless of the cover crops. The ST+millet and MT+guinea grass resulted in a higher number of bolls and cotton yield in the 2021/2022 season. The MT+millet increased the micronaire, fiber length, and fiber strength, although all fiber quality parameters were suitable for commercialization. The NT, ST, and FT systems on millet improve the soil water storage capacity (cc/pt) showing compaction between 2,500 kPa and 3,200 kPa. The guinea grass under MT attenuated soil compaction by 23% and improved air storage capacity (par/pt), on the other hand, cc/pt increased under millet. The dehydrogenase activity was higher under NT with guinea grass. The microbial biomass carbon (C_{mic}) and soil respiration increased in NT+millet in 2020/2021 and decreased in the 2021/2022 season. In both seasons, millet under NT and MT increased the microbial biomass nitrogen (N_{mic}), while guinea grass favored N_{mic} increase under ST and FT. Glomalin content increased in NT+millet and MT+guinea grass in the 0.20-0.40 m layer. The C stock increased by 8% in NT, 5% under MT, and 5% in FT with millet compared to ST, respectively. The use of millet under NT increased stock organic carbon (SOC) in the 0.10-0.20 m layer compared to ST; however, in the 0.20-0.40 m layer, ST+millet increased SOC by 13% compared to the other tillage systems. In the 0.20-0.40 m layer, CAM increased under NT+guinea grass, but in the 0.40-0.60 m layer, millet was higher. The minerals-associated carbon (CAM) increased by 28% with

millet at 0.10-0.20 m and by 17% with guinea grass compared to the FT in the same layer. The C lability increased by 32% with millet under MT in the 0.0-0.10 m, while C lability under guinea grass increased by 21% in the 0.10-0.20 m, respectively. When associated with guinea grass, MT increased the levels of fulvic acid (FA), humic acid (HA), HA:FA, humin, and humic substances (HS) at depth. Under NT+millet the AH and AH:AF was higher in the 0.0-0.10 m and 0.40-0.60 m. However, the NT+millet increased the humin and SH in the 0.40-0.60 m. The increase in the concentration of AH, AH:AF, and humin at 0.0-0.20 m was observed with millet in ST. Guinea grass under FT provided an increase in humin and SH in the 0.20-0.40 m between the cover crops. Our results suggest that millet under NT increases C stock at the surface of sandy soil and increased stable fraction of organic matter, improving soil physical and biological attributes. Even in a short planting window, millet with SF is a good option to increase cotton yield and surface C stock. Under better water availability, the MT with guinea grass improved the cotton yield, soil physical and biological attributes and C content.

Keywords: Fractionation of SOM; air and water storage; penetration resistance; biological indicators; biomass; soil physics; soil management; carbon stock.

LISTA DE FIGURAS ARTIGO I

Figura 1 — Valores diários de temperatura e precipitação durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	37
Figura 2 — Déficit de pressão de vapor diário durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	38
Figura 3 — Balanço hídrico durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b)	38
Figura 4 — Representação gráfica do histórico da área (A) e das operações realizadas nos tratamentos durante as safras 2020/2021 e 2021/2022 (B).....	41
Figura 5 — Produtividade de massa de matéria seca das plantas de cobertura em diferentes sistemas de preparo do solo nas safras 2020/2021 e 2021/2022..	45
Figura 6 — Teor de carboidrato na folha do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo sobre palha de milho ou capim mombaça, na safra 20/21..	46
Figura 7 — Teor de prolina na folha do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo sob palha de milho ou capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	47
Figura 8 — Número de capulhos do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sob palha de milho ou capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	48
Figura 9 — Peso médio de capulhos do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sob palha de milho ou capim mombaça, na safra 2020/2021.....	49
Figura 10 — Produtividade de fibra do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sobre palha de milho ou capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	50
Figura 11 — Qualidade de fibra do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sobre palha de milho ou capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	51
Figura 12 — Análise de componentes principais (PCA) de atributos fisiológicos, componentes de produção e produtividade de fibra nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	52

LISTA DE FIGURAS ARTIGO II

Figura 1 — Valores diários de temperatura e precipitação durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	66
--	----

Figura 2 — Déficit de pressão de vapor diário durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	66
Figura 3 — Balanço hídrico durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	67
Figura 4 — Representação gráfica do histórico da área (A) e das operações realizadas nos tratamentos durante as safras 2020/2021 e 2021/2022 (B).....	70
Figura 5 — Resistência a penetração nas camadas de 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim Mombaça durante o desenvolvimento do algodoeiro (35 DAE) e após a colheita do algodoeiro na safra 2021/2022.....	81
Figura 6 — Atividade enzimática da fosfatase ácida, β -Glicosidase e arilsulfatase em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	84
Figura 7 — Atividade da enzima desidrogenase em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	85
Figura 8 — Teor de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e da respiração basal do solo em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	86
Figura 9 — Teor de glomalina no solo em 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça.....	88
Figura 10 — Análise de componente principal (PCA) atributos físicos e microbiológicos do solo arenoso sob a produtividade de fibra na safra 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	89

LISTA DE FIGURAS ARTIGO III

Figura 1 — Valores diários de temperatura e precipitação durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	108
Figura 2 — Déficit de pressão de vapor diário durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	109

Figura 3 — Balanço hídrico durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).....	109
Figura 4 — Representação gráfica do histórico da área (A) e das operações realizadas nos tratamentos durante as safras 2020/2021 e 2021/2022 (B).....	112
Figura 5 — Estoque de carbono orgânico em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.....	118
Figura 6 — Estoque de carbono orgânico do solo nas camadas 0,0 até 0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.	119
Figura 7 — Carbono orgânico total (COT) nas camadas 0,10-0,20 m (a) e 0,20-0,40 m (b) em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.....	120
Figura 8 — Carbono associado a minerais e C lábil nas camadas 0,0 até 0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.	121
Figura 9 — Teor de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e relação AH:AF nas camadas 0,0 até 0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.....	123
Figure 10 — Teores de humina e substâncias húmicas nas camadas de 0,0-0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.....	124
Figura 11 — Análise de componente principal (PCA) do fracionamento físico e químico da matéria orgânica sob as camadas 0,0-0,10 m (a), 0,10-0,20 m (b), 0,20-0,40 m (c) e 0,40-0,60 m de profundidade de um solo arenoso cultivado com algodão.....	126

LISTA DE TABELAS ARTIGO I

Tabela 1 — Características do solo durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 (a), 2018/2019 (b), 2020/2021 (c) e 2021/2022 (d).....	39
Tabela 2 — Valores de P (<0,05) da matéria seca plantas de cobertura (MS), teor de prolina, carboidrato da folha (C. Folha), carboidrato da maçã (C. Maçã), capulho, peso médio de capulhos (PMC), fibra, micronaire (Mic), comprimento (Comp.), resistência (Resist.) e índice de fibras curtas (SFI), para os	

parâmetros isolados de sistemas de preparo, plantas de cobertura e a interação entre ambos.....	44
Tabela 3 — Teor de carboidratos da folha adjacente e na maçã do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo, semeado sob palha de milho e capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	45
Tabela 4 — Peso médio de capulhos (PMC), resistência e índice de fibras curtas (SFI) do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo, semeado sob palha de milho e capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	47

LISTA DE TABELAS ARTIGO II

Tabela 1 — Características do solo durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 (a), 2018/2019 (b), 2020/2021 (c) e 2021/2022 (d).....	67
Tabela 2 — Valores médios de densidade do solo (Ds), capacidade de armazenamento de água (cc/pt) e capacidade de armazenamento de ar (par/pt) nas camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m sob diferentes sistemas de preparo associados com milho e capim mombaça como culturas de coberturas nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	76
Tabela 3 — Desdobramento do efeito da interação entre sistema de preparo do solo e planta de cobertura sobre a densidade do solo (Ds) nas camadas de 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	77
Tabela 4 — Capacidade de armazenamento de água (cc/pt) e capacidade de armazenamento de ar (par/pt) nas camadas 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça na safra 2020/2021 e 2021/2022.....	79
Tabela 5 — Médias de umidade do solo (θ_m) nas camadas 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes manejos com uso de milho e mombaça na safra 2021/2022.....	80

Tabela 6 — Atributos biológicos e enzimáticos do solo em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.....	83
--	----

Tabela 7 — Teor da glomalina facilmente extraível nas camadas de 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça.....	87
---	----

LISTA DE TABELAS ARTIGO III

Tabela 1 — Características do solo durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 (a), 2018/2019 (b), 2020/2021 (c) e 2021/2022 (d).....	110
--	-----

Tabela 2 — Valor de P para o estoque de carbono do solo (Estoque C), carbono lábil (CLábil), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono associado a minerais (CAM), ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), relação ácido fúlvico e húmico (AH:AF), humina e substâncias húmicas (SH), para os parâmetros isolados de sistemas de preparo, plantas de cobertura e a interação entre ambos.....	117
--	-----

LISTA DE SIGLAS

SSD	Sistema de Semeadura Direta
SSC	Sistema de Semeadura Convencional
PCO	Preparo Convencional no outono
PCP	Preparo Convencional na Primavera
CM	Cultivo Mínimo
DAE	Dias Após Emergência
PMC	Peso Médio do Capulho
SFI	Índice de Fibras Furtas
ns	Não Significativo
MT	Mato Grosso
C	Carbono
COT	Carbono Orgânico Total
COP	Carbono Orgânico Particulado
CAM	Carbono Associado a Minerais
AF	Ácido Fúlvico
AH	Ácido Húmico
MOS	Matéria Orgânica do Solo
AH:AF	Ácido Húmico/Ácido Fúlvico
SH	Substâncias Húmicas
AMPA	Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento

ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
USDA	United States Department of Agriculture
Cmic	Carbono da Biomassa Microbiana
Nmic	Nitrogênio Biomassa Microbiana
PT	Porosidade Total
CA	Capacidade de Aeração
RP	Resistência à penetração
Par/pt	Capacidade de Armazenamento de Ar
Cc/pt	Capacidade de Armazenamento de Água
PCA	Análise de Componentes Principais
CC	Capacidade de Campo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	22
2	OBJETIVO GERAL.....	23
3	JUSTIFICATIVA.....	23
4	HIPÓTESE.....	24
5	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
5.1	Sistemas de cultivos na agricultura.....	24
5.2	Importância das plantas de cobertura nos sistemas de preparo do solo.....	24
5.3	Atributos físicos do solo e os sistemas de preparo.....	26
5.4	Efeito da planta de cobertura sobre a atividade microbiana do solo.....	26
	REFERÊNCIAS.....	29
	SEÇÃO I.....	34
1	INTRODUÇÃO.....	35
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.1	Localização da área experimental.....	36
2.2	Histórico da área experimental.....	39
2.3	Delineamento experimental.....	40
2.4	Manejo das culturas e do solo.....	40
2.5	Avaliação de biomassa das plantas de cobertura.....	42
2.6	Teor de prolina e carboidratos em folhas do algodoeiro.....	42
2.7	Biometria, componentes de produção, produtividade e qualidade de fibra.....	42
2.8	Análise estatística.....	43
3	RESULTADOS.....	43
4	DISCUSSÃO.....	53
5	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	SEÇÃO II.....	62

1	INTRODUÇÃO.....	64
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
2.1	Localização da área experimental.....	65
2.2	Histórico da área experimental.....	67
2.3	Delineamento experimental.....	68
2.4	Manejo das culturas e do solo.....	68
2.5	Atributos físicos do solo.....	70
2.6	Atributos microbianos do solo.....	72
2.7	Análise estatística.....	73
3	RESULTADOS.....	74
3.1	Atributos físicos do solo.....	74
3.2	Atributos microbianos do solo.....	82
3.3	Influência dos atributos físicos e biológico sob a produtividade de fibra.....	88
4	DISCUSSÃO.....	90
4.1	Qualidade física do solo.....	90
4.2	Atributos microbianos do solo.....	92
4.3	Influência dos atributos físicos e biológicos sob a produtividade de fibra.....	95
5	CONCLUSÕES.....	96
	REFERÊNCIAS.....	97
	SEÇÃO III.....	104
1	INTRODUÇÃO.....	106
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	107
2.1	Localização da área experimental.....	107
2.2	Histórico da área experimental.....	110
2.3	Delineamento experimental.....	111
2.4	Manejos das culturas e do solo.....	111
2.5	Fracionamento físico e químico da matéria orgânica.....	113
2.6	Análise estatística.....	115

3	RESULTADOS.....	116
3.1	Fracionamento físico da matéria orgânica.....	116
3.2	Fracionamento químico da matéria orgânica.....	122
3.3	Influência de diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura no fracionamento físico e químico da matéria orgânica em solo arenoso.....	125
4	DISCUSSÃO.....	127
4.1	Fracionamento físico da matéria orgânica.....	127
4.2	Fracionamento químico da matéria orgânica.....	128
4.3	Influência de diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura no fracionamento físico e químico da matéria orgânica em solo arenoso.....	129
5	CONCLUSÕES.....	130
	REFERÊNCIAS.....	131

1 INTRODUÇÃO GERAL

O avanço da pesquisa na agricultura possibilitou o aumento da produção e produtividade de grãos, fibras e carne. Com a necessidade de redução do desmatamento, a expansão tem sido feita em áreas de pastagens degradadas e em muitos casos sob solos de textura arenosa, caracterizados pela baixa fertilidade. No Brasil há aproximadamente 158 milhões de hectares cultivados com pastagens (IBGE, 2021), e cerca de 78% deles encontra-se em algum nível de degradação, sem manejo rotacionado de gado e uso de fertilizantes (Bolfe *et al.*, 2024). No Oeste Paulista, a área de pastagem é de cerca de 1 milhão de hectares enquanto degradados, são arrendadas para cultivo de lavouras temporárias, como o algodoeiro, com o objetivo de reforma do pasto, exigindo a correção da acidez do solo por meio de incorporação dos corretivos (Vieira *et al.*, 2021).

Embora o cultivo do algodoeiro no Brasil sob preparo convencional (PC) tenha diminuído devido à sucessão com a soja, o uso de arado e grade ainda é realizado em algumas lavouras (Ferreira *et al.*, 2010), resultando em redução no teor de matéria orgânica e de nutrientes. A partir da sexta safra, a produtividade de fibra do algodoeiro semeado sob PC tem se mostrado menor em comparação ao sistema de semeadura direta (SSD), além do aumento dos teores de N e do estoque de carbono (C) no solo em profundidade no SSD (Ferreira *et al.*, 2019).

O uso de sistemas de manejo que visam a sustentabilidade no agrossistema, como o SSD, tende a aumentar o acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo reduzindo a evaporação de água do solo e aumentando o aporte de matéria orgânica, e a resiliência das lavouras quando em condições edafoclimáticas adversas, especialmente em solos arenosos e baixas altitudes, em que as temperaturas limitam a produtividade das culturas (Nouri *et al.*, 2020). Ademais, o SSD tem melhor estabilidade estrutural devido a preservação das raízes no solo com reflexos na atividade biológica do solo. Além disso, a palha presente na superfície do solo é uma barreira protetora contra a radiação solar direta e contra o impacto das gotas de chuva diminuindo assim as perdas de solo e água e aumentando a produtividade das culturas (Gomes *et al.*, 2015).

O equilíbrio entre os componentes físicos, químicos e biológicos do solo cria condições favoráveis para o desenvolvimento das culturas em situações de adversidade ambiental. Portanto, a introdução de gramíneas para o fornecimento de

palhada duradoura é uma estratégia no combate á compactação, a erosão e às perdas de água por evaporação com reflexos positivos na qualidade do solo (Calonego *et al.*, 2017). Embora o SSD proporcione maiores produtividades, isso só acontece com o uso contínuo de diversidade radicular (Nouri *et al.*, 2019). Os mesmos autores, ao compararem o SSD e o PC em um experimento de longa duração (33 anos), observaram melhorias nas propriedades físicas do solo e na produtividade do algodoeiro sob SSD.

Por outro lado, a introdução de plantas de cobertura sob sistemas com revolvimento do solo ajuda a mitigar as perdas de C (Raiesi, 2021) e aumentar e preservar as substâncias húmicas (ácido húmico, ácido fúlvico e húmina) da matéria orgânica (Sun *et al.*, 2012; Tiecher *et al.*, 2020; Rahmati *et al.*, 2020). Alguns trabalhos reportam o aumento de 10-15% sob SSD (Oorts *et al.*, 2007) no estoque de C e nitrogênio em relação ao PC (Tiecher *et al.*, 2020), reforçando a importância da proteção física da MO com mínima perturbação do solo e o uso de plantas de cobertura (Rahmati *et al.*, 2020).

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade e a qualidade de fibra do algodoeiro bem como os atributos físicos, biológicos do solo e o fracionamento físico e químico da matéria orgânica do solo de textura arenosa, sob diferentes sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura.

3 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade da produção do algodoeiro em solos arenosos, degradados e com baixo teor de matéria orgânica, demanda a adoção de técnicas conservacionistas do solo, como a redução da sua mobilização e a utilização de plantas de cobertura, que podem melhorar a condição física do solo, como a redução da compactação e o aumento da capacidade de armazenamento de água e ar do solo, aumento da atividade microbiana do solo, incremento do estoque de carbono e das frações da matéria orgânica. Porém, as características das plantas de cobertura devem ser consideradas de acordo com o tipo e a época de preparo do solo.

4 HIPÓTESE

O trabalho tem como hipótese que os atributos físicos e biológicos, o estoque de carbono e os parâmetros de produtividade de fibra são afetados pelo tipo de sistema de preparo e planta de cobertura em solo arenoso.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Sistemas de cultivos na agricultura

Em um cenário de mudanças climáticas, a conservação do solo e da água envolve a adoção de práticas conservacionistas, como o SSD e o uso de plantas de cobertura (Nouri *et al.*, 2020). A redução nas perdas de solo por erosão, a melhoria da infiltração de água, o aumento do carbono orgânico e da biodiversidade microbológica são proporcionadas pela introdução do SSD, beneficiando a qualidade do solo (Calegari *et al.*, 2020). Entretanto, as respostas benéficas do SSD para a cultura do algodoeiro são decorrentes do tempo de implementação. Toler *et al.* (2019) em sua meta análise relata a necessidade de um longo prazo de SSD para que o algodoeiro manifeste maiores produtividades comparado ao PC. Nouri *et al.* (2020) ao avaliar o cultivo do algodão sob SSD e PC durante 33 anos observaram maiores produtividades sob SSD após os 10 primeiros anos, o que pode ocorrer antes disso em solos tropicais.

Embora o PC proporcione maior produtividade da cultura do algodão em curto prazo devido ao aumento da aeração e infiltração de água, sistemas de manejo com a introdução de plantas de cobertura propiciam condições de solo que resultam em lavouras com maior resiliência às adversidades ambientais como altas temperaturas e falta de água (Nouri *et al.*, 2020; Calegari *et al.*, 2020). O preparo de solo tem como finalidade principal a incorporação de calcário em profundidade e a descompactação do solo. Desta forma, é considerada uma estratégia imediata positiva em curto prazo (Nouri *et al.*, 2020).

5.2 Importância das plantas de cobertura nos sistemas de preparo do solo

O uso de plantas de cobertura é uma prática agrícola que contribui para a melhoria da qualidade do solo, influenciando diretamente a produção. Suas

finalidades são a proteção do solo, melhoria na estruturação do solo, aumento de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, controle de erosão, supressão de plantas daninhas, nematoides e diversificação da comunidade microbiana, dentre outros. Desta forma o seu uso favorece sustentabilidade através da conservação do solo (Cordeiro *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020; Nouri *et al.*, 2020; Mazzuchelli *et al.*, 2020). A introdução das plantas de cobertura nos sistemas de produção permite o aumento quantitativo e qualitativo do carbono no solo (Cordeiro *et al.*, 2022). Além disso, estas plantas auxiliam na compensação de emissões antrópicas de gases do efeito estufa (Poeplau; Don, 2015; Pereira *et al.*, 2022).

O uso de plantas de cobertura aumenta o estoque de C e a qualidade física, química e biológica do solo. Estudos demonstram estratégias de manejo com uso de plantas de cobertura a fim de aumentar o estoque de carbono e qualidade do solo (Rahmati *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2022; Tiecher *et al.*, 2020). Também em sistema de PC, o uso de plantas de cobertura pode minimizar as perdas de matéria orgânica, incrementar a atividade microbiológica do solo, a infiltração de água, a ciclagem de nutrientes e a estruturação do solo (Li *et al.*, 2020).

Em regiões de solos tropicais, a introdução de plantas de cobertura em sistema com revolvimento do solo é essencial para proporcionar à cultura subsequente um ambiente biologicamente mais ativo. É necessário que os resíduos vegetais persistam sob a superfície do solo ao longo do ciclo do algodoeiro, proporcionando proteção e manutenção da umidade durante todo o desenvolvimento da cultura (Ferreira *et al.*, 2010). Os mesmos autores relatam uma elevada produção de matéria seca com o capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) e persistência durante o ciclo do algodoeiro, propiciando maiores produtividades do algodoeiro sob palhada desta gramínea. Contudo, culturas como o milheto (*Pennisetum glaucum*) possuem também um bom potencial de produção de biomassa, mas com um acelerado processo de decomposição (Ferreira *et al.*, 2016).

Consideradas como adubos verdes, as plantas de cobertura são utilizadas sob cultivo solteiro ou consorciado (Buchi *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020, Rocha *et al.*, 2023). Espécies gramíneas permitem alta produção de biomassa com elevada relação C:N; já espécies leguminosas têm por característica a fixação biológica de nitrogênio (Cordeiro *et al.*, 2021; Mazzuchelli *et al.*, 2020). Assim, a tomada de decisão da espécie a ser utilizada é essencial para aumentar a eficiência do sistema de preparo, como PC, SSD ou CM.

5.3 Atributos físicos do solo e os sistemas de preparo

O revolvimento do solo pode modificar a estruturação do solo, quando essa operação é realizada sob condições inadequadas de umidade e ausência de práticas conservacionistas, ela pode promover a degradação do solo (Franchini *et al.*, 2011). Como resultado tem-se a erosão que vem sendo acelerada por meio da ausência do planejamento e da redução pelo uso de boas práticas de conservação do solo na agricultura (Nafi *et al.*, 2020). O excessivo revolvimento e a incorporação dos resíduos culturais são as principais causas da degradação do solo, favorecendo o aumento da erosão acima do limite de tolerância para perdas de solo (Nouri *et al.*, 2019; Ayer *et al.*, 2015).

Visando proteger o solo contra erosão hídrica por meio da cobertura do solo, da melhoria da estrutura e infiltração de água, o SSD tem sido utilizado em substituição ao PC, e tem como fundamentação: o mínimo revolvimento do solo; rotação de culturas e cobertura permanente do solo por resíduos culturais. Solos cobertos pela palhada também promoveu o aumento do teor C orgânico (Nouri *et al.*, 2020). Longos períodos sem revolvimento do solo e sem o uso de plantas de cobertura contribuem para o aumento de impedimentos físicos devido à compactação bem como a restrições químicas, que limitam o aprofundamento do sistema radicular das culturas (Kaneko *et al.*, 2015).

Um solo compactado possui menos macroporos, tornando o ambiente com maior resistência à penetração, interferindo no estabelecimento e desenvolvimento das culturas (Nouri *et al.*, 2019) e intensificando problemas como o encharcamento do solo. Desta forma, a escarificação mecânica pode ser uma alternativa para a descompactação do solo, que comparada com outras práticas de preparo, como a aração, reduz a desagregação do solo (Bertol *et al.*, 2016), além de manter parte da palhada na superfície do solo. Porém, a escarificação pode aumentar a perda de matéria orgânica, reduzir a estabilidade de agregados e, conseqüentemente, aumentar as perdas de água e nutrientes por lixiviação (Tavares *et al.*, 2010).

5.4 Efeito da planta de cobertura sobre a atividade microbiana do solo

Dentre os sistemas de manejo, o SSD tem como um dos seus objetivos proteger o solo por meio dos resíduos culturais, reduzindo a evaporação de água e

intensificando a ciclagem de nutrientes. Além disso, outros fatores são influenciados, como a agregação do solo e a mitigação da emissão de carbono; e o aumento da atividade microbiana sob presença de palha no sistema, devido a umidade proporcionada ao solo, assim como a exsudação das raízes (Pang *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020).

O aporte de palha e o tempo de permanência dos resíduos sob o solo têm impacto na diversidade microbiana do solo (Mazzucheli *et al.*, 2020). Entre as comunidades microbiológicas, o grupo das bactérias é o mais abundante e diversificado, desempenhando um papel fundamental na decomposição da palha e na dinâmica da matéria orgânica (Li *et al.*, 2021). A atividade microbiológica do solo ocorre em maior intensidade nas camadas superficiais do solo, e diminui com o aumento da profundidade em função da redução do teor de MOS (Liu *et al.*, 2020).

O uso de plantas de cobertura na entressafra viabilizar a produção de fibra do algodoeiro pela melhoria da qualidade do solo via incremento do estoque de C e do conteúdo de substâncias húmicas (Cordeiro *et al.*, 2022). Além disso, as plantas de cobertura são importantes para o aumento da comunidade microbiana e da atividade enzimática do solo (Muhammad *et al.*, 2021; Thapa *et al.*, 2021).

O manejo do solo influencia diretamente a comunidade e a biomassa microbiana, principalmente quando ocorrem modificações nos teores de matéria orgânica, no pH, na temperatura e nas propriedades físicas no perfil do solo (Zhao *et al.*, 2016). Entretanto, mensurar a qualidade do solo envolve não somente os atributos físicos e químicos, mas também os biológicos (Sarto *et al.*, 2020). Os atributos biológicos indicam a correlação positiva ou negativa sobre o tipo de manejo empregado, uma vez que modifica a atividade dos microrganismos responsáveis por diversos processos, como a ciclagem de nutrientes, a solubilidade de compostos químicos, a síntese de substâncias húmicas, a agregação e desagregação de componentes xenobióticos (Nouri *et al.*, 2019).

Embora na literatura há resultados que correlacionam a atividade microbiana do solo com o aumento produtivo das culturas (Nouri *et al.*, 2019, Cordeiro *et al.*, 2021), poucos trabalhos são encontrados em relação à produtividade do algodoeiro em solos arenosos. Ferreira *et al.* (2020) relatam o incremento da produtividade e do estoque de C e N do solo em SSD e rotação de culturas, evidenciando a importância do uso de plantas de cobertura que proporcionam maior qualidade biológica do solo e produtividade de fibra (Cordeiro *et al.*, 2021). Essa estratégia é relevante,

principalmente em solos arenosos tropicais devido á acelerada mineralização da matéria orgânica, baixa atividade microbiológica e fertilidade do solo, sendo necessário o uso de manejos que aumentem a infiltração de água, a agregação do solo e a qualidade biológica.

Os teores de C e N da biomassa microbiana e os índices de respiração basal do solo são indicadores sensíveis ao manejo (Balota *et al.*, 2013). Outros parâmetros são a atividade enzimática do solo, como da enzima desidrogenase, que participa do processo de oxidação da matéria orgânica na cadeia respiratória dos microrganismos (Wolinska; Stepniewska, 2012), a arilsulfatase, que participa do ciclo do enxofre (S), sendo sua ocorrência relacionada com a biomassa microbiana e o nível de imobilização de S (Chen *et al.*, 2019; Balota *et al.*, 2013); a β -glicosidase, que participa do ciclo do C na degradação de componentes vegetais (celulose), fornecendo informações sobre as diferenças de sistemas de cultivo (Sarto *et al.*, 2020).

Assim como a textura do solo, o manejo empregado irá modificar a atividade biológica do solo. Mikanová *et al.*, (2009) investigaram os efeitos de cinco anos com SSD (resíduo de pós-colheita), PC (resíduo de pós-colheita + incorporação de forrageira) e PDF (resíduo de pós-colheita + forrageira) e os resultados mostraram influência positiva na revitalização do solo com maior atividade biológica do carbono da biomassa microbiana sob o PDF, e maior atividade da enzima desidrogenase sob SSD.

A formação de proteínas do solo como a glomalina também é alterada pelo manejo e textura do solo. A glomalina é uma glicoproteína produzida por fungos micorrízicos, podendo afetar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Galazka *et al.*, 2020). A glomalina desempenha papel importante não só no sistema simbiótico entre as raízes das plantas e fungos, mas também no processo de transformação de matéria orgânica, auxiliando na estruturação do solo (Jamiołkowska *et al.*, 2017; Staunton *et al.*, 2020; Jha *et al.*, 2020). Portanto, o uso de plantas com grande volume de raízes resulta em maior produção de glomalina (Balota *et al.*, 2014). Sistemas com uso de gramíneas antes do cultivo do algodoeiro apresentaram maiores teores de glomalina facilmente extraível em solo arenoso (Cordeiro *et al.*, 2021).

REFERÊNCIAS

- AYER, J. E. B.; OLIVETTI, D.; MINCATO, R. L.; SILVA, M. L. N. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p. 180-191, 2015. DOI: 10.1590/1983-40632015v4531197.
- BALOTA, E. L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.197, n.31-40, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.07.010
- BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. *In*: Araújo, A. P.; Alves, B. J. R. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2013. v. 8, p. 189-250.
- BERTOL, O. J.; AZEVEDO, M. L.; BRAGAGNOLO, E. A.; BODNAR, A. **Manejo e conservação do solo e da água**. Paraná: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, 2016. 53 p. (Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar). Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/manejo-e-conservacao-do-solo-e-da-agua.pdf>. Acesso: 10 out. 2023.
- BOLFE, É. L.; VICTORIA, D. D. C.; SANO, E. E.; BAYMA, G.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; OLIVEIRA, A. F. Potential for agricultural expansion in degraded pasture lands in Brazil based on geospatial databases. **Land**, v.13, n. 2, p. 200, 2024. DOI: 10.3390/land13020200.
- BUCHI, L.; WENDLING, M.; AMOSSÉ, C.; NECPALOVA, M.; CHARLES, R. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 256, p. 92-104, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2018.01.005.
- CALEGARI, A.; TIECHER, T.; WUTKE, E. B.; CANALLI, L. B. S.; BUNCH, R.; RHEINHEIMER, D. S. The role and management of soil mulch and cover crops in Conservation Agriculture systems. **Advances in Conservation Agriculture**, v. 1, p. 179-248, 2020. DOI: 10.19103/AS.2019.0048.05.
- CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J. P.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017. DOI: 10.1016/j.eja.2017.02.001.
- CHEN, H.; LIU, J.; LI, D.; XIAIO, K.; WANG, K. Controls on soil arylsulfatase activity at a regional scale. **European Journal of Soil Biology**, v. 90, p. 9-14, 2019. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2018.11.001.
- CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; SILVA, G. F. D.; ECHER, F. R.; CALONEGO, J. C. Soil organic carbon stock is improved by cover crops in a tropical sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 2, p. 1546-1556, 2022. DOI: 10.1002/agj2.21019.

CORDEIRO, C. F. S.; ECHER, F. R.; ARAUJO, F. F. Cover crops impact crops yields by improving microbiological activity and fertility in sandy soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 1968–1977, 2021. DOI: 10.1007/s42729-021-00494-0.

FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; BOGIANI, J. C.; SILVA, M. A. S. D.; SILVA FILHO, J. L. D.; STAUT, L. A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the brazilian cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 42, 2019. DOI: 10.4025/actasciagron.v42i1.43039.

FERREIRA, A. C. B.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F. M. **Sistemas de cultivo de plantas de cobertura para a semeadura direta do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 377)

FERREIRA, A. C. B.; LAMAS, F. M.; CARVALHO, M. C. S.; SALTON, J. C.; SUASSUNA, N. D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio SSD. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 45, n. 6, p. 546-553, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000600003.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M. da; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 50 p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

GALAŻKA, A.; NIEDŹWIECKI, J.; GRZAŹDZIEL, J.; & GAWRYJOŁEK, K. Evaluation of changes in Glomalin-Related Soil Proteins (GRSP) content, microbial diversity and physical properties depending on the type of soil as the important biotic determinants of soil quality. **Agronomy**, v.10, n.9, p.1279, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091279.

GOMES, R. L. R.; SILVA, M. C.; COSTA, F. R.; LIMA, A. F. J.; OLIVEIRA, I. P.; SILVA, D. B. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 8, n. 5, p.72-139, 2015. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2020.103253.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2006**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 25 de jan. 2021.

JAMIOŁKOWSKA, A.; KSIEŻNIAK, A.; HETMAN, B.; KOPACKI, M.; SKWARYŁO-BEDNARZ, B.; GALAŻKA, A.; THANOON, A. H. Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with plants and soil microflora. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 16, n. 5, p. 89-95, 2017. DOI: 10.24326/asphc.2017.5.9.

JHA, P.; HATI, K. M.; DALAL, R. C.; DANG, Y. P.; KOPITTKE, P. M.; MCKENNA, B. A.; MENZIES, N. W. Effect of 50 years of no-tillage, stubble retention, and nitrogen fertilization on soil respiration, easily extractable glomalin, and nitrogen mineralization. **Agronomy**, v. 12, n. 1, p. 151, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12010151.

KANEKO, F. H.; ARF, M. V.; BEM, E. A. D.; BUZETTI, S.; LEAL, A. J. F.; GITTI, D. C. Doses de gesso e desenvolvimento da cultura da soja em Latossolo Vermelho argiloso em regiões de cerrado. **Revista Agrarian**, v. 8, n. 29, p.253-259, 2015.

LI, Y.; LI, Z.; CHANG, S. X.; CUI, S.; JAGADAMMA, S.; ZHANG, Q.; CAI, Y. Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. **Science of The Total Environment**, v. 740, p.140147, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140147.

LI, Y. M.; DUAN, Y.; WANG, G. L.; WANG, A. Q.; SHAO, G. Z.; MENG, X. H.; HU, H. Y.; ZHANG, D. M. Straw alters the soil organic carbon composition and microbial community under different tillage practices in a meadow soil in Northeast China. **Soil and Tillage Research**, v. 208, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104879.

LIU, M.; ZHANG, W.; WANG, X.; WANG, F.; DONG, W.; HU, C.; LIU, B.; SUN, R. Nitrogen leaching greatly impacts bacterial community and denitrifiers abundance in subsoil under long-term fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 294, 2020. DOI: 10.1016/j.agee.2020.106885.

MAZZUCHELLI, R. D. C. L.; ARAUJO, A. S. F.; MORO, E.; ARAUJO, F. F. Changes in soil properties and crop yield as a function of early desiccation of pastures. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 840–848, 2020. DOI: 10.1007/s42729-019-00169-x.

MIKANOVÁ, O.; JAVŮREK, M.; ŠIMON, T.; FRIEDLOVÁ, M.; VACH, M. The effect of tillage systems on some microbial characteristics. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 72-76, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2009.05.010.

MUHAMMAD, I.; WANG, J.; SAINJU, U. M.; ZHANG, S.; ZHAO, F.; KHAN, A. Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: a meta-analysis. **Geoderma**, v. 381, p. 114696, 2021. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114696.

NAFI, E.; WEBBER, H.; DANSO, I.; NAAB, J.B.; FREI, M.; GAISER, T. Interactive effects of conservation tillage, residue management, and nitrogen fertilizer application on soil properties under maize – cotton rotation system on highly weathered soils of west Africa. **Soil and Tillage Research**, v. 196, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104473.

NOURI, A.; JAEHOON LEEA, J.; YODERA, D.C.; JAGADAMMA, S.; WALKERA, F.R.; YINB, X.; ARELLIC, P. Management duration controls the synergistic effect of tillage, cover crop, and nitrogen rate on cotton yield and yield stability. **Soil & Tillage Research**, v. 301, p. 007-107, 2020. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107007.

NOURI, A.; LEEA, J.; YINB, X.; TYLER, D. D.; SAXTON, A. A. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in alfisols, southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998-1008, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.016.

OORTS, K.; BOSSUYT, H.; LABREUCHE, J.; MERCKX, R.; NICOLARDOT, B. Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. **European Journal Soil Science**, v.58, p.248–259, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00832.x.

PANG, C.; CHEN, J.; JIN, M.; LI, H.; LUO, Y.; LI, W.; CHANG, Y.; LI, L.; WANG, Z. Changes in soil micro- and macro-aggregates associated carbon storage following straw incorporation. **Catena**, v. 190, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104555.

PEREIRA, G. S.; ANGNES, G.; FRANCHINI, J. C.; DAMIAN, J. M.; CERRI, C. E. P.; ROCHA, C. H.; TAVARES FILHO, J. Soil nitrous oxide emissions after the introduction of integrated cropping systems in subtropical condition. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 323, p.107684, 2022. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107684.

POEPLAU, C.; DON, A. Sequestro de carbono em solos agrícolas por meio do cultivo de plantas de cobertura: uma meta-análise. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**, v. 200, p. 33-41, 2015. DOI: 10.1016/j.agee.2014.10.024.

RAHMATI, M.; ESKANDARI, I.; KOUSELOU, M.; FEIZIASL, V.; MAHDAVINIA, G. R.; ALIASGHARZAD, N.; MCKENZIE, B. M. Changes in soil organic carbon fractions and residence time five years after implementing conventional and conservation tillage practices. **Soil and Tillage Research**, v. 200, p. 104632, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2020.104632.

RAIESI, F. The quantity and quality of soil organic matter and humic substances following dry-farming and subsequent restoration in an upland pasture. **Catena**, v. 202, p. 105249, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105249.

ROCHA, C. H.; SILVA, G. R. A.; ECHER, F. R. Applying potassium to ruzigrass prior to cotton reduces the nitrogen requirement and improves yield in a sandy soil under low water availability. **Industrial Crops and Products**, v. 198, p. 116676, 2023. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116676.

SARTO, M. V. M.; BORGES, W. L. B.; BASSEGIO, D.; PIRES, C. A. B.; RICE, C. W.; ROSOLEM, C. A. Soil microbial community, enzyme activity, C and N stocks and soil aggregation as affected by land use and soil depth in a tropical climate region of Brazil. **Archives of Microbiology**, v. 202, p. 2809–2824, 2020. DOI:10.1007/s00203-020-01996-8.

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258. p. 107947, 2020. DOI:10.1016/j.fcr. 2020.107947.

STAUNTON, S.; SABY, N. P.; ARROUAYS, D.; QUIQUAMPOIX, H. Can soil properties and land use explain glomalin-related soil protein (GRSP) accumulation? a nationwide survey in France. **Catena**, v. 0193, p. 104620, 2020.

SUN, C. Y.; LIU, J. S.; WANG, Y.; ZHENG, N.; WU, X. Q.; LIU, Q. Effect of long-term cultivation on soil organic carbon fractions and metal distribution in humic and fulvic acid in black soil, Northeast China. **Soil Research**, v. 50, n. 7, p. 562-569, 2012. DOI:10.1071/SR12100.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Atributos físicos de Latossolo distrófico psamítico sob diferentes usos agrícolas. **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo, v. 34, p. 925-933, 2010. DOI:10.1590/S0100-06832010000300034.

THAPA, V. R.; GHIMIRE, R.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; MARSALIS, M. A.; SCHIPANSKI, M. E. Cover crop biomass and species composition affect soil microbial community structure and enzyme activities in semiarid cropping systems. **Applied Soil Ecology**, v. 157, p. 103735, 2021. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103735.

TIECHER, T.; GUBIANI, E.; SANTANNA, M. A.; VELOSO, M. G.; CALEGARI, A.; CANALLI, L. B. S.; FINCKH, M.; CANER, L.; RHEINHEIMER, D. S. Effect of 26-years of soil tillage systems and winter cover crops on C and N stocks in a Southern brazilian oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. e0200029, 2020. DOI:10.36783/18069657rbcs20200029.

TOLER, H. D.; AUGÉ, R. M.; BENELLI, V.; ALLEN, F. L.; ASHWORTH, A. J. Global meta-analysis of cotton yield and weed suppression from cover crops. **Crop Science**, v. 50, 2019. DOI:10.2135/cropsci2018.10.0603.

VIEIRA, D. L. M.; SANO, E. E.; SILVA, T. A classification of cultivated pastures in the brazilian cerrado for sustainable intensification and savanna restoration. **Ambio**, v. 5, p. 1219-1226, 2022. DOI: 10.1007/s13280-021-01646-3.

WOLINSKA, A.; STEPNIEWSKA, Z. **Dehydrogenase Activity in the Soil Environment**. In: "Dehydrogenases". Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Canuto, RA, 2012, cap.8, p. 184. DOI: <https://doi.org/10.5772/48294>

WU, L.; MA, H.; ZHAO, Q.; ZHANG, S.; WEI, W.; DING, X. Changes in soil bacterial community and enzyme activity under five years straw returning in paddy soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 100, 2020. DOI:10.1016/j.ejsobi.2020.103215.

ZHAO, S.; LI, K.; ZHOU, W.; QIU, S.; HUANG, S.; HE, P. Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north central China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 82–88, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2015.09.028.

SEÇÃO I

IMPACTOS DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E DE PLANTAS DE COBERTURA NA PRODUTIVIDADE E NA QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO EM SOLOS ARENOSOS

Resumo

A fragilidade dos solos arenosos demanda a adoção de práticas conservacionistas com introdução de plantas de cobertura para aumentar o potencial produtivo do algodoeiro. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de sistemas de preparo do solo: sistema de semeadura direta (SSD), cultivo mínimo (CM), preparo convencional do solo no Outono (PCO) e preparo convencional do solo na Primavera (PCP) associado com plantas de cobertura: milheto e o capim mombaça, sobre parâmetros fisiológicos, produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro. O experimento foi conduzido em solo de textura arenosa nas safras 2020/2021 e 2021/2022. O teor de prolina em folhas do algodoeiro aumentou nas folhas do algodoeiro sob PCO com milheto em ambas as safras. O teor de carboidratos nas folhas do algodoeiro foi maior sob PCP, tanto sobre milheto quanto capim mombaça na safra 2020/2021. O número de capulhos e a produtividade de fibra foram 22% e 14% sob PCP+milheto e CM+mombaça na safra 2021/2022. O micronaire, comprimento e resistência da fibra do algodoeiro aumentaram sob CM+milheto, embora todos os parâmetros de qualidade de fibra estiveram dentro da classe adequada para comercialização. Mesmo em uma curta janela de plantio, o milheto introduzido em PCP é uma boa opção para incrementar a produtividade de fibra do algodoeiro. A produtividade de fibra no PCP é responsiva ao aumento da matéria seca das culturas de cobertura. Em condições de sistemas sob CM e PCO o uso do capim mombaça aumenta a produtividade de algodão. Os sistemas de preparo e as plantas de cobertura não afetaram a qualidade de fibra.

Palavra-chave: Mombaça; milheto; escarificação; semeadura direta; preparo convencional.

1 INTRODUÇÃO

Práticas agrícolas de monocultura e sistemas convencionais sem a adoção de plantas de cobertura resultam em degradação do solo, limitação no sequestro de C (Guimarães *et al.*, 2013), por consequência, redução no potencial produtivo pela perda da qualidade do solo (Pittelkow *et al.*, 2015; Nouri *et al.*, 2019). Isso é relatado particularmente em solos arenosos, que ocupam cerca de 900 milhões de hectares no mundo e aproximadamente 8% da área brasileira (Hartemink; Huting, 2005; Donagemma *et al.*, 2016). Esses solos possuem baixos teores de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nutrientes, além de serem altamente susceptíveis a erosão, tornando seu manejo complexo e desafiador aos produtores.

O preparo de solo com escarificação ou gradagem ainda é estratégia muito utilizada visando a descompactação do solo e a incorporação de corretivos para a correção de acidez. Contudo, os principais efeitos negativos são a diminuição do estoque de carbono no solo e a perda de água e nutrientes por lixiviação (Nouri *et al.*, 2019; Bertol *et al.*, 2016; Tavares *et al.*, 2010). Por outro lado, os sistemas de manejo conservacionistas visam o aumento da qualidade do solo, o que torna o ambiente mais favorável ao desenvolvimento e produtividade das culturas.

Além da proteção do solo, as plantas de cobertura melhoram a retenção e a disponibilidade de água, ciclagem de nutrientes e a diversificação microbiológica do solo, potencializando a produtividade do algodoeiro. Embora seja comprovado o aumento na produtividade da cultura sob sistemas de semeadura direta, Pittelkow *et al.* (2015) relatam em sua meta-análise que a produtividade do algodoeiro sob SSD e PC em experimentos de curto prazo se assemelham. Além disso, a elevação da produtividade no SSD se dá pelo uso desta prática a longo prazo (Nouri *et al.*, 2020; Reddy *et al.*, 2009).

Em lavouras já instaladas no SSD, o tráfego de máquinas pode provocar a compactação do solo, problema este que tem sido manejado por alguns produtores com o uso de escarificador (Seidel *et al.*, 2018). Essa estratégia favorece o crescimento radicular, aumenta a capacidade de infiltração de água, a macroporosidade e diminui a densidade do solo. Contudo, estudos apontam que a eficiência desta prática não melhorou a produtividade da soja em solo arenoso (Feba *et al.*, 2018).

As projeções climáticas indicam maior frequência de ondas de calor e secas simultâneas, aumento ou diminuição de precipitações, provocando vulnerabilidade do setor agrícola (IPCC, 2021). Nesse contexto, os processos fisiológicos, como a fotossíntese das culturas, são afetados negativamente, reduzindo o crescimento e consequentemente a sua produtividade, devido a menor assimilação de CO₂ (Loka; Oosterhuis, 2010; Yi *et al.*, 2016).

Para enfrentar a restrição hídrica, as plantas produzem compostos, como a prolina que auxiliam na osmorregulação, osmoproteção, armazenamento e transferência de energia metabólica e estabilização de proteínas e enzimas (Guan *et al.*, 2020). Embora a prolina seja um aminoácido produzido pelas plantas em condições normais, sob situação de estresse sua produção aumenta. Além disso, atua como molécula sinalizadora que induz o aumento da atividade de enzimas antioxidantes (Guan *et al.*, 2020; Rejeb *et al.*, 2014), portanto pode ser uma indicadora do nível de estresse das plantas.

Tanto o excesso quanto a falta de água no solo podem comprometer os parâmetros de qualidade de fibra, pela expansão da célula que é impulsionada pela pressão de turgor, isso porque a fibra é composta por mais de 90% de celulose, ou seja, qualquer interferência na fotossíntese pode reduzir a produção de carboidratos e prejudicar o desenvolvimento da fibra (Geitmann; Ortega 2009; Khalil *et al.*, 2015).

Desta forma, o uso de práticas que melhorem a conservação de água no solo, como a introdução de plantas de cobertura, pode melhorar o desempenho produtivo do algodoeiro em solos arenosos. Este trabalho tem como hipótese que em um solo arenoso, as características das plantas de cobertura e a época de sua implementação em diferentes sistemas de preparo de solo influenciam no incremento da produtividade e da qualidade de fibra do algodoeiro. O objetivo do estudo foi avaliar atributos fisiológicos, a produtividade e a qualidade de fibra do algodoeiro sob diferentes sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura.

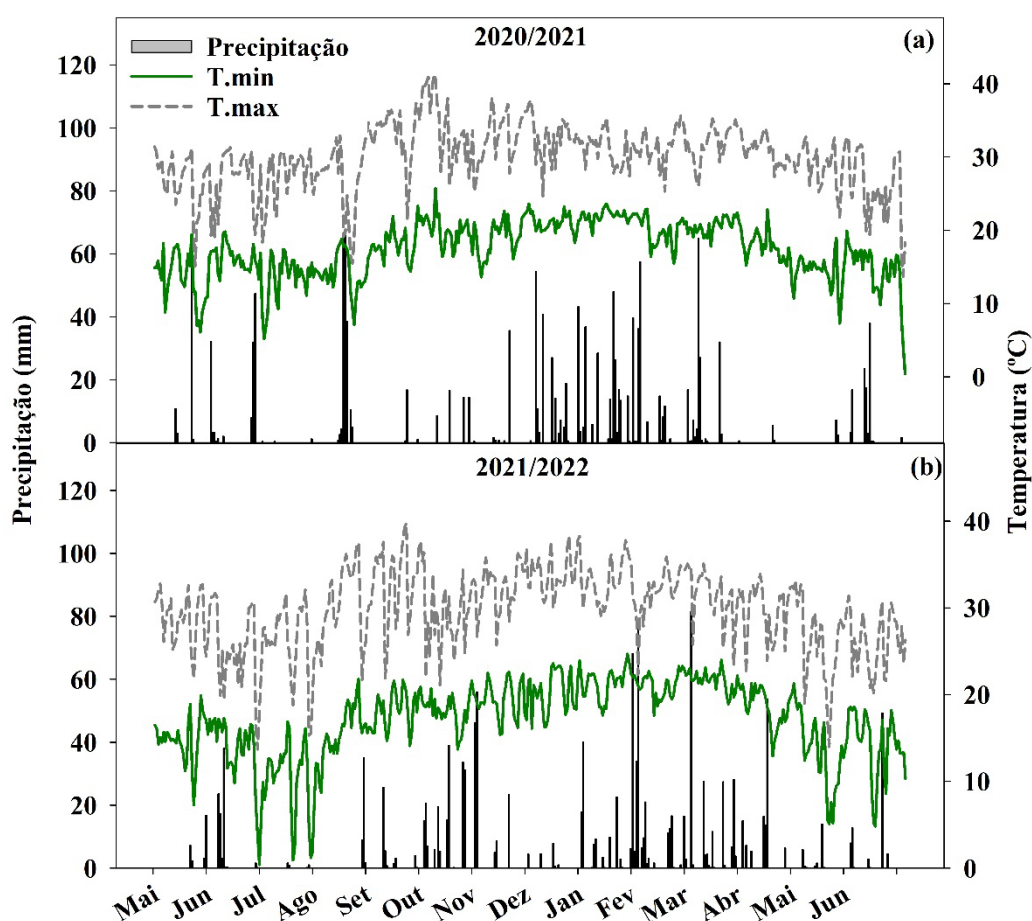
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, no município de Presidente Bernardes-SP, nas safras

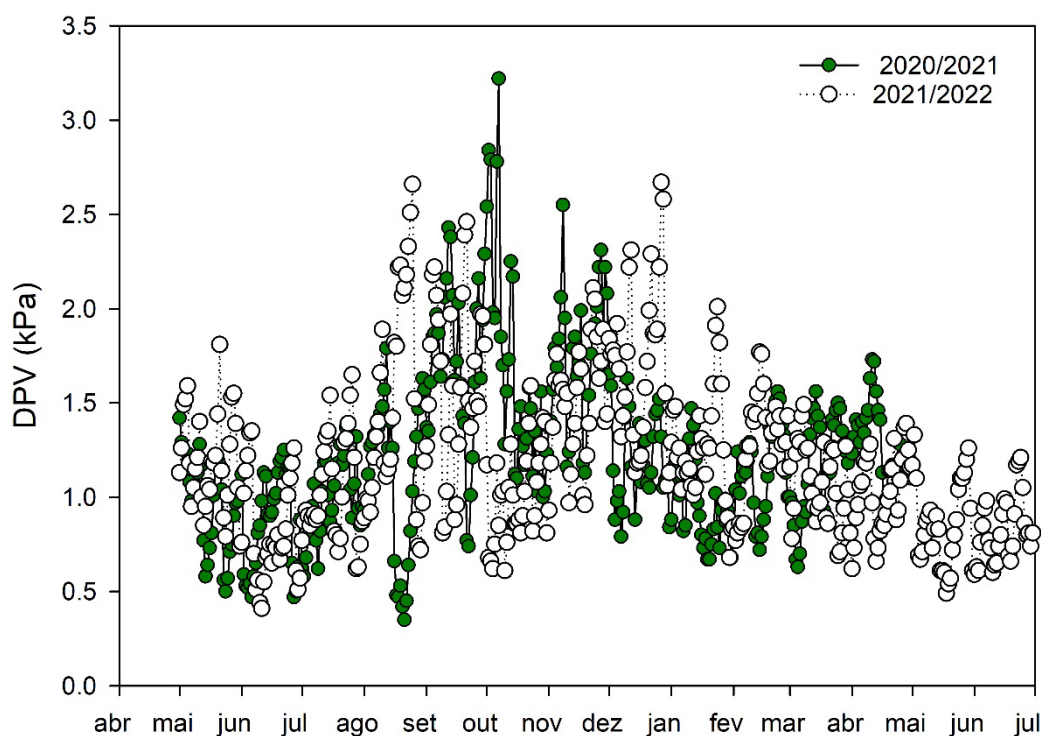
2020/2021 e 2021/2022. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018). A área experimental situa-se nas coordenadas geográficas: 22° 07' 32" Latitude Sul e 51° 23' 20" Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 475 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw. Os dados diários de temperatura, precipitação pluvial, déficit de pressão de vapor e balanço hídrico coletados durante a condução do experimento são apresentados nas Figura 1, 2 e 3.

Figura 1 — Valores diários de temperatura e precipitação pluvial durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



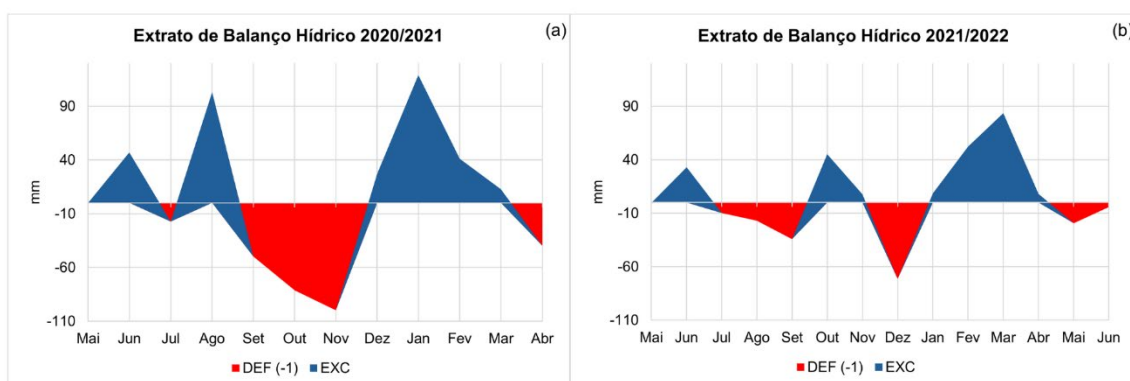
Fonte: A autora.

Figura 2 — Déficit de pressão de vapor diário durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Figura 3 — Balanço hídrico durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



Fonte: A autora.

Em setembro de 2020 e 2021 amostrou-se o solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para a caracterização das propriedades químicas, conforme metodologia proposta por Raji *et al.* (2001), e granulométrica, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Características do solo durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 (a), 2018/2019 (b), 2020/2021 (c) e 2021/2022 (d).

Safra	Prof. cm	pH	M.O g dm ⁻³	P (mg dm ⁻³)	H + Al ----- (mmolc dm ⁻³) -----	K	Ca	Mg	CTC	Argila	Silte	Areia
2017/2018	0-0,20	5,0	12,1	11,8	17,6	0,6	11,8	5,9	35,9	146	22	832
	0,20-0,40	4,7	10,0	3,4	19,6	0,4	3,7	2,9	26,6	145	39	817
2018/2019	0-0,20	5,7	14,2	11,0	15,1	1,3	49,2	17,2	82,6	-	-	-
	0,20-0,40	5,0	10,3	6,0	18,4	1,0	19,2	5,9	44,5	-	-	-
2020/2021	0-0,20	5,8	15,7	34,2	13,6	1,6	12,7	6,8	34,6	-	-	-
	0,20-0,40	5,0	13,4	2,7	18,6	1,3	7,2	4,1	31,2	-	-	-
2021/2022	0-0,20	5,0	21,5	53,6	19,6	1,6	15,2	5,5	41,9	-	-	-
	0,20-0,40	4,6	19,9	34,5	19,6	1,9	10,9	4,6	36,9	-	-	-

Fonte: A autora.

2.2 Histórico da área experimental

Até 2015 a área experimental era ocupada por pastagem degradada; foi introduzida a soja na safra de 2015/2016, e a área ficou em pousio em 2016/2017 (Fig. 4A). Em março de 2017 iniciou-se a implementação dos tratamentos com sistema de semeadura direta (SSD) e preparo convencional do solo (PC). No SSD foi semeado o capim mombaça (março 2017 e abril de 2018 e 2019) e em julho de 2017 e julho de 2018 foi realizada a aplicação de 2,5 e 1,2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico sem incorporação. Em outubro de 2017, 2018 e 2019 foram realizados os preparos mecânicos no sistema de preparo convencional (arado de disco e grade niveladora) a profundidade de 20 cm (Fig. 4A).

O capim mombaça foi dessecado no SSD em setembro (3 L do ingrediente ativo (i.a.) ácido de glifosatos+Sal de isopropilamina (360+480 g/L) e a semeadura do algodoeiro foi realizada em outubro de cada ano. Na safra 2020/2021 ocorreu a implementação dos tratamentos, objeto de estudo deste trabalho, e o tratamento sistema de semeadura direta (SSD) foi dividido em sistema de semeadura direta (SSD) e CM (cultivo mínimo) (escarificação) e o tratamento sob preparo convencional foi dividido em épocas de preparo do solo: no outono (PCO) e na primavera (PCP) (Fig. 4B). Em todos os tratamentos foram introduzidas após o preparo de solo duas plantas de cobertura, o milho e o capim mombaça.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-divididas, com cinco repetições. Nas parcelas foram alocados os preparos do solo: 1- SSD; 2- CM; 3- Preparo convencional no Outono (PCO) e 4- Preparo convencional na Primavera (PCP). As sub-parcelas foram constituídas de plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum* (L.)) e capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) (Figura 2). Cada parcela foi demarcada com dimensões de 3,6 m de largura x 25 m de comprimento e a sub-parcela 3,6 m x 12 m.

2.4 Manejo das culturas e do solo

Em 08/05/2020 e 17/06/2021 aplicou-se em área total 1,5 Mg ha⁻¹ de dologesso (Ca – 22,3%, Mg – 5,7%, S – 3%). Em seguida, realizou-se a escarificação (até 0,15 m) no tratamento com CM e o preparo de solo no tratamento PCO (uma aração pesada e duas gradagens niveladoras até 0,30 m), e a semeadura das plantas de cobertura com plantadeira na profundidade de 0,2 m nos tratamentos CM, PCO e SSD (Figura 2). O solo do tratamento PCP foi revolvido em 20/08/2020 após um acúmulo de chuva de 179 mm e em 01/09/2021 após 36,8 mm de precipitação, e a semeadura das plantas de cobertura ocorreu em sequência com plantadeira na profundidade de 0,2 m (Figura 4).

A dessecação química das plantas de cobertura ocorreu em 30/10/2020 e 21/10/2021, com aplicação de 3 L ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.) ácido de glifosatos+Sal de isopropilamina (360+480 g/L) e 1 L ha⁻¹ do i.a. cletodim (240 g/L) para o controle do capim amargoso (Figura 2).

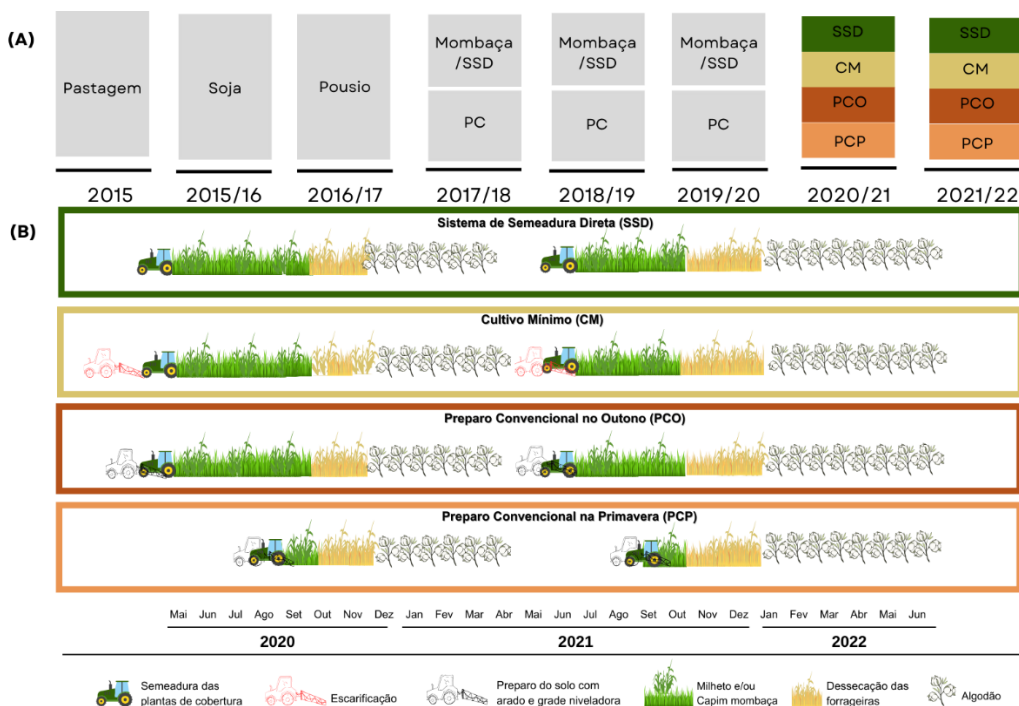
A semeadura do algodoeiro foi realizada 10/12/2020 e 30/12/2021 utilizando espaçamento de 0,90 m entre linhas e 8 sementes por metro de linha. Foram implantadas as variedades FM 985GLTP na safra 2020/2021 e TMG 21 GLTP na safra 2021/2022. O uso de diferentes cultivares é justificado pelo melhor desempenho produtivo, avaliado em um ensaio de competição de cultivares regional, e considerando que o ano agrícola não foi uma fonte de variação, não há prejuízo do ponto de vista da validação dos resultados.

A adubação de base no sulco de semeadura foi de 24 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fosfato monoamônico). A adubação potássica foi parcelada em três

vezes de 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, sendo a primeira realizada aos 30 dias antes da dessecação das plantas de cobertura e duas aplicações aos 25 e 45 dias após emergência do algodoeiro (DAE). Foi realizada a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N (Ureia) em cobertura aos 25 e 45 DAE, totalizando 100 kg ha⁻¹ de N.

O manejo fitossanitário da cultura do algodoeiro incluiu o controle de tripes (*Frankliniella schultzei*) utilizando-se imidacloprid+beta-ciflutrina (100+12,5 g ha⁻¹ do i.a); pulgão (*Aphis gossypii*) com o i.a. acefato (750 g ha⁻¹); bicudo (*Anthonomus grandis*) com o i.a. tiametoxam+lambda-cialotrina (141+106 g ha⁻¹) e malationa (1000 g L⁻¹ do i.a). A desfolha do algodoeiro foi realizada na safra 2020/2021 com 132 DAE e em 2021/2022 com 160 DAE antes da colheita com a aplicação de diurom + tidiazurom (60+120 g ha⁻¹ do i.a). A aplicação do maturador foi realizada 5 dias após a desfolha, utilizando-se o ethephon na dose de 480 g ha⁻¹ do i.a.

Figura 4 — Representação gráfica do histórico da área (A) e das operações realizadas nos tratamentos durante as safras 2020/2021 e 2021/2022 (B).



Fonte: A autora.

2.5 Avaliação de biomassa das plantas de cobertura

Avaliou-se a biomassa da parte aérea das plantas de cobertura (milheto e capim mombaça) usando uma moldura (0,5 x 0,5 m) com a coleta das plantas rente ao solo em cada parcela experimental, antes da dessecação das mesmas. Após a coleta as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 105°C e depois pesadas para obter o valor de massa de matéria seca.

2.6 Teor de prolina e carboidratos em folhas do algodoeiro

Folhas do terço médio/superior sem pecíolo (4º ou 5º quinto nó do ápice para a base) do algodoeiro foram coletadas aos 70 DAE para avaliação do teor de prolina e estas foram armazenadas a -80°C até serem analisadas. Utilizou-se o método do ácido sulfossalicílico com leitura no espectrofotômetro (520 nm), conforme metodologia de Bates *et al.* (1973). Nesta mesma coleta foram amostrados no terço médio da planta o fruto da primeira posição e sua folha adjacente para avaliação do teor de açúcares solúveis totais (carboidratos) segundo a metodologia de Dubois *et al.* (1956).

2.7 Biometria, componentes de produção, produtividade e qualidade de fibra

Por ocasião da colheita do algodoeiro, avaliou-se a altura de plantas e número de nós em cinco plantas por parcela; e para a determinação dos componentes de produção foram colhidos e contados todos os capulhos em dois metros de linha, um metro em cada linha central da parcela, sendo pesados e o peso dividido pelo número de capulhos, obtendo-se o peso médio do capulho (PMC). Uma sub-amostra foi enviada para descaroçamento para posterior cálculo do rendimento de fibra e da produtividade em fibra. Essa amostra foi utilizada para análise da qualidade da fibra (HVI–High Volume Instruments) cujos parâmetros avaliados foram o micronaire, o comprimento, a resistência e o índice de fibras curtas (SFI).

2.8 Análise estatística

Cada safra foi considerada um experimento independente e foi analisada separadamente, uma vez que foram utilizadas diferentes cultivares, épocas de semeadura e condições climáticas variáveis como regime hídrico e temperaturas. Os dados foram submetidos à análise de variância para verificação dos dados. Os resultados foram analisados para estudar os efeitos dos tratamentos dentro de cada experimento usando ANOVA independente de duas vias (teste F, $P < 0,05$). O teste de Tukey a 5% de significância foi utilizado para avaliar a diferença das médias entre os tratamentos. Os sistemas de preparo do solo e as plantas de cobertura foram considerados como efeitos fixos e blocos como efeitos aleatórios pelo software SISVAR versão 5.8. A análise de componente principal (PCA) foi usada para expor a relação entre os fatores fisiológicos, componentes de produção e produtividade de fibra em um solo arenoso utilizando o software Palaeontological Statistic (PAST) versão 3,29 (Hammer *et al.*, 2001). Uma análise de correlação de Person foi realizada para todas as variáveis estudadas acompanhando as correlações do PCA. A significância foi testada por um teste de permutação usando 999 de permutação.

3 RESULTADOS

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de $P > 0,05$ para os parâmetros de massa de matéria seca das plantas de cobertura, teor de prolina e carboidratos da folha e da maçã, componentes de produção, produtividade e qualidade de fibra em cada safra avaliada. Apenas alguns parâmetros como o teor de carboidrato na maçã (C. maçã) e o índice de fibras curtas (SFI) (2020/2021) e teor de carboidrato na folha (C. Folha), C. maçã, peso médio do capulho (PMC) e resistência da fibra (Resist.) (2021/2022) não apresentaram interação entre o sistema de preparo (SP) e as plantas de cobertura (PC).

Tabela 2 — Valores de P (<0,05) da matéria seca das plantas de cobertura (MS), teor de prolina, carboidrato da folha (C. Folha), carboidrato da maçã (C. Maçã), capulho, peso médio de capulhos (PMC), produtividade de fibra (Prod. fibra), micronaire (Mic), comprimento (Comp.), resistência (Resist.) e índice de fibras curtas (SFI), para os parâmetros isolados de sistemas de preparo, plantas de cobertura e a interação entre ambos.

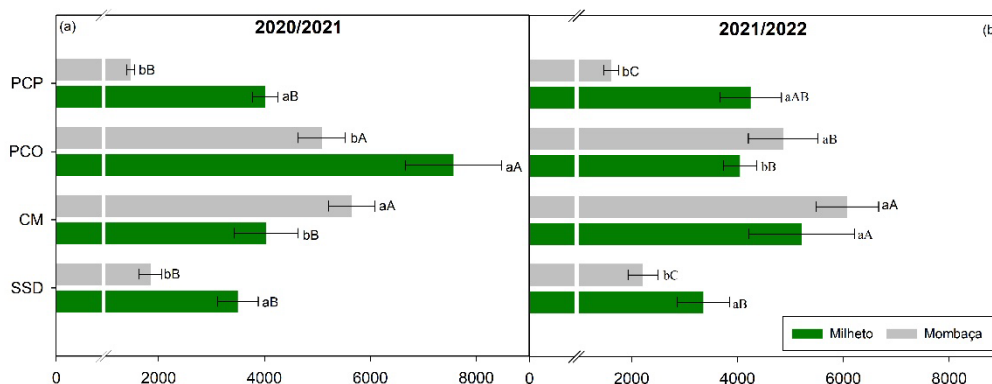
2020/2021											
	MS	Prolina	C. Folha	C. Maçã	NC	PMC	Prod. Fibra	Mic.	Comp.	Resist.	SFI
	kg ha ⁻¹	μmol / g	mg g		m ²	G	kg ha ⁻¹	μg pol ⁻¹	mm	gf TEX ⁻¹	%
SP	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,1446 ^{ns}	0,0006**	0,0000*	0,0000*	0,0002**	0,0006**	0,9827 ^{ns}	0,1801 ^{ns}
PC	0,0000*	0,1803 ^{ns}	0,0104**	0,6807 ^{ns}	0,0392**	0,0002**	0,0233**	0,0081**	0,0000*	0,0791 ^{ns}	0,0251**
SP x PC	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,3837 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0331**	0,0017**	0,0135**	0,0000*	0,7450 ^{ns}
C.V.(%)	12,09	13,13	3,29	1,92	3,15	3,71	7,65	4,66	0,87	1,68	7,47
2021/2022											
SP	0,0000*	0,0000*	0,0104**	0,0000*	0,0001**	0,4728 ^{ns}	0,0002**	0,1486 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0106**
PC	0,0056**	0,0006**	0,0000*	0,0329**	0,0535 ^{ns}	0,5146 ^{ns}	0,1805 ^{ns}	0,7205 ^{ns}	0,0097**	0,1531 ^{ns}	0,4204 ^{ns}
SP x PC	0,0000*	0,0064**	0,1275 ^{ns}	0,5325 ^{ns}	0,0104**	0,6386 ^{ns}	0,0000*	0,0034**	0,0099**	0,3482 ^{ns}	0,0068**
C.V.(%)	13,98	10,34	4,50	3,16	6,88	6,37	5,63	3,03	0,75	1,57	5,41

Fonte: A autora.

Legenda: Sistema de preparo (SP); Planta de cobertura (PC); Sistema de preparo x Planta de Cobertura (SP x PC). * = 1% significância de significância. ** = 5% significância. ^{ns} = Não significativo.

Sob SSD e PCP, a cultura do milho proporcionou maior massa de MS em ambas as safras com incrementos de, respectivamente, 89% e 172% na safra 2020/2021 e 51% e 163% safra 2021/2022 em comparação com o capim mombaça (Figura 5 a;b). Na safra 2020/2021 ambas as plantas de cobertura proporcionaram maior acúmulo de biomassa de matéria seca (Figura 5b)

Figura 5 — Produtividade de massa de matéria seca das plantas de cobertura em diferentes sistemas de preparo do solo nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo do solo pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

Na safra 2021/2022, o teor de carboidratos nas folhas foi 7% maior no algodoeiro sob SSD comparado aos demais tratamentos e 10% sob SSD, PCO e PCP em relação ao CM. O algodoeiro sob o milho acumulou 8% o teor de carboidratos nas folhas em relação ao capim mombaça, sendo o inverso observado no teor de carboidrato das maçãs, com incremento de 2% (Tabela 3).

Tabela 3 — Teor de carboidratos da folha adjacente e na maçã do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo, semeado sob palha de milho e capim mombaça, na safra 2021/2022.

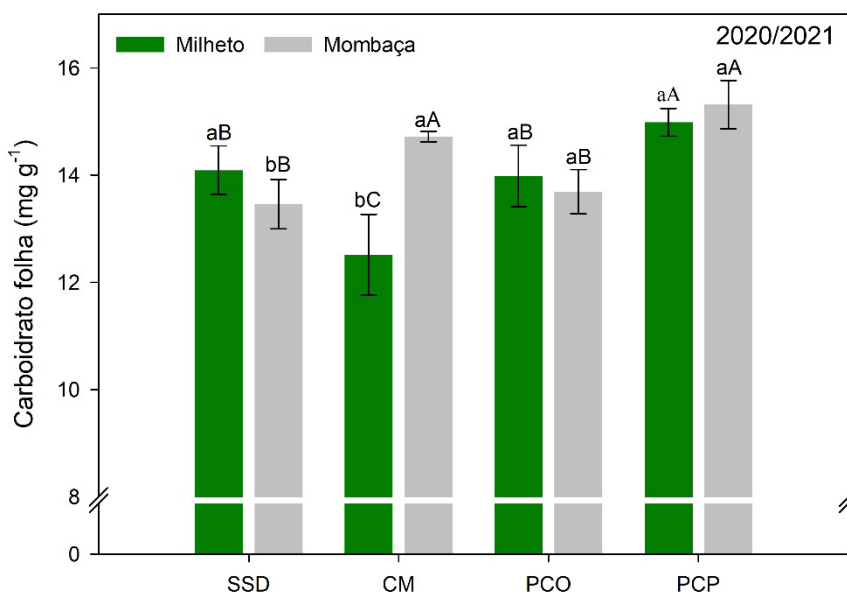
Sistema de preparo	Folha	Maçã
	mg g ⁻¹	
SSD	11,22 a	13,02 a
CM	10,82 ab	11,72 b
PCO	10,56 b	13,03 a
PCP	10,50 b	12,57 a
Plantas de cobertura		
Milho	11,19 a	12,45 b
Mombaça	10,37 b	12,73 a

Fonte: A autora.

Legenda: SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. C. Folha: Carboidrato da folha; C. Maçã: Carboidrato da maçã. Sistema de preparo x Planta de cobertura (SP x C). Médias sem a presença de letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O teor de carboidrato na folha do algodoeiro sob milho foi 20% maior sob PCP em comparação ao CM. No capim mombaça o aumento foi de 11% no CM e PCP comparado ao sistema de preparo SSD e PCO (Figura 6).

Figura 6 — Teor de carboidrato na folha do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo sobre palha de milho ou capim mombaça, na safra 20/21.

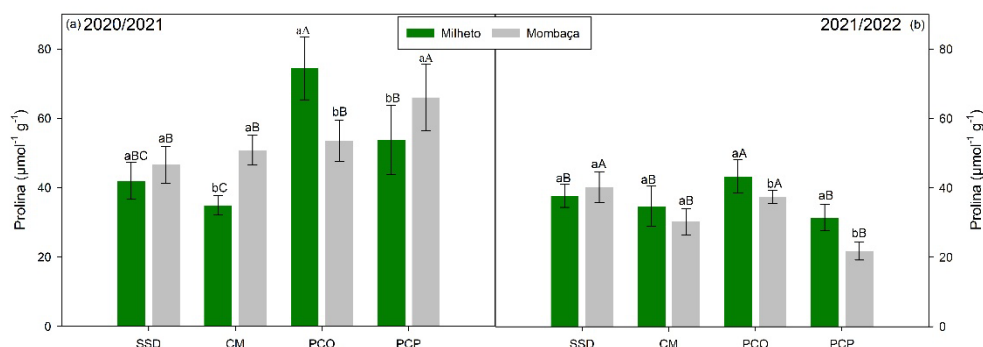


Fonte: A autora.

Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

O algodoeiro sobre PCO e milho obteve teor de prolina 60% e 25 % maior em relação aos outros tratamentos nas safras 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente (Figura 7a; b). Contudo, o algodoeiro em PCP cultivado após mombaça apresentou teor de prolina 31% maior do que os demais tratamentos em 2020/2021 (Figura 7a), mas em 2021/2022 o acúmulo de prolina aumentou em 49% no algodoeiro em SSD e PCO em relação aos demais tratamentos (Figura 7b).

Figura 7 — Teor de prolina na folha do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo sob palha de milho ou capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Legenda: as médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os manejos pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

Houve interação significativa entre sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura sobre o PMC e resistência de fibra na safra 2020/2021 e para o SFI (índice de fibras curtas) na safra 2021/2022 (Tabela 4). O PMC aumentou em 9% nos tratamentos SSD, CM e PCP em relação ao PCO (2020/2021). Foi constatado efeito isolado das plantas de cobertura sobre o PMC e SFI na safra 2020/2021, sendo este maior sob milho; e do sistema de preparo de solo sobre a resistência da fibra na safra 2021/2022 com aumento de 7% no CM comparado ao PCO.

Tabela 4 — Peso médio de capulhos (PMC), resistência e índice de fibras curtas (SFI) do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo, semeado sob palha de milho e capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.

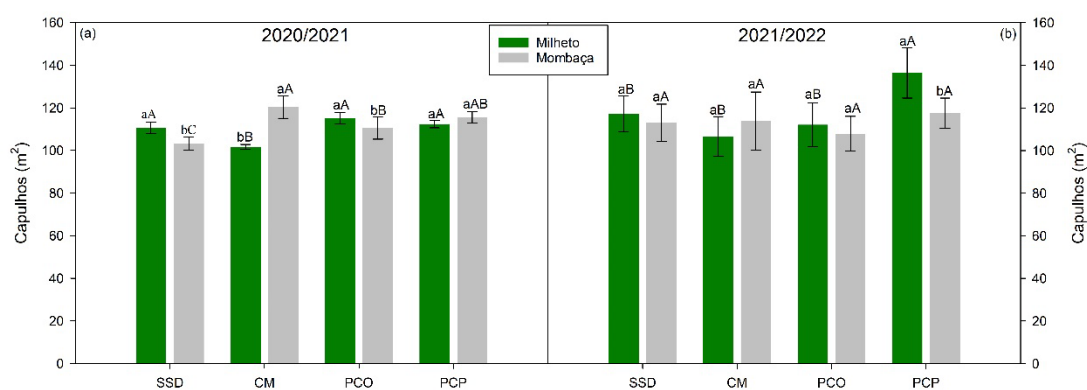
Sistemas de Preparo	2020/2021			2021/2022		
	PMC	Resistência	SFI	PMC	Resistência	SFI
	g	gf TEX ⁻¹	%	g	gf TEX ⁻¹	%
SSD	4,45 a	33,84	7,43	4,58	33,99 b	6,45 ab
CM	4,40 a	33,89	7,74	4,63	34,21 a	6,24 b
PCO	4,08 b	33,83	7,26	4,74	31,98 c	6,63 ab
PCP	4,44 a	33,92	7,72	4,54	33,43 bc	6,79 a
Plantas de cobertura						
Milheto	4,45 a	34,03	7,75 a	4,59	34,03	6,58
Mombaça	4,24 b	33,71	7,33 b	4,65	34,28	6,48

Fonte: A autora.

Legenda: SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. Médias sem a presença de letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O número de capulhos (NC) do algodoeiro foi 11% maior no SSD, PCO e PCP que o CM, quando cultivado sobre palha de milho (Figura 8a). Em contrapartida, o CM teve NC 10% maior com o algodoeiro sobre o capim mombaça (Figura 8a) na safra 2020/2021. Na safra seguinte, o PCP proporcionou NC 22% maior sobre palha de milho (Figura 8b).

Figura 8 — Número de capulhos do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sob palha de milho ou capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.

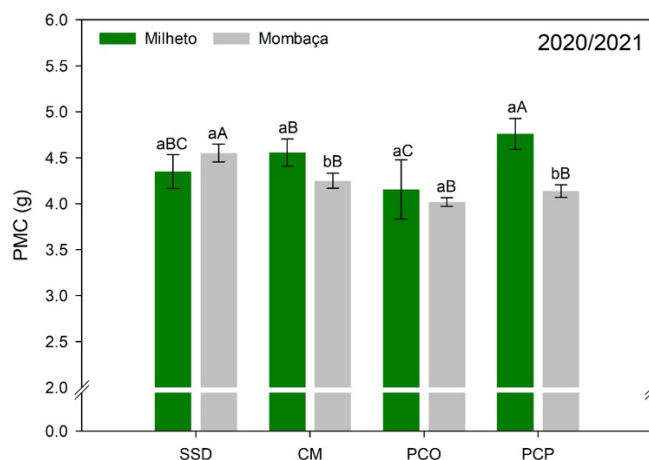


Fonte: A autora.

Legenda: as médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os manejos pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

As plantas de cobertura apresentaram efeitos diferentes dentro de cada sistema de preparo. O capim mombaça incrementou o peso médio de capulhos (PMC) em 10% no SSD, comparado aos demais tratamentos; já sobre milho, o PCP teve PMC 15% maior que o PCO (Figura 9).

Figura 9 — Peso médio de capulhos do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sob palha de milho ou capim mombaça, na safra 2020/2021.

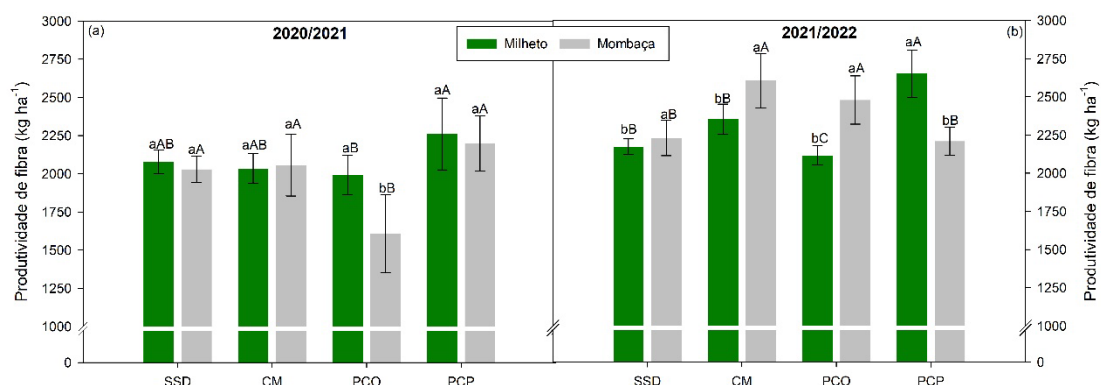


Fonte: A autora.

Legenda: as médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os manejos pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

A produtividade do algodoeiro cultivado em solo preparado na primavera (PCP) e sobre a palhada de milho foi 11% e 20% maior do que na safra 2020/2021 e 2021/2022, respectivamente, comparado aos demais tratamentos (Figura 10a;b). Porém o algodoeiro sobre o capim mombaça teve produtividade de fibra 26%, 28% e 37% maior no SSD, CM e PCP na safra 2020/2021 em relação ao PCO, respectivamente; sendo que, na safra seguinte a produtividade aumentou 14% com capim mombaça sobre CM e PCO, comparado aos demais tratamentos.

Figura 10 — Produtividade de fibra do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sobre palha de milho ou capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



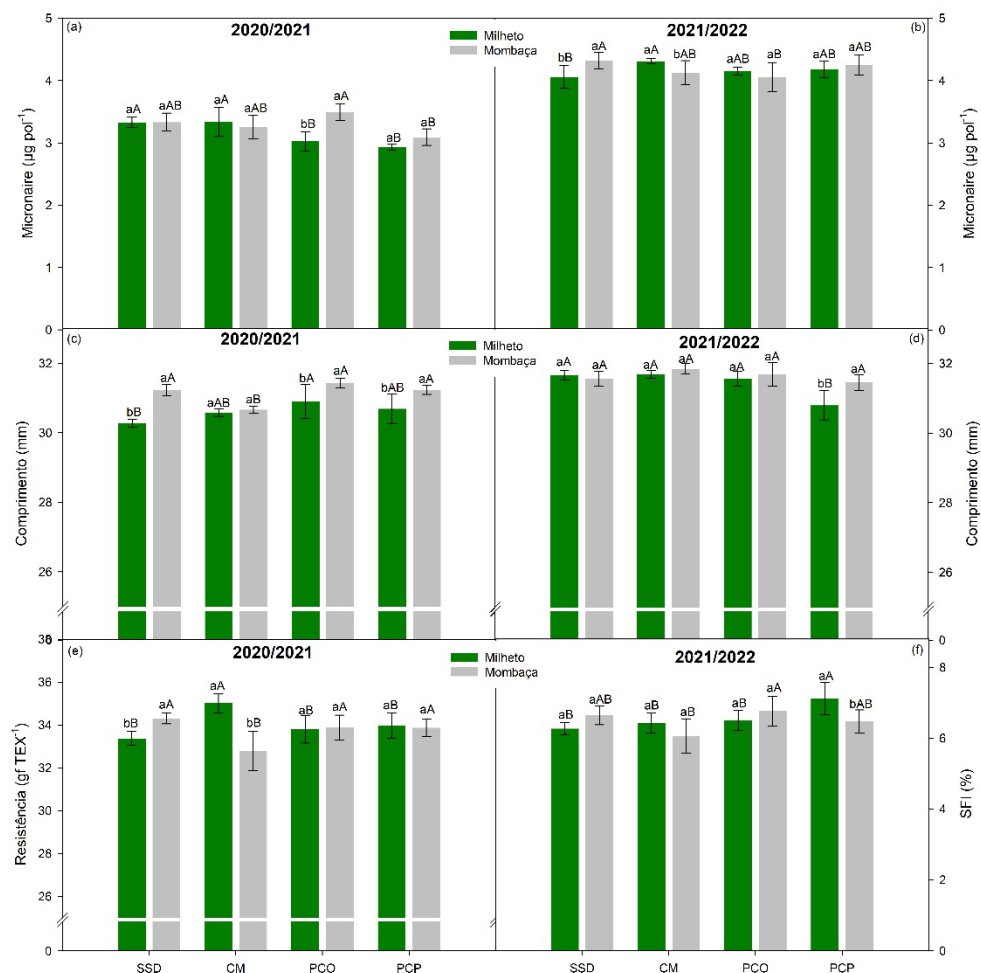
Fonte: A autora.

Legenda: as médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os manejos pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

O índice micronaire (MIC) foi 12% maior no SSD e CM sobre milho, comparado aos demais tratamentos na safra 2020/2021. Além disso, o algodoeiro em CM sobre milho apresentou micronaire mais elevado na safra 2021/2022. O algodoeiro semeado sobre palha de capim mombaça no PCO teve MIC 4% maior na safra 2020/2021 e 4% menor na safra seguinte, em relação aos demais tratamentos. O comprimento de fibra foi maior no PCO com o algodoeiro sobre milho em ambas as safras, sendo que, em 2021/2022 o SSD e o CM também se destacaram (Figura 11c;d).

O comprimento de fibra foi maior com o algodoeiro sobre o capim mombaça no SSD, PCO e PCP em comparação CM, respectivamente, o mesmo foi observado na resistência de fibra na safra 2020/2021. Entretanto, o CM do algodoeiro sobre palha de milho apresentou fibras 4% mais resistentes em relação aos demais tratamentos (Figura 11e). No presente estudo os tratamentos com a semeadura do algodoeiro sobre milho em SSD, CM e PCO proporcionaram índice de fibras curtas (SFI) 11% menor que o PCP; já sobre o capim mombaça o CM reduziu o SFI em 9%, comparado aos outros tratamentos na safra 2021/2022 (Figura 11f).

Figura 11 — Qualidade de fibra do algodoeiro em diferentes sistemas de preparo sobre palha de milho ou capim mombaça, nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

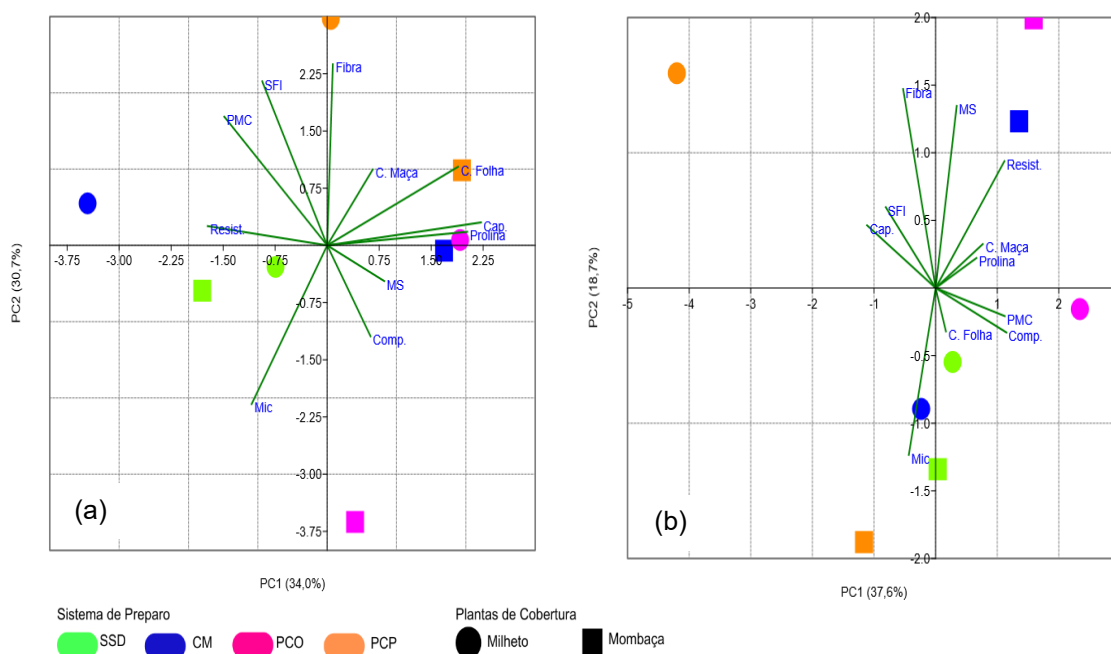
Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os manejos pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para examinar a influência das características fisiológicas, os componentes de produção e a produtividade de fibra sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. Na safra 2020/2021 o PC1 e PC2 descreveram uma variação de 34,0% e 30,7%, respectivamente (Fig. 12a). O resultado da PCA da safra 2020/2021 mostrou que o PC1 foi positivamente correlacionado com produtividade de fibra, teor de carboidrato da folha e maçã, número de capulhos, prolina, massa da matéria seca das plantas de

cobertura e comprimento de fibra, junto aos tratamentos PCP e PCO sob ambas as plantas de cobertura e CM+ capim Mombaça (Fig. 12a). Estes dados correlacionaram negativamente com SFI, PMC, resistência e micronaire da fibra do algodoeiro com os tratamentos SSD milhoeto ou capim mombaça e CM+Milheto (com permutação de 999, $p=0,1$).

Na safra seguinte (2021/2022) com a permutação de 999, $p=0,083$ o PC1 e PC2 descreveram uma variação de 37,6% e 18,7%, respectivamente. O resultado da PCA mostrou que o PC1 foi positivamente correlacionado com a massa de matéria seca das plantas de cobertura, qualidade de fibra (resistência e comprimento), atributos fisiológicos (Carboidrato da folha e/ou maçã e prolina) e PMC, no entanto, foi negativamente correlacionado com micronaire, SFI, número de capulhos e produtividade de fibra (Fig. 12b). Os tratamentos SSD e PCO com milhoeto e CM e PCP com capim mombaça foram relacionados com PC1, separando o SSD e PCP + capim mombaça e CM e PCP com milhoeto (Fig. 12b).

Figura 12 — Análise de componentes principais (PCA) de atributos fisiológicos, componentes de produção e produtividade de fibra nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



Fonte: A autora.

Legenda: Carboidrato da folha (C. Folha.), Carboidrato da maçã (C. Maçã), Matéria seca (MS), Número de capulhos (Cap.), Peso médio de capulhos (PMC), Produtividade de fibra (Fibra), Micronaire (Mic), Comprimento (Comp.), Resistência (Resit.) e Índice de fibras curtas (SFI).

4 DISCUSSÃO

Este estudo investigou o efeito dos sistemas de preparo do solo e das plantas de cobertura sobre o teor de prolina, carboidratos, produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro. Observamos aqui que o milheto foi a melhor opção para produção de biomassa quando semeado em SSD e PCP (Figura 5a-b). No entanto, o capim mombaça resultou em melhor biomassa no CM (Fig. 5a-b). Nossos resultados mostram que a planta de cobertura escolhida deve considerar o sistema de preparo adotado (Fig. 12), sendo que a permanência dos resíduos culturais no solo pode determinar a resposta produtiva da cultura sucessora (Mazzuchelli *et al.*, 2020).

A maior quantidade de matéria seca de milheto produzida em 2020/2021 sob o PCO foi importante para aumentar a produtividade de fibra (Fig. 5a-b; Fig. 10 a-b). O volume de palha e a sua durabilidade sobre o solo proporcionam melhores condições de desenvolvimento às culturas (Mazzucheli *et al.*, 2020) e os ganhos em produtividade são observados em sistemas com uso de plantas de cobertura nos solos arenosos (Silva *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2021; Rocha *et al.*, 2023).

O maior acúmulo de matéria seca do milheto no PCO proporcionou aumento na produção de prolina em ambas as safras (Fig. 7a-b). Esse maior acúmulo de prolina é um sinalizador de estresse, pois a prolina atenua os efeitos do estresse hídrico da cultura, uma vez que na falta de água no solo o algodoeiro realiza o ajuste osmótico, mecanismo este eficaz para a manutenção da turgescência celular (Marijuan; Bosch, 2013). Isso se dá com a produção de aminoácidos como prolina, glicina, betaína, trealose, sacarose, poliaminas, manitol, pinitol, entre outros (Filippoud *et al.*, 2014).

Além disso, o capim mombaça na safra mais seca 2021/2022 proporcionou menor teor de prolina mesmo produzindo 163% a menos em massa de matéria seca (Fig. 7b e 5b). Sampathkumar *et al.* (2014), descreve que os teores de prolina em folhas de algodão e milho aumentaram sob estresse hídrico, obtendo-se menores produtividades de fibra e grãos, semelhante ao relatado por Kar *et al.* (2004) em cultivares de algodão.

Assim como a prolina, os carboidratos também auxiliam no ajuste osmótico das plantas. Os carboidratos são produzidos via fotossíntese e sua principal função

na planta é o fornecimento de energia (Nelson *et al.*, 2022). O teor de carboidratos solúveis totais tem relação com o status hídrico da planta (Loka *et al.*, 2020). O teor de carboidrato das folhas do algodoeiro aumentou com o preparo convencional na primavera (PCP) em ambas as plantas de cobertura; já o teor de carboidratos nas folhas aumentou sob CM com capim mombaça na safra 2020/2021 (Fig. 6). Provavelmente estes tratamentos aumentaram a produção de carboidrato por apresentarem melhores condições fisiológicas para o crescimento do algodoeiro. O acúmulo de massa de matéria seca das plantas de cobertura aumenta o teor de matéria orgânica e a capacidade de retenção de água do solo, o que melhora o desenvolvimento da área foliar, interceptação de luz e produção de carboidratos (Board *et al.*, 1990; Loka *et al.*, 2020; Nelson *et al.*, 2022).

Durante o desenvolvimento do algodoeiro os níveis de carboidratos variam em resposta aos estímulos do ambiente. Desta forma, a cultura define o número de capulhos com a necessidade mínima de carboidratos para manter seus frutos e, estes frutos são protegidos pelas variações dos teores de carboidratos (Pettigrew *et al.*, 2001; Oosterhuis; Weir, 2010). O fruto que passar o período crítico de abortamento que vai até duas semanas após a antese, dificilmente será abortado pela redução da produção de carboidratos, porém a redução da produtividade, nesse caso, pode ser causada pela redução do peso médio do capulho.

Na safra 2021/2022 não houve interação entre os sistemas de manejo x plantas de cobertura nos teores de carboidratos, mas a análise isolada mostra que o algodoeiro sob SSD e milheto teve aumento nos teores de carboidratos solúveis totais (Tabela 3; Fig. 12). A exposição das plantas ao estresse hídrico prejudica processos fisiológicos importantes, como fotossíntese, o que reflete no desenvolvimento da cultura. Sendo assim, ambientes com manutenção da palha na superfície do solo melhoram a condição hídrica e aumentam a taxa fotossintética e os teores de carboidratos (Loka; Oosterhuis, 2010; He *et al.*, 2020).

Plantas de cobertura proporcionam às culturas sucessoras melhoria na qualidade do solo, ciclagem de nutrientes, conservação do solo, redução da pressão de plantas daninhas, diversidade de fauna e aumento do carbono orgânico no solo (Abdollahi; Munkholm, 2014; Ladoni *et al.*, 2016; Buchi *et al.*, 2018; Crotty; Stoate, 2019, Cordeiro *et al.*, 2022). No CM, o capim mombaça produziu maior quantidade de matéria seca (Figura 5), número de capulhos (Figura 8) e produtividade de fibra (Figura 10). Isso pode estar relacionado com o sistema radicular do capim mombaça

que melhora a estruturação do solo, auxiliando no rearranjo das partículas de solo desagregadas com o preparo mecânico. Preparos de solo que melhorem as condições físicas e biológicas no solo influenciam para o aumento da produtividade do algodoeiro cultivado em solos arenosos (Usman *et al.*, 2020).

A introdução de plantas de cobertura, principalmente após o preparo de solo, favorece o armazenamento de água, formação de agregados secos e prevenção de erosão (Calonego *et al.*, 2017). Neste contexto, é relatado incremento na produtividade de trigo e milho com o uso de sistemas de manejo com mínimo revolvimento do solo e introdução de plantas de cobertura (Wittwer *et al.*, 2017). Portanto, a combinação da planta de cobertura com o CM deve ser considerada a fim de melhorar a eficiência do uso da água (Thierfelder *et al.*, 2015).

Nossos resultados sugerem que o milheto sob PCP, mesmo com menor tempo para o desenvolvimento da planta de cobertura, resultou na produção de maior número de capulhos (Figura 8), PMC (Figura 9) e produtividade de fibra (Figura 10). Isso evidencia a importância do uso das plantas de cobertura que podem viabilizar o cultivo de solos arenosos através da melhoria da sua qualidade (Cordeiro *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020).

Neste contexto, mesmo que a restauração das propriedades do solo seja lenta, a entrada de resíduos orgânicos após o preparo de solo e o aporte de palha melhoram o ambiente produtivo (Sampaio *et al.*, 2012). Por outro lado, é necessário considerar a espécie de cobertura, uma vez que as de alta relação C/N, ou de baixo índice de decomposição, aumentam a eficiência da cobertura principalmente em solos tropicais que se caracterizam por favorecerem a decomposição acelerada de palha (Carvalho *et al.*, 2014; Menezes; Leandro, 2004), sobretudo quando há movimentação do solo.

Bradow e Davidonis (2000) descrevem que os fatores ambientais influenciam nos parâmetros de qualidade, provocando redução no micronaire pela falta de água durante a floração (Wang *et al.*, 2016). No entanto, o algodoeiro sob milheto comparando os sistemas de preparo aumentou o índice micronaire em ambas as safras quando semeado no CM (Figura 11a-b); este tratamento também se destacou no parâmetro de resistência de fibra, mas apenas na safra 2020/2021 (Figura 11e). Apesar disso, observou-se no presente trabalho que as plantas de cobertura e os diferentes sistemas de preparo não modificaram a qualidade a nível de precificação (ágio e deságio).

O comprimento e a resistência de fibra aumentaram sob a palha do capim mombaça na safra 2020/2021 nos manejos SSD, PCO e PCP (Fig. 11c-e). Por outro lado, o SFI foi maior com o PCP sobre milho e PCO sobre capim mombaça (2021/2022), em relação aos demais tratamentos (Fig. 9f). Isso devido à baixa precipitação pressão de turgor celular, que regula o alongamento da fibra, é perturbada, resultando em menor comprimento, uniformidade e resistência da fibra, além de um aumento no micronaire (Wang *et al.*, 2016; Ul-Allah *et al.*, 2021).

Em geral a qualidade de fibra do algodoeiro foi pouco afetada pelos sistemas de preparo do solo, e todos os parâmetros (micronaire, comprimento, resistência e SFI) apresentaram valores adequados para comercialização, que são: micronaire 3,5-4,9 $\mu\text{g pol}^{-1}$; comprimento superior ou igual a 27,4 mm; resistência superior ou igual a 27 gF/fex; e SFI inferior a 10% (Lima; Bélot, 2020).

5 CONCLUSÕES

A espécie da planta de cobertura a ser utilizada nos diferentes sistemas de preparo pode impactar a produtividade de fibra do algodoeiro.

O capim mombaça resulta em aumento produtivo sob cultivo mínimo e preparo convencional no outono quando há maior disponibilidade hídrica na safra.

Quando o preparo convencional ocorre na primavera, o milho é melhor que a mombaça para o aumento da produtividade de fibra do algodoeiro.

A qualidade de fibra foi pouco afetada pelos sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura.

Os dados deste estudo sugerem que, ao conhecermos as condições climáticas do ano (El Niño, La Niña ou neutro), é possível planejar de forma mais eficaz o sistema de preparo e as plantas de cobertura.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, L.; MUNKHOLM, L. J. Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. Chemical, mechanical, and biological properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, n. 1, p. 262-270, 2014. DOI: 10.2136/sssaj2013.07.0301.
- BATES, L.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant Soil**, v. 39, p. 205–207. 1973.
- BERTOL, O. J.; AZEVEDO, M. L.; BRAGAGNOLO, E. A.; BODNAR, A. **Manejo e conservação do solo e da água**. Paraná: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, 2016. 53 p. (Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar). Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/manejo-e-conservacao-do-solo-e-da-agua.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.
- BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G.; SAXTON, A. M. Narrow-row seed-yield enhancement in determinate soybean. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 1, p. 64-68, 1990. DOI: 10.2134/agronj1990.00021962008200010014x.
- BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, G. H. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective. **Journal Cotton Sciences**, v. 4, n. 1, p. 34-64, 2000.
- BUCHI, L.; WENDLING, M.; AMOSSÉ, C.; NECPALOVA, M.; CHARLES, R. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.256, p.92-104, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2018.01.005.
- CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J. P.; DE OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017. DOI: 10.1016/j.eja.2017.02.001.
- CARVALHO, A. M.; MARCHÃO, R. L.; SOUZA, K. W.; BUSTAMANTE, M. M. C. Estado da fertilidade do solo, estoques de carbono e nitrogênio sob culturas de cobertura e regimes de preparo do solo. **Revista de Ciência Agropecuária**, v. 45, p. 914–921, 2014. DOI:10.1590/S1806-66902014000500007.
- CORDEIRO, C. F. D. S.; RODRIGUES, D. R.; SILVA, G. F. D.; ECHER, F. R.; CALONEGO, J. C. Soil organic carbon stock is improved by cover crops in a tropical sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 2, p. 1546-1556, 2022. DOI: 10.1002/agj2.21019.
- CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; ROCHA, C. H.; ARAUJO, F. F.; ECHER, F. R. Glomalin and microbial activity affected by cover crops and nitrogen management in sandy soil with cotton cultivation. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104026, 2021. DOI:10.1016/j.apsoil.2021.104026.
- CROTTY, F. V.; STOATE, C. The legacy of cover crops on the soil habitat and ecosystem services in a heavy clay, minimum tillage rotation. **Food and Energy Security**, v. 8, n. 3, p. e00169, 2019. DOI: 10.1002/fes3.169.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p. 1003-1020, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900001.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. T.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956. DOI: 10.1021/ac60111a017.

FEBA, L.T; VICENTE, E.R.J.S; FEBA, L.G.T; MORO, E. Yield of soybean in different systems of pasture replacement with and without soil scarification. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 10, n. 6, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n6p163.

FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 97, p. 1-10, 2014. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2013.09.010.

GEITMANN, A.; ORTEGA, J. K. Mechanics and modeling of plant cell growth. **Trends in plant science**, v. 14, n. 9, p. 467-478, 2009. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.07.006.

GUAN, C.; CUI, X.; LIU, H. Y.; LI, X.; LI, M. Q.; ZHANG, Y. W. Proline biosynthesis enzyme genes confer salt tolerance to switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in cooperation with polyamines metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 46, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00046.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; SILVA, D. N.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 177–182, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2012.07.010.

HAMMER. Ø.; HARPER. D. A. T.; RYAN. P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HARTEMINK, A. E.; HUTING, J. Sandy soils in Southern and Eastern Africa: extent, properties and management. **Proceedings of Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture**, v. 27, p. 54-59, 2005.

HE, Z.; OLK, D. C.; TEWOLDE, H.; ZHANG, H.; SHANKLE, M. Carbohydrate and amino acid profiles of cotton plant biomass products. **Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 2, 2020. DOI: 10.3390/agriculture10010002.

IPCC. **Climate Change 2021**: the physical science basis. Summary for Policymakers. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

KAR, M.; PATRO, B. B.; SAHOO, C. R. AND HOTA, B. Traits related to drought resistance in cotton hybrids. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 4, p. 377–380, 2004.

KHALIL, H. A.; HOSSAIN, M. S.; ROSAMAH, E.; AZLI, N. A.; SADDON, N.; DAVOUDPOURA, Y.; DUNGANI, R. The role of soil properties and it's interaction towards quality plant fiber: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1006-1015, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.099.

LADONI, M.; BASIR, A.; ROBERTSON, P. G.; KRAVCHENKO, A. N. Scaling-up: cover crops differentially influence soil carbon in agricultural fields with diverse topography. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 225, p. 93-103, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2016.03.021.

LIMA, J. J.; BÉLOT, J. L.; VILELA, P. M. C. A. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 4. ed. Cuiabá: IMAmt, 2020.

LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M. Effect of high night temperatures on cotton respiration, atp levels and carbohydrate content. **Environmental and experimental Botany**, v. 68, n .3, p. 258-263, 2010. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.01.006.

LOKA, D. A; OOSTERHUIS, D. M.; BAXEVANOS, D.; NOULAS, C.; HU, W. Single and combined effects of heat and water stress and recovery on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf physiology and sucrose metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 148, p. 166-179, 2020. DOI:10.1016/j.plaphy.2020.01.015.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of in vasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v. 18, p. 660-666, 2013. DOI: 10.1016/j.tplants.2013.08.006.

MAZZUCHELLI, R. D. C. L.; ARAUJO, A. S. F.; MORO, E.; ARAUJO, F. F. Changes in soil properties and crop yield as a function of early desiccation of pastures. **Journal Soil Sciences Plant Nutrition**. v. 20, p. 840–848, 2020. DOI: 10.1007/s42729-019-00169-x.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio SSD. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 173–180, 2004.

NELSON, D. L.; LEHNINGER, A. L.; COX, M. M.; HOSKINS, A. A. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 8.ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

NOURI, A.; LEE, J.; YIN, X.; TYLER, D. D.; SAXTON, A. A. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998-1008, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.016.

NOURI, A.; LEE, J.; YODERA, D. C.; JAGADAMMAA, S.; WALKERA, F. R.; YINB, X.; ARELLIC, P. Management duration controls the synergistic effect of tillage, cover crop, and nitrogen rate on cotton yield and yield stability. **Soil & Tillage Research**, v. 301, p. 007-107, 2020. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107007.

OOSTERHUIS, D. M.; WEIR, B. L. Foliar fertilization of cotton. *In*: STEWART, J. M. D.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. R. (ed.). **Physiology of Cotton**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 272–288.

PETTIGREW, W. T. Environmental effects on cotton fiber carbohydrate concentration and quality. **Crop Science**, v. 41, n. 4, p. 1108–1113, 2001. DOI:10.2135/cropsci2001.4141108x.

PITTELKOW, C. W.; LINQUIST, B. A.; LUNDY, M. E.; LIANG, X.; VAN GROENIGEN, K. J.; LEE, J.; VAN GESTEL, N.; SIX, J.; VENTEREA, R. T.; VAN KESSEL, C. When does no-till yield more? a global meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 183, p. 156–168, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.020.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284 p.

REDDY, S.; NYAKATAWA, E.; REDDY, K.; RAPER, R.; REEVES, D.; LEMUNYON, J. Long-term effects of poultry litter and conservation tillage on crop yields and soil phosphorus in cotton-cotton-corn rotation. **Field Crops Research**, v. 114, p. 311–319, 2009. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.09.001.

REJEB, K. B.; ABDELLY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278–284, 2014. DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.04.007.

ROCHA, C. H.; SILVA, G. R. A.; ECHER, F. R. Applying potassium to ruzigrass prior to cotton reduces the nitrogen requirement and improves yield in a sandy soil under low water availability. **Industrial Crops and Products**, v. 198, p. 116676, 2023. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116676.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 3, p. 1637–1645, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000500028

SAMPATHKUMAR, T.; PANDIAN, B. J.; JEYAKUMAR, P.; MANICKASUNDARAM, P. Effect of deficit irrigation on yield, relative leaf water content, leaf proline accumulation and chlorophyll stability index of cotton–maize cropping sequence. **Experimental agriculture**, v. 50, n. 3, p. 407–425, 2014. DOI: 10.1017/S0014479713000598.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SEIDEL, E. P.; SCHNEIDER, A. P. H.; SUSTAKOWSKI, M. C.; MATTE, L. M.; MOTTIN, M. C.; SILVA, J. H. Soybean yield, soil porosity and soil penetration resistance under mechanical scarification in no-tillage sydtlem. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 10, n. 4, 2018. DOI:10.5539/jas.v10n4p268.

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; & SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and

nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v.258. p.107947, 2020. DOI:10.1016/j.fcr.2020.107947

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Atributos físicos de Latossolo distrófico psamítico sob diferentes usos agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 925-933, 2010. DOI:10.1590/S0100-06832010000300034.

THIERFELDER, C.; MATEMBA-MUTASA, R.; RUSINAMHODZI, L. Yield response of maize (*Zea mays* L.) to conservation agriculture cropping system in Southern Africa. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 230-242, 2015. DOI: 10.1016/j.still.2014.10.015.

UL-ALLAH, S.; REHMAN, A.; HUSSAIN, M.; FAROOQ, M. Fiber yield and quality in cotton under drought: Effects and management. **Agricultural Water Management**, v.255, p.106994, 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106994.

USMAN, K.; KHALID, E. U. A.; MALIK, M. W. I.; HAMZA, A.; SAAD, M.; RIAZ, M.; GHULAM, S. Resposta do algodoeiro Bt (*Gossypium hirsutum* L.) à irrigação e adubação potássica sob dois sistemas de preparo em solo argiloso siltoso. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, p. 1–16, 2020. DOI: 10.1080/03650340.2020.1817397.

WANG, R.; Ji, S.; Zhang, P.; Meng, Y. Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1265-1276, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2015.08.0477.

WITTWER, R. A.; DORN, B.; JOSSI, W.; VAN DER HEIJDEN, M. G. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific reports**, v.7, n. 1, p. 41911, 2017. DOI: 10.1038/srep41911.

YI, X. P.; ZHANG, Y. L.; YAO, H. S.; LUO, H. H.; GOU, L.; CHOW, W. S.; & ZHANG, W. F. Different strategies of acclimation of photosynthesis, electron transport and antioxidative activity in leaves of two cotton species to water deficit. **Functional Plant Biology**, v. 43, n. 5, p.448-460, 2016. DOI: 10.1071/FP15247.

SEÇÃO II

EFEITO DO PREPARO DO SOLO E DAS CULTURAS DE COBERTURA SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM ALGODÃO

Resumo

Será que a cobertura do solo pode favorecer o aumento da atividade microbiana e o armazenamento de água e ar em solos arenosos? O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes sistemas de preparo do solo, como sistema de semeadura direta (SSD), cultivo mínimo (CM), preparo convencional no outono (PCO) (aração e gradagem) e preparo convencional na primavera (PCP) e das plantas de cobertura milho e mombaça sobre os atributos físicos e biológicos em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura arenosa no Oeste Paulista, nas safras 2020/2021 e 2021/2022. As coletas de solo foram realizadas após a colheita do algodão nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m para avaliação dos atributos físicos e de 0-0,10 m para avaliação dos atributos microbiológicos. Os valores de densidade do solo estiveram abaixo do limite crítico para o crescimento do algodoeiro em todos os tratamentos. O milho sob SSD atenuou o efeito da RP durante o ciclo do algodoeiro na safra 2021/2022 e o capim mombaça mitigou em 23% a RP no tratamento CM. Ambas as plantas de cobertura mantiveram a cc/pt abaixo do índice crítico de 0,70 nos tratamentos conservacionistas (SSD e CM). O capim mombaça reduziu o índice de RP durante o ciclo do algodoeiro. Nas duas safras, a atividade da desidrogenase foi maior no SSD sob o capim mombaça. O milho aumentou o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e a respiração do solo sob SSD em 2020/2021 e diminuiu na safra 2021/2022. O milho incrementou o nitrogênio da biomassa microbiana (N_{mic}) sob SSD e CM em ambas as safras; já sob o capim mombaça em ambos os preparos convencionais (PCO e PCP) resultou em maior N_{mic} . Na camada de 0,20-0,40 m o teor de glomalina aumentou no SSD sob milho e no CM sob o capim mombaça, tendo incrementado em profundidade no PCP. Os resultados sugerem que o capim mombaça sob CM é uma estratégia que atenua a compactação do solo. O milho mitiga a RP no SSD. Ambas as plantas de cobertura melhoraram a atividade microbiana do solo arenoso em SSD e CM. No PCP, o capim mombaça atenua a

RP e incrementa as atividades das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e desidrogenase, Nmic, respiração basal do solo e glomalina (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m).

Palavra-chave: Mombaça; milheto; cultivo mínimo; compactação; enzimas do solo; densidade.

1 INTRODUÇÃO

Os solos arenosos correspondem a 31% da área mundial, cobrindo aproximadamente 5 bilhões de ha, e cerca de 4% destes solos são utilizados para a produção agrícola (Huang; Hartemink, 2020). Todavia, o aumento da produtividade nestes solos depende do manejo adequado para aumentar o armazenamento de água, reduzir os efeitos da compactação do solo e melhorar a atividade microbológica. (Moraes *et al.*, 2016; Huang; Hartemink, 2020; Mazzuchelli *et al.*, 2020)

O preparo do solo acelera a mineralização da matéria orgânica devido ao aumento momentâneo da atividade microbológica pela maior oxigenação do solo, resultando em perda de carbono orgânico, nutrientes e capacidade de armazenamento de água. Contudo, estes efeitos podem ser atenuados com o cultivo de plantas de cobertura (Calonego *et al.*, 2017, Cordeiro *et al.*, 2021; Rocha *et al.*, 2023).

Neste contexto, as raízes das plantas de cobertura influenciam diretamente na estruturação do solo, no fluxo de água, na porosidade e permeabilidade, no estoque de carbono, na ciclagem de nutrientes, na biodiversidade do solo e na mitigação da compactação do solo, permitindo que as raízes das culturas subsequentes se desenvolvam no perfil do solo, através do aumento da conectividade dos poros (Munkholm *et al.*, 2013; Kreiselmeier *et al.*, 2019; Cordeiro *et al.*, 2022; Bonetti *et al.*, 2023; Tonon-Debiasi *et al.*, 2024;).

Diferentes abordagens têm sido propostas em busca da atenuação da compactação do solo, incluindo revolvimento (escarificação e subsolagem). Em solos arenosos, valores de densidade mais elevados podem significar melhor gestão do fluxo de água e nutrientes (Huang; Hartemink, 2020; Conyers *et al.*, 2019). Isso devido ao feito médio e longo prazo do sistema radicular (Calonego *et al.*, 2017).

A escolha da planta de cobertura é fator determinante para o sucesso do manejo, e além do aporte de biomassa, a relação C:N deve ser considerada (Guedes Filho *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020). Em solos arenosos a baixa disponibilidade de nutrientes e a alta relação C:N das plantas de cobertura, pode levar a limitação de nutrientes para a cultura subsequente (Liu *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2022).

As raízes desempenham um importante papel na estruturação do solo devido à exsudação radicular de compostos como a glomalina (glicoproteína que participa do processo de agregação do solo) à renovação da biomassa microbiana e no incremento da atividade de enzimas extracelulares (β -glicosidase, arilsulfatase, desidrogenase e fosfatase ácida) (Nouri *et al.*, 2019; Mazzuchelli *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2021; Tonon-Debiasi *et al.*, 2024).

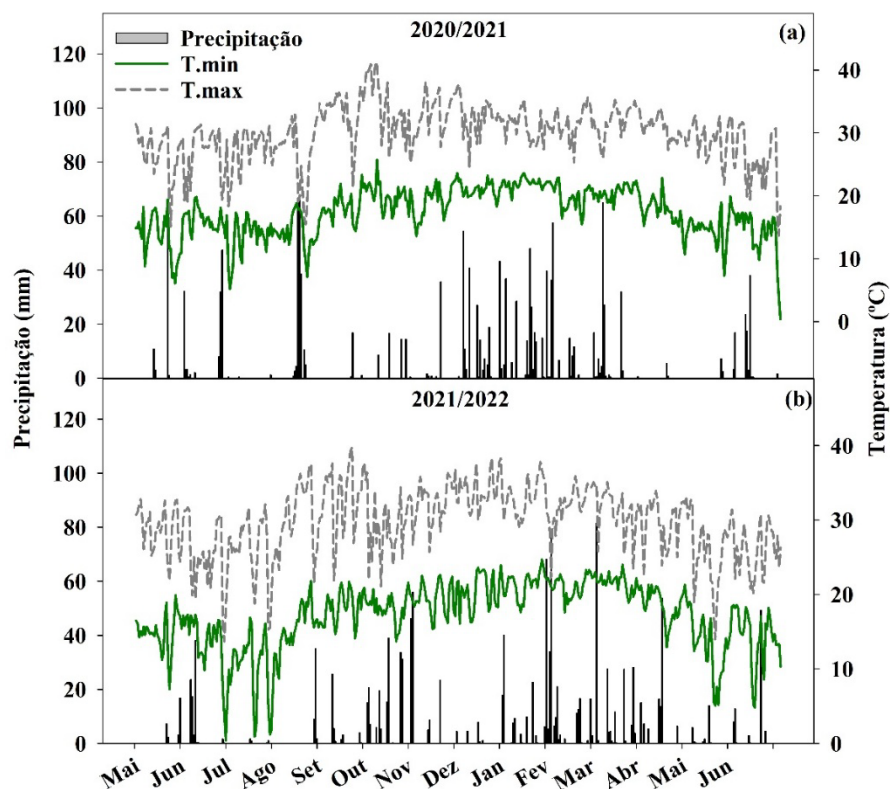
Na busca por indicadores físicos e biológicos que interpretem a qualidade do manejo em solos arenosos através de uma agricultura conservacionista, testamos a hipótese de que distintos sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura, antecedendo a cultura do algodão, influenciam os atributos físicos e biológicos do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura sobre os atributos físicos e biológicos em solo arenoso com cultivo de algodão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental

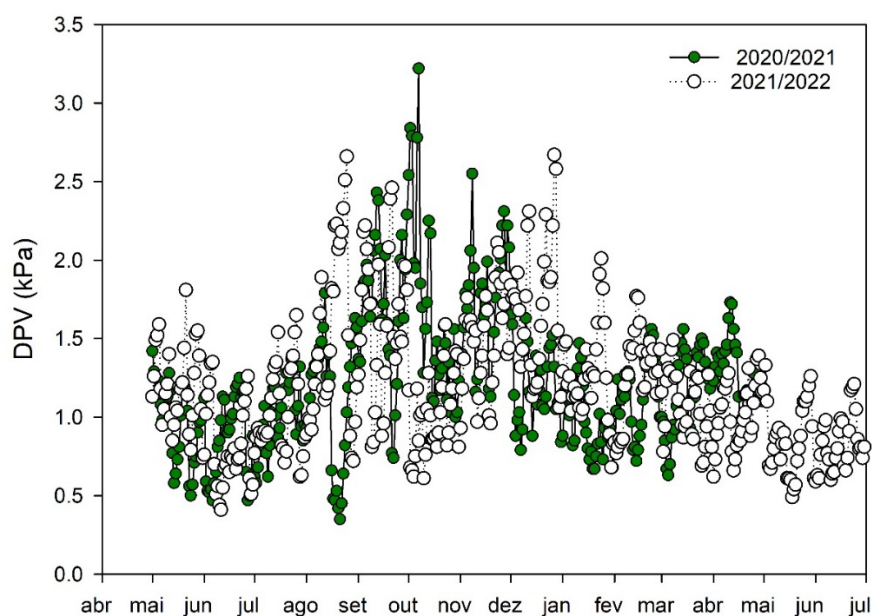
O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, no município de Presidente Bernardes-SP, nas safras 2020/2021 e 2021/2022. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018). A área experimental situa-se nas coordenadas geográficas: 22° 07' 32" Latitude Sul e 51° 23' 20" Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 475 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw. Os dados diários de temperatura, precipitação pluvial, déficit de pressão de vapor e balanço hídrico coletados durante a condução do experimento são apresentados nas Figura 1, 2 e 3.

Figura 1 — Valores diários de temperatura e precipitação pluvial durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



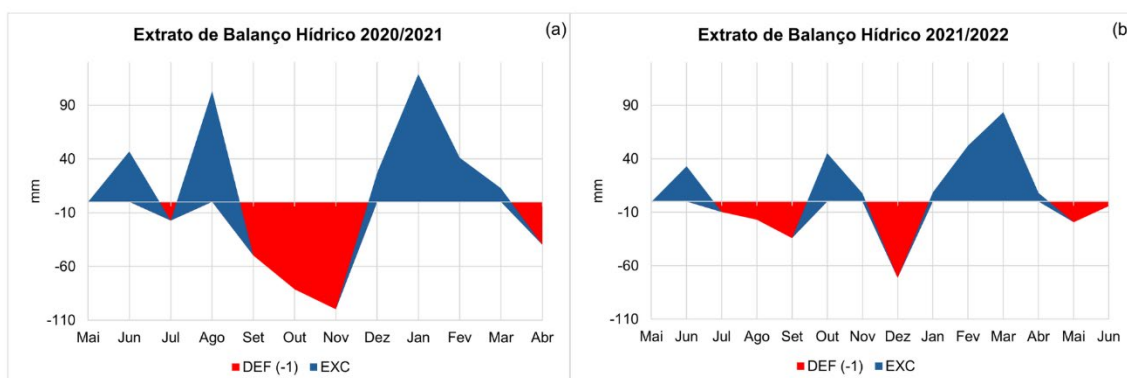
Fonte: A autora.

Figura 2 — Déficit de pressão de vapor diário durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Figura 3 — Balanço hídrico durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



Fonte: A autora.

Em setembro de 2020 e 2021 amostrou-se o solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para a caracterização das propriedades químicas, conforme metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), e granulométrica, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Características do solo durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 (a), 2018/2019 (b), 2020/2021 (c) e 2021/2022 (d).

Safra	Prof. cm	pH	M.O g dm ⁻³	P (mg dm ⁻³)	H + Al ----- (mmolc dm ⁻³) -----	K	Ca	Mg	CTC	Argila	Silte	Areia
2017/2018	0-0,20	5,0	12,1	11,8	17,6	0,6	11,8	5,9	35,9	146	22	832
	0,20-0,40	4,7	10,0	3,4	19,6	0,4	3,7	2,9	26,6	145	39	817
2018/2019	0-0,20	5,7	14,2	11,0	15,1	1,3	49,2	17,2	82,6	-	-	-
	0,20-0,40	5,0	10,3	6,0	18,4	1,0	19,2	5,9	44,5	-	-	-
2020/2021	0-0,20	5,8	15,7	34,2	13,6	1,6	12,7	6,8	34,6	-	-	-
	0,20-0,40	5,0	13,4	2,7	18,6	1,3	7,2	4,1	31,2	-	-	-
2021/2022	0-0,20	5,0	21,5	53,6	19,6	1,6	15,2	5,5	41,9	-	-	-
	0,20-0,40	4,6	19,9	34,5	19,6	1,9	10,9	4,6	36,9	-	-	-

Fonte: A autora.

2.2 Histórico da área experimental

Até 2015 a área experimental era ocupada por pastagem degradada; foi introduzida a soja na safra de 2015/2016, e a área ficou em pousio em 2016/2017 (Fig. 4A). Em março de 2017 iniciou-se a implementação dos tratamentos com sistema de semeadura direta (SSD) e preparo convencional do solo (PC). No SSD foi semeado o

capim mombaça (março 2017 e abril de 2018 e 2019) e em julho de 2017 e julho de 2018 foi realizada a aplicação de 2,5 e 1,2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico sem incorporação. Em outubro de 2017, 2018 e 2019 foram realizados os preparos mecânicos no sistema de preparo convencional (arado de disco e grade niveladora) a profundidade de 20 cm (Fig. 4A).

O capim mombaça foi dessecado no SSD em setembro (3 L do ingrediente ativo (i.a.) ácido de glifosatos+Sal de isopropilamina (360+480 g/L) e a semeadura do algodoeiro foi realizada em outubro de cada ano. Na safra 2020/2021 ocorreu a implementação dos tratamentos, objeto de estudo deste trabalho, e o tratamento sistema de semeadura direta (SSD) foi dividido em sistema de semeadura direta (SSD) e CM (cultivo mínimo) (escarificação) e o tratamento sob preparo convencional foi dividido em épocas de preparo do solo: no outono (PCO) e na primavera (PCP) (Fig. 4B). Em todos os tratamentos foram introduzidas após o preparo de solo duas plantas de cobertura, o milheto e o capim mombaça.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-divididas, com cinco repetições. Nas parcelas foram alocados os preparos do solo: 1- SSD; 2- CM; 3- Preparo convencional no Outono (PCO) e 4- Preparo convencional na Primavera (PCP). As sub-parcelas foram constituídas de plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum* (L.)) e capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) (Figura 2). Cada parcela foi demarcada com dimensões de 3,6 m de largura x 25 m de comprimento e a sub-parcela 3,6 m x 12 m.

2.4 Manejo das culturas e do solo

Em 08/05/2020 e 17/06/2021 aplicou-se em área total 1,5 Mg ha⁻¹ de dologesso (Ca – 22,3%, Mg – 5,7%, S – 3%). Em seguida, realizou-se a escarificação (até 0,15 m) no tratamento com CM e o preparo de solo no tratamento PCO (uma aração pesada e duas gradagens niveladoras até 0,30 m), e a semeadura das plantas de cobertura com plantadeira na profundidade de 0,2 m nos tratamentos CM, PCO e SSD (Figura 2). O solo do tratamento PCP foi revolvido em 20/08/2020 após um acúmulo de chuva de 179 mm e em 01/09/2021 após 36,8 mm de precipitação, e a semeadura

das plantas de cobertura ocorreu em sequência com plantadeira na profundidade de 0,2 m (Figura 4).

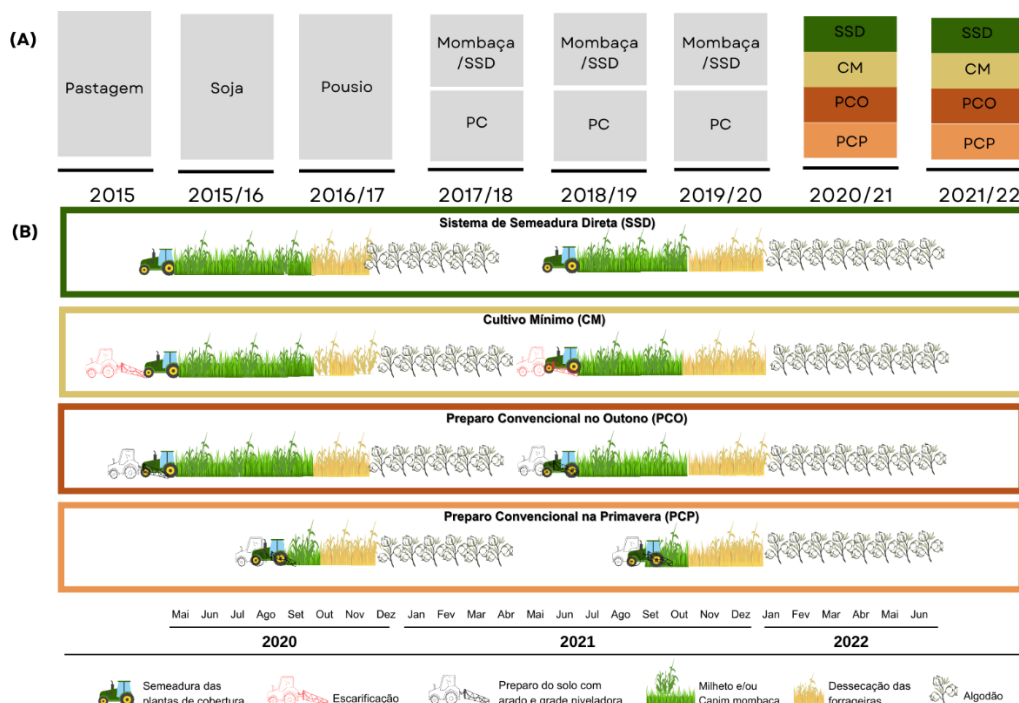
A dessecação química das plantas de cobertura ocorreu em 30/10/2020 e 21/10/2021, com aplicação de 3 L ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.) ácido de glifosatos+Sal de isopropilamina (360+480 g/L) e 1 L ha⁻¹ do i.a. cletodim (240 g/L) para o controle do capim amargoso (Figura 2).

A semeadura do algodoeiro foi realizada 10/12/2020 e 30/12/2021 utilizando espaçamento de 0,90 m entre linhas e 8 sementes por metro de linha. Foram implantadas as variedades FM 985GLTP na safra 2020/2021 e TMG 21 GLTP na safra 2021/2022. O uso de diferentes cultivares é justificado pelo melhor desempenho produtivo, avaliado em um ensaio de competição de cultivares regional, e considerando que o ano agrícola não foi uma fonte de variação, não há prejuízo do ponto de vista da validação dos resultados.

A adubação de base no sulco de semeadura foi de 24 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fosfato monoamônico). A adubação potássica foi parcelada em três vezes de 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, sendo a primeira realizada aos 30 dias antes da dessecação das plantas de cobertura e duas aplicações aos 25 e 45 dias após emergência do algodoeiro (DAE). Foi realizada a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N (Ureia) em cobertura aos 25 e 45 DAE, totalizando 100 kg ha⁻¹ de N.

O manejo fitossanitário da cultura do algodoeiro incluiu o controle de tripes (*Frankliniella schultzei*) utilizando-se imidacloprid+beta-ciflutrina (100+12,5 g ha⁻¹ do i.a); pulgão (*Aphis gossypii*) com o i.a. acefato (750 g ha⁻¹); bicudo (*Anthonomus grandis*) com o i.a. tiametoxam+lambda-cialotrina (141+106 g ha⁻¹) e malationa (1000 g L⁻¹ do i.a). A desfolha do algodoeiro foi realizada na safra 2020/2021 com 132 DAE e em 2021/2022 com 160 DAE antes da colheita com a aplicação de diurom + tidiazurom (60+120 g ha⁻¹ do i.a). A aplicação do maturador foi realizada 5 dias após a desfolha, utilizando-se o ethephon na dose de 480 g ha⁻¹ do i.a.

Figura 4 — Representação gráfica do histórico da área (A) e das operações realizadas nos tratamentos durante as safras 2020/2021 e 2021/2022 (B).



Fonte: A autora.

2.5 Atributos físicos do solo

Após a colheita do algodão (16 de julho de 2021 e 11 de agosto de 2022), foram retiradas amostras indeformadas de solo no centro das camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m. Foram coletadas 160 amostras utilizando-se um amostrador e cilindros metálicos com dimensões de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em papel filme para evitar a perda de água, sendo posteriormente encaminhadas para o laboratório onde permaneceram sob refrigeração (5°C) por 4 meses até o momento de preparação para a análise.

Após devidamente preparadas, as amostras com estrutura não deformada foram saturadas por meio de elevação gradual de uma lâmina de água em uma bandeja. Para a determinação da permeabilidade do solo ao ar (K_{air}), as amostras foram equilibradas nos potenciais de -6 kPa e -10 kPa. Em seguida, a K_{air} foi determinada utilizando um permeômetro de carga constante de ar adotando os procedimentos descritos por Ball e Schojonning (2002). Na determinação da K_{air}

utilizou-se um controlador de vazão mássica para fixar os valores da vazão de ar que fluiu para o interior de cada amostra, além de um manômetro de pressão diferencial para identificar as diferenças de pressão, modificadas em função da condição estrutural do solo. A K_{air} (μm^2) foi calculada através da equação 1:

$$K_{air} = \left[\frac{Qn}{As} \right] \times \left[\frac{z}{p} \right]$$

em que: Q é a vazão mássica (m^3/s); n é a viscosidade do ar em 20°C ($1,84 \times 10^{-5} \text{Nc}/\text{m}^2$); As é a área perpendicular ao movimento do ar (m^2); z é a altura da coluna de solo (m) e p é a pressão diferencial de ar (Par). Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 h. A densidade do solo foi determinada pela razão entre a massa do solo seco e o volume das amostras (equação 2) e o teor de água no solo (θ) foi determinado conforme descrito na equação 3:

$$Ds = \frac{m_s}{V_t} \quad (2)$$

$$\theta = \mu x \left(\frac{Ds}{Da} \right) \quad (3)$$

onde a Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3}), Da a densidade de água (Mg m^{-3}) e μ é o teor de água em base de massa (kg kg^{-1}), determinada pela razão entre as massas de água e de solo seco.

A porosidade ocupada com ar (Par) foi obtida pela diferença entre a porosidade total (PT) e o teor de água após o equilíbrio no potencial estabelecido de -10 kPa . A PT foi determinada pela equação $PT = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right)$, em que Dp é a densidade de partículas (Mg m^{-3}), sendo utilizado o valor de 2650 kg m^{-3} .

A capacidade de armazenamento de água (cc/pt) foi calculada por meio da razão entre capacidade de campo (CC), a qual foi considerada como sendo o teor de água no potencial de -10 kPa e porosidade total (PT) e, a capacidade de armazenamento de ar, pela razão entre capacidade de aeração (CA) e PT, conforme descrito em Reynolds et al. (2002). A CA foi obtida pelo teor de água do solo saturado subtraído do teor de água retido na tensão de -10 kPa .

As avaliações de resistência do solo à penetração (RP) foram realizadas na safra 2021/2022 no mês de fevereiro 35 dias após a emergência (DAE) do algodoeiro e outubro (após a colheita do algodoeiro). Em cada parcela foram feitas três medições

de RP utilizando o equipamento penetrológ (modelo PLG2040, FALKER, Porto Alegre/RS - Brasil), na linha de semeadura do algodoeiro. Foram tomadas medidas de RP a cada 1 cm até 60 cm de profundidade, as quais foram transformadas em valores médios nas camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m. Simultaneamente à determinação de RP, foram tomadas amostras de solo para determinação de umidade nas camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60, conforme método de Teixeira *et al.* (2017).

2.6 Atributos microbiológicos do solo

A coleta de amostras de solo para avaliação dos atributos microbiológicos foi realizada seis dias antes da dessecação das plantas de cobertura e após a colheita do algodão em 2020/2021 e 2021/2022. Foram coletadas amostras na camada de 0-0,10 m com cinco sub-amostras por parcela. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e acomodadas em um freezer a -1 °C por 30 dias. Em seguida, foi realizada a peneiragem e correção da umidade do solo para o teor de água equivalente à capacidade de campo.

Os teores de carbono (Cmic) e nitrogênio (Nmic) da biomassa microbiana (Vance *et al.*, 1987; Brookes *et al.*, 1985) foram determinados por meio do método de fumigação-extração. Foram pesados 50 g de solo, sendo 25 g fumigadas com 500 mL de clorofórmio por 24 horas e 25 g de solo não fumigado. Após este processo foram adicionados 100 mL 0,5 mol L⁻¹ K₂SO₄ nas amostras Cmic e Nmic fumigadas e não fumigadas, e as amostras foram agitadas por 30 minutos em 240 rpm (Mesa agitadora orbital MA 140 CFT – MARCONI). A diferença entre Cmic e Nmic foi convertida usando o coeficiente de eficiência de extração (0,38 e 0,45). A respiração basal do solo foi mensurada por meio da liberação de CO₂ após incubação aeróbia com 50 g de solo em titulação com NaOH durante 96 horas (Alef; Nannipieri, 1995).

A atividade da enzima fosfatase ácida foi determinada pelo método de Tabatabai e Bremner (1969). Pesou-se 1g de solo e adicionou-se 4 mL de MUB pH 6,5 e 1 mL de PNF diluídos em MUB pH 6,5. As amostras foram agitadas e levadas ao banho maria por uma hora a 37°C. Após a incubação, foi adicionado 1 mL de CaCl₂ 0,5 mol L⁻¹ e 4 mL de NaOH 0,5 M, agitou-se e o líquido foi filtrado em papel de filtro. A leitura das amostras foi realizada com espectrofotômetro a 400 nm.

A enzima β -glicosidase foi avaliada pelo método de Eivazi e Tabatabai (1972). Em 1 g de solo em tubos de ensaio foram adicionados 4 mL do tampão MUB PH 6.0 e 1 mL de PNG (p-Nitrofenol - 1000 ppm). Incubou-se por 1 hora (37°C), após este processo adicionou-se 1 mL de CaCl_2 0,5 mol L⁻¹ e 4 mL de THAM 0,1M pH 12. As amostras foram agitadas e filtradas para leitura em absorbância de 400 nm.

A atividade da enzima arilsulfatase foi determinada pelo método de Tabatabai e Bremner (1970). A partir da pesagem de 1 g de solo em tubos de ensaio adicionou-se 4 mL de Tampão de Acetato-ácido acético 0,5 mol L⁻¹ (pH 5,8) e mais 1 mL da solução de sulfato de p-nitrofenil (sulfato de potássio 0,025 M) o PNS. Agitou-se as amostras e armazenou-se os tubos dentro da estufa a 37°C durante 1 hora. Após este processo foram adicionados 1 mL de CaCl_2 0,5 M e 4 mL de Tampão pH 12. As amostras foram agitadas e filtradas, procedendo com a leitura no espectrofotômetro a 400 nm.

A atividade da enzima desidrogenase foi determinada pelo método de Casida *et al.* (1964). Em 5 g de solo misturou-se 1 mL de glicose e 2 mL de T.T.C (cloreto de 2,3,5-trifeniltetrazólio) e nos brancos 2 mL de THAM pH 7,6. Todas as amostras foram incubadas por 18 horas (25°C); após este período acrescentou-se 9 mL de metanol em todas as amostras, sendo em sequência agitadas e filtradas, e por fim foi realizada a leitura com espectrofotômetro a 530 nm.

A glomalina facilmente extraível do solo foi avaliada após a colheita do algodão na safra 2021/2022 nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m com cinco sub-amostras por parcela. Sua determinação se deu a partir da pesagem de 1 g de solo com a adição de 8 mL de tampão citrato de sódio (20 mM, pH 7). As amostras foram autoclavadas por 30 minutos e centrifugadas por 10 minutos (5000 rpm). Após a centrifugação extraiu-se 150 μL da solução e em seguida adicionou-se 3 mL do reagente Bradford. Após agitação e descanso das amostras por 10 minutos realizou-se a leitura com absorbância de 590 nm (Wright e Upadhyaya, 1996).

2.7 Análise estatística

Cada safra foi considerada um experimento independente e foi analisada separadamente, uma vez que foram utilizadas diferentes cultivares, épocas de semeadura e condições climáticas variáveis como regime hídrico e temperaturas. Os dados foram submetidos à análise de variância para verificação dos dados. Os

resultados foram analisados para estudar os efeitos dos tratamentos dentro de cada experimento usando ANOVA independente de duas vias (teste F, $P < 0,05$). O teste de Tukey a 5% de significância foi utilizado para avaliar a diferença das médias entre os tratamentos. Os sistemas de preparo do solo e as plantas de cobertura foram considerados como efeitos fixos e blocos como efeitos aleatórios. A análise de componente principal (PCA) foi usada para expor a relação entre os atributos físicos e biológicos do solo e produtividade de fibra em um solo arenoso utilizando o software Palaeontological Statistic (PAST) versão 3,29 (Hammer *et al.*, 2001). No presente estudo foi realizada a média entre as camadas do solo avaliadas sob os atributos físicos. Uma análise de correlação de Person foi realizada para todas as variáveis estudadas acompanhando as correlações do PCA.

3 RESULTADOS

3.1 Atributos físicos do solo

O cultivo mínimo resultou em menores densidades na safra 2020/2021 nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m e de 0,20-0,40 m na safra seguinte. O PCO aumentou a Ds em ambas as safras em 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabela 2). Entre as plantas de cobertura, o solo que foi cultivado o milheto teve Ds 2% maior de que o solo onde foi capim mombaça em 0-0,10 e 0,20-0,40 m; já em 0,10-0,20 m o capim mombaça resultou em maior Ds.

O solo sob SSD apresentou maior capacidade de armazenamento de água de 0-0,20 m em relação aos demais tratamentos. No entanto, na camada de 0,10-0,20 m tanto o CM como o PCO apresentaram maior cc/pt. Os tratamentos com intervenção mecânica (PCO, PCP e CM) proporcionaram incremento da cc/pt em 16% e 20% nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,20-0,40 m em comparação ao SSD no segundo ano (Tabela 2). O solo arenoso sob o capim mombaça teve sua capacidade de armazenamento de água aumentada de 0,20-0,40 m em 3% na safra 2020/2021 e sob milheto em 11% e 13% em 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m na safra seguinte, respectivamente (Tabela 2).

A capacidade de armazenamento de ar (par/pt) na camada de 0,0-0,10 m foi maior no tratamento CM em relação aos demais em ambas as safras, contudo, em 2021/2022 o SSD e PCP não diferiram do CM. A par/pt foi maior em todas as camadas

no SSD em 2021/2022. O PCP apresentou maior par/pt em 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m na safra 2020/2021 e 0,0-0,10, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m na safra 2021/2022. O uso do milho incrementou a par/pt em 8% e 11% na camada de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente na safra 2020/2021; já na safra seguinte o aumento foi de 9% e 5% em 0,0-0,10 e 0,20-0,40 m, respectivamente, em relação ao capim mombaça. Por sua vez, o capim mombaça incrementou par/pt em 15% e 7% em 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m, comparado ao milho (2021/2022) (Tabela 2).

Tabela 2 — Valores médios de densidade do solo (Ds), capacidade de armazenamento de água (cc/pt) e capacidade de armazenamento de ar (par/pt) nas camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m sob diferentes sistemas de preparo associados com milho e capim mombaça como culturas de coberturas nas safras 2020/2021 e 2021/2022.

Sistemas de preparo (SP)	2020/2021				2021/2022			
	Ds (Mg m ⁻³)							
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
SSD	1,60	1,72 ab	1,71 a	1,69	1,58	1,61 c	1,67 ab	1,68 a
CM	1,63	1,68 b	1,67 b	1,68	1,58	1,63 bc	1,64 b	1,64 ab
PCO	1,63	1,72 a	1,70 a	1,63	1,59	1,69 a	1,71 a	1,59 b
PCP	1,64	1,71 ab	1,69 a	1,68	1,61	1,67 ab	1,70 ab	1,70 a
Plantas de cobertura (PC)								
Milheto	1,63	1,70	1,70	1,68	1,61 a	1,63 b	1,70 a	1,66
Mombaça	1,62	1,71	1,69	1,70	1,57 b	1,67 a	1,66 b	1,64
SP	0,0786 ^{ns}	0,0180*	0,0001*	0,3906 ^{ns}	0,5362 ^{ns}	0,0001*	0,0303*	0,0012*
PC	0,8944 ^{ns}	0,3382 ^{ns}	0,1576 ^{ns}	0,1338 ^{ns}	0,0196*	0,0112*	0,0472*	0,1682 ^{ns}
SP x PC	0,0000**	0,0002*	0,0000**	0,5247 ^{ns}	0,0002*	0,0084*	0,1356 ^{ns}	0,0408*
C.V.(%)	2,20	1,66	1,04	2,58	2,88	2,29	3,16	3,31
Sistemas de preparo cc/pt 60 (ADM)								
SSD	0,67 a	0,68 a	0,63 a	0,64 ab	0,49 b	0,58 ab	0,48 b	0,53 ab
CM	0,60 b	0,67 a	0,61 ab	0,63 ab	0,55 a	0,55 b	0,56 a	0,57 a
PCO	0,66 ab	0,66 a	0,62 ab	0,60 b	0,58 a	0,61 a	0,60 a	0,54 ab
PCP	0,65 ab	0,62 b	0,59 b	0,66 a	0,58 a	0,58 ab	0,58 a	0,49 b
Plantas de cobertura								
Milheto	0,66	0,66	0,60 b	0,62	0,54	0,61 a	0,59 a	0,53
Mombaça	0,63	0,66	0,62 a	0,64	0,56	0,55 b	0,52 b	0,54
SP	0,0463*	0,0003*	0,0184*	0,0193*	0,0000**	0,0582 ^{ns}	0,0000**	0,0016*
PC	0,1678 ^{ns}	0,7071 ^{ns}	0,0407*	0,0875 ^{ns}	0,1023 ^{ns}	0,0001*	0,0000**	0,3827 ^{ns}
SP x PC	0,0256*	0,0506 ^{ns}	0,4081 ^{ns}	0,0244*	0,0000**	0,4040 ^{ns}	0,4390 ^{ns}	0,4002 ^{ns}
C.V.(%)	8,60	3,90	4,96	6,38	5,54	6,79	7,48	7,28
Sistemas de preparo Par/pt (ADM)								
SSD	0,32 b	0,32 b	0,36 b	0,37	0,49 a	0,47 a	0,50 a	0,45 a
CM	0,39 a	0,35 ab	0,38 ab	0,36	0,50 a	0,39 b	0,44 b	0,45 a
PCO	0,33 ab	0,33 b	0,39 a	0,39	0,38 b	0,38 b	0,42 b	0,43 b
PCP	0,34 ab	0,38 a	0,41 a	0,38	0,47 a	0,43 ab	0,44 a	0,50 a
Plantas de cobertura								
Milheto	0,33	0,34	0,40 a	0,40 a	0,48 a	0,39 b	0,46 a	0,44 b
Mombaça	0,36	0,34	0,37 b	0,36 b	0,44 b	0,45 a	0,44 b	0,47 a
SP	0,0463*	0,0005*	0,0004*	0,4234 ^{ns}	0,0000**	0,0065*	0,0000**	0,0004*
PC	0,1678 ^{ns}	0,7897 ^{ns}	0,0014*	0,0034*	0,0391*	0,0048*	0,0485*	0,0117*
SP x PC	0,0256*	0,0187*	0,0378*	0,7368 ^{ns}	0,0718 ^{ns}	0,3883 ^{ns}	0,0000**	0,0301*
C.V.(%)	15.93	7.94	6.11	10.31	10.07	14.91	5.04	7.22

Fonte: A autora.

Legenda: SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. ADM: Adimencional. Médias sem letra não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de significância. *= 1% significância de significância. **= 5% significância. ^{ns}= Não significativo.

Em ambas as safras, a DS onde foi milho no SSD, foi menor em 8% e 3%, nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente, em comparação do solo sob SSD e capim mombaça (Tabela 3). Já nos sistemas de preparo convencional na primavera e outono, a utilização do milho aumentou a Ds em 4% em 2020/2021 e 6% em 2021/2022 comparado ao SSD e CM. Já o capim mombaça sob o PCP reduziu a Ds em 6%, 3% e 4% nas camadas de 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente, em comparação ao milho (Tabela 3).

Tabela 3 — Desdobramento do efeito da interação entre sistemas de preparo do solo e planta de cobertura sobre a densidade do solo (Ds) nas camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.

Sistemas de Preparo	Ds (Mg m ⁻³)			
	2020/2021		2021/2022	
	Milho	Mombaça	Milho	Mombaça
0,0-0,10 m				
SSD	1,54 bB	1,66 aA	1,50 bB	1,67 aA
CM	1,65 aA	1,62 aAB	1,60 aAB	1,57 aAB
PCO	1,64 aA	1,63 aAB	1,58 aB	1,60 aA
PCP	1,69 aA	1,59 bB	1,60 aAB	1,63 aA
0,10-0,20 m				
SSD	1,69 bAB	1,74 aA	1,56 bB	1,65 aA
CM	1,65 bB	1,71 aAB	1,61 aB	1,65 aA
PCO	1,73 aA	1,71 aAB	1,68 bA	1,71 aA
PCP	1,74 aA	1,68 bB	1,69 aA	1,65 aA
0,20-0,40 m				
SSD	1,72 aA	1,71 aA	1,69	1,65
CM	1,68 aB	1,66 aB	1,69	1,59
PCO	1,68 bB	1,73 aA	1,71	1,71
PCP	1,73 aA	1,66 bB	1,70	1,69
0,40-0,60 m				
SSD	1,67	1,72	1,71 aA	1,64 aA
CM	1,67	1,69	1,65 aAB	1,63 aA
PCO	1,70	1,73	1,57 aB	1,62 aA
PCP	1,69	1,68	1,74 aA	1,66 bA

Fonte: A autora.

Legenda: SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. Para cada profundidade as médias seguidas da letra minúscula na linha comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas nas colunas os sistemas de preparo. Médias sem letra não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de significância. * = 1% significância de significância. ** = 5% significância. ^{ns} = Não significativo.

Ambos os preparos convencionais do solo (PCO e PCP) resultaram em aumento da capacidade de armazenamento de água do solo (cc/pt) em 13% sobre milho na camada 0,0-0,10 m em 2020/2021, em relação ao SSD e CM. A capacidade de armazenamento de água e ar foram maiores na camada de 0,40-0,60 m no PCP com milho em relação aos outros sistemas de preparo. Na safra seguinte todos os tratamentos com o uso de intervenção mecânica aumentaram a capacidade de armazenamento de água em 26% na camada 0,0-0,10 m, comparado ao SSD (Tabela 4).

O CM sob milho incrementou em 32% a capacidade de armazenamento de ar do solo (par/pt) na camada 0,0-0,10 m, comparado aos demais sistemas de preparo. Entre as plantas de cobertura, o capim mombaça favoreceu o aumento do par/pt em 30% no PCO e 23% no PCP, e o milho incrementou a cc/pt em 11% no PCO e 15% no PCP na safra 2020/2021. Sob capim mombaça, o PCP apresentou capacidade de armazenamento de ar no solo de 0,10-0,20 m 13% superior ao milho e 24% em relação aos demais sistemas de preparo na safra 2020/2021 (Tabela 4). No entanto, em 0,20-0,40 m o milho aumentou o par/pt em 16% comparando com o capim mombaça, respectivamente na safra 2020/2021.

Na safra 2021/2022 o solo sob SSD obteve capacidade de armazenamento de ar (par/pt) de 22% maior com o milho em relação à mombaça e 30% em relação aos demais sistemas de preparo na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 4). No entanto, o inverso foi observado no tratamento CM, onde o capim mombaça proporcionou aumento da capacidade de armazenamento de ar de 15% em comparação ao milho (Tabela 4).

Tabela 4 — Capacidade de armazenamento de água (cc/pt) e capacidade de armazenamento de ar (par/pt) nas camadas 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça na safra 2020/2021 e 2021/2022.

Sistemas de Preparo	cc/pt 60 (ADM)		par/pt (ADM)		cc/pt 60 (ADM)		par/pt (ADM)		
	2020/2021				2021/2022				
	Milheto	Mombaça	Milheto	Mombaça	Milheto	Mombaça	Milheto	Mombaça	
0,0-0,10 m									
SSD	0,66 aAB	0,69 aA	0,34 aAB	0,31 aA	0,46 aB	0,54 aB	0,53	0,45	
CM	0,59 aB	0,62 aA	0,41 aA	0,38 aA	0,60 aA	0,52 aB	0,50	0,51	
PCO	0,70 aA	0,63 bA	0,30 bB	0,37 aA	0,59 aA	0,59 aB	0,38	0,39	
PCP	0,70 aA	0,61 bA	0,30 bB	0,39 aA	0,55 bA	0,62 aA	0,51	0,44	
0,10-0,20 m									
SSD	0,67	0,70	0,33 aA	0,32 aB	0,62	0,54	0,46	0,49	
CM	0,66	0,68	0,36 aA	0,34 aB	0,59	0,53	0,34	0,45	
PCO	0,67	0,67	0,33 aA	0,33 aB	0,62	0,60	0,37	0,39	
PCP	0,64	0,61	0,36 bA	0,41 aA	0,62	0,56	0,40	0,48	
0,20-0,40 m									
SSD	0,64	0,64	0,36 aB	0,36 aA	0,51	0,46	0,56 aA	0,46 bAB	
CM	0,61	0,62	0,39 aAB	0,38 aA	0,59	0,55	0,41 bC	0,47 aA	
PCO	0,60	0,64	0,43 aA	0,37 bA	0,65	0,55	0,43 aBC	0,43 aB	
PCP	0,58	0,61	0,43 aA	0,39 bA	0,63	0,55	0,46 aB	0,44 aAB	
0,40-0,60 m									
SSD	0,62 aAB	0,67 aA	0,40	0,36	0,53	0,55	0,44 aB	0,47 aA	
CM	0,60 bB	0,66 aA	0,40	0,34	0,57	0,58	0,43 bB	0,48 aA	
PCO	0,59 aB	0,61 aA	0,41	0,39	0,52	0,56	0,40 bB	0,46 aA	
PCP	0,68 aA	0,64 aA	0,40	0,36	0,51	0,49	0,52 aA	0,49 aA	

Fonte: A autora.

Legenda: SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. ADM: adimensional. Para cada profundidade as médias seguidas da letra minúscula na linha comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas nas colunas os sistemas de preparo. Médias sem letra não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de significância. * = 1% significância de significância.

** = 5% significância. ^{ns} = Não significativo.

Tabela 5 — Médias de umidade do solo (θ_m) nas camadas 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes manejos com uso de milho e mombaça na safra 2021/2022.

Manejos	Umidade do solo (kg kg ⁻¹)			
	Início da safra 2021/2022			
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
SSD - Milheto	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,01
SSD - Mombaça	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,01
CM - Milheto	0,09 ± 0,00	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,00
CM - Mombaça	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00
PCO - Milheto	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,00
PCO - Mombaça	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,00
PCP - Milheto	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01
PCP - Mombaça	0,09 ± 0,00	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01
C.V(%)	6,79	6,43	7,43	7,69
	Final da safra 2021/2022			
SSD - Milheto	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,05	0,09 ± 0,00
SSD - Mombaça	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00
CM - Milheto	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,00
CM - Mombaça	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,00
PCO - Milheto	0,11 ± 0,03	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00
PCO - Mombaça	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,00	0,07 ± 0,04
PCP - Milheto	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,00
PCP - Mombaça	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,00
C.V(%)	12,66	6,45	19,27	17,06

Fonte: A autora.

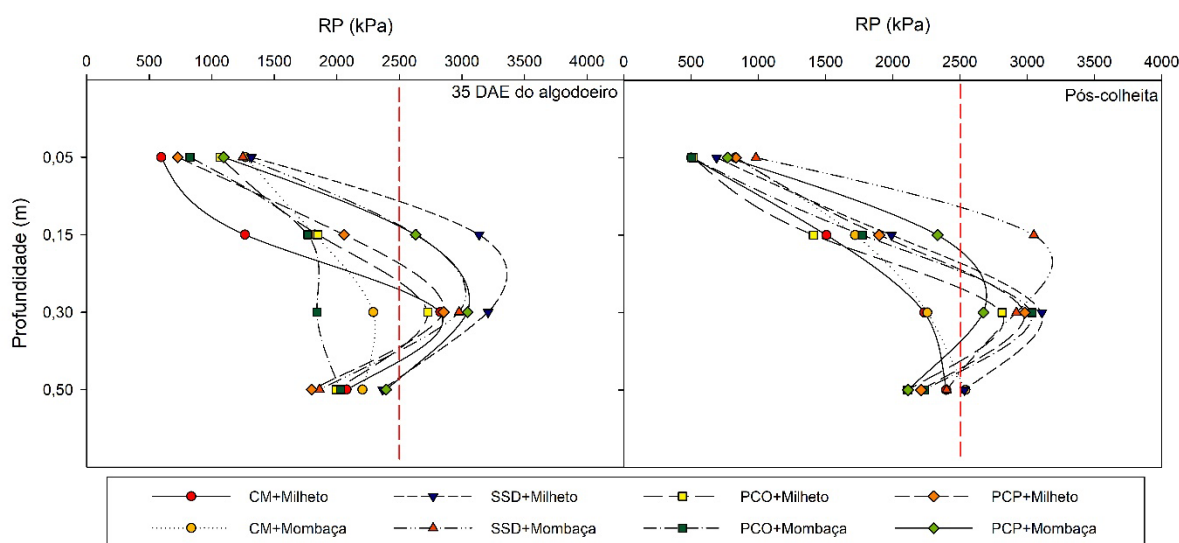
Legenda: Média ± desvio padrão; C.V (%): Coeficiente de variação

A resistência do solo à penetração (RP) medida a campo durante o desenvolvimento do algodoeiro (35 DAE) e após a colheita do algodoeiro foi influenciada pelos sistemas de preparo e pelas plantas de cobertura. Entre 0,10 m e 0,40 m de profundidade registrou-se valores de RP acima do limite crítico de 2.500 kPa (Girardello *et al.*, 2014) (Fig. 5). O solo com o capim mombaça sobre o sistema de preparo SSD reduziu a RP do solo, comparado ao milho em todas as camadas avaliadas aos 35 DAE do algodoeiro, apresentando a mesma tendência após a colheita na camada 0,20-0,40 m (Fig. 5).

O capim mombaça proporcionou valores de RP inferiores ao que se considera impeditivo ao crescimento radicular do algodoeiro no CM e PCO aos 35 DAE do algodoeiro. No entanto, no final da safra, a RP foi maior que o limite crítico com o

capim mombaça no PCO. Embora o PCP com o uso de milho tenha atenuado em 28% e 7% a RP na camada de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m em comparação ao capim mombaça aos 35 DAE, no final da safra a RP diminuiu em 12% com o capim mombaça em relação ao milho (Fig. 5).

Figura 5 — Resistência à penetração nas camadas de 0,0-0,10m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim Mombaça durante o desenvolvimento do algodoeiro (35 DAE) e após a colheita do algodoeiro na safra 2021/2022.



Fonte: A autora.

Legenda: RP: Resistência a penetração. CM: cultivo mínimo; SSD: sistema de semeadura direta; PCO: preparo convencional no outono; PCP: preparo convencional na primavera

3.2 Atributos microbianos do solo

A atividade da enzima fosfatase ácida e o Nmic foram 10% e 38% maiores no CM em relação aos demais tratamentos, em 2020/2021 (Tabela 6). No entanto, o PCO incrementou em 20% e 33% a atividade da enzima desidrogenase e o teor de Cmic na safra 2020/2021 (Tabela 6). O milho proporcionou maiores índices de respiração do solo, Cmic e Nmic em comparação com o capim mombaça na safra 2020/2021. Na safra seguinte (2021/2022) o SSD incrementou em 31%, 100% e 52% a atividade da fosfatase ácida, respiração do solo e Nmic, respectivamente, em relação aos outros sistemas de preparo (Tabela 6).

No segundo ano (2021/2022) a atividade da enzima β -Glicosidase aumentou 15% no PCO comparado aos SSD e CM; já a atividade da enzima arilsulfatase foi 26% maior no PCP comparado ao SSD e PCO, respectivamente. O CM apresentou Cmic 34% maior na safra 2021/2022 em relação aos demais tratamentos. Contudo, a atividade da enzima desidrogenase foi 35% maior nos sistemas de preparo cuja semeadura das plantas de cobertura foi na mesma época (SSD, CM e PCO) (Tabela 6). A atividade da fosfatase ácida, β -Glicosidase e Nmic do solo sob milho aumentou em 16, 20% e 20%, respectivamente, em relação ao capim mombaça. No entanto, a atividade da enzima arilsulfatase foi 24% maior sob capim mombaça.

Tabela 6 — Atributos biológicos e enzimáticos do solo em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.

Sistema de Preparo	2020/2021						
	Fosfatase	β -Glico	Aril	Desidrogenase	Respiração	Cmic	Nmic
		mg kg ⁻¹ h ⁻¹		μ g TTF g ⁻¹ solo h ⁻¹	mg CO ₂ kg ⁻¹ solo ⁻¹	mg C kg ⁻¹ solo	
SSD	188,24 b	36,17	23,75	8,49 b	0,06	225,55 c	6,69 b
CM	204,64 a	38,23	24,64	7,85 b	0,05	256,41 b	8,07 a
PCO	186,64 b	37,05	23,88	9,92 a	0,04	327,97 a	6,32 c
PCP	181,23 b	36,68	22,95	8,53 b	0,03	259,99 b	4,58 d
Planta de cobertura							
Milho	192,21	36,64	23,70	8,52	0,06 a	287,45 a	6,58 a
Mombaça	188,19	37,42	23,91	8,87	0,03 b	247,51 b	6,24 b
SP	0,0001*	0,1738 ^{ns}	0,1040 ^{ns}	0,0000**	0,1663 ^{ns}	0,0000**	0,0000**
PC	0,2133 ^{ns}	0,2451 ^{ns}	0,6588 ^{ns}	0,1918 ^{ns}	0,0018*	0,0000**	0,0007*
SP x PC	0,0000**	0,0872 *	0,3498 ^{ns}	0,0455*	0,0066*	0,0001*	0,0000**
C.V.(%)	5,25	5,60	6,10	9,39	60,06	6,73	4,33
Sistema de Preparo	2021/2022						
	Fosfatase	β -Glico	Aril	Desidrogenase	Respiração	Cmic	Nmic
		mg kg ⁻¹ h ⁻¹		μ g TTF g ⁻¹ solo h ⁻¹	mg CO ₂ kg ⁻¹ solo ⁻¹	mg C kg ⁻¹ solo	
SSD	128,47 a	15,69 b	7,32 cb	2,90 a	0,04 a	308,63 b	15,70 a
CM	93,10 b	15,84 b	8,16 ab	2,72 a	0,02 c	374,13 a	11,25 b
PCO	100,94 b	18,07 a	6,91 c	2,79 a	0,03 b	255,66 c	10,35 bc
PCP	99,47 b	17,46 ab	8,95 a	2,07 b	0,03 b	275,10 bc	9,30 c
Planta de cobertura							
Milho	113,37 a	18,28 a	6,98 b	2,65	0,03	305,28	12,70 a
Mombaça	97,63 b	15,24 b	8,68 a	2,59	0,03	301,48	10,60 b
SP	0,0000**	0,0141 ^{ns}	0,0000**	0,0061*	0,0000**	0,0000**	0,0000**
PC	0,0007*	0,0000**	0,0000**	0,7566 ^{ns}	0,1193 ^{ns}	0,7237 ^{ns}	0,0000**
SP x PC	0,4636 ^{ns}	0,0463*	0,0043*	0,0011*	0,0002*	0,0340*	0,0000**
C.V.(%)	12,33	10,88	9,93	19,82	16,01	11,08	11,27

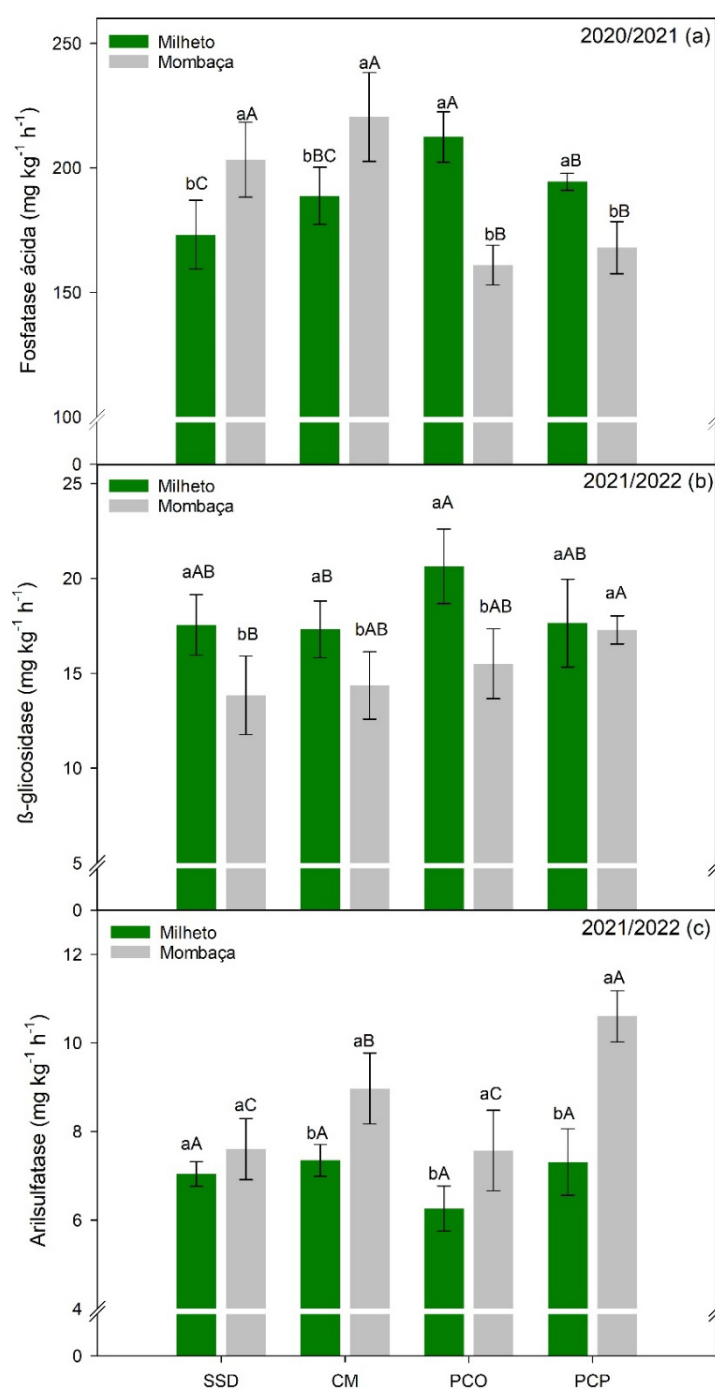
Fonte: A autora.

Legenda: β -Glico: β -Glicosidase; Aril: Arilsulfatase; Cmic: Carbono da biomassa microbiana; Nmic: Nitrogênio da biomassa microbiana; SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. SP: Sistema de Preparo; PC: Planta de cobertura. Médias sem letra não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de significância. * = 1% significância de significância. ** = 5% significância. ^{ns} = Não significativo.

Na safra 2020/2021 o capim mombaça aumentou a atividade da fosfatase ácida em 28% sob os sistemas de preparo SSD e CM, em relação aos outros tratamentos, enquanto o milho favoreceu o incremento da fosfatase ácida sob PCO (Fig. 6a). O milho também se destacou no aumento da atividade da enzima β -Glicosidase na safra seguinte (Fig. 6b). Sob PCP em 2021/2022, a atividade da β -

Glicosidase e arilsulfatase foi 19% e 32% maior, na mombaça em relação ao milho (Fig. 6a-b).

Figura 6 — Atividade enzimática da fosfatase ácida, β -Glicosidase e arilsulfatase em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.

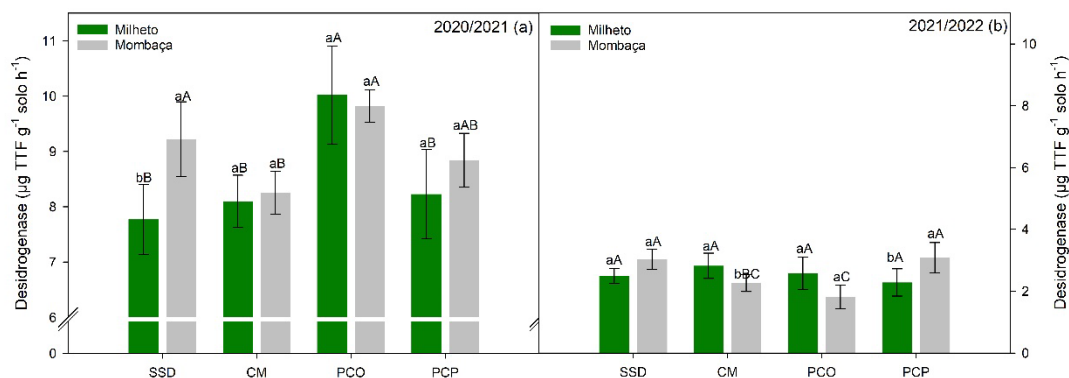


Fonte: A autora.

Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

A atividade da enzima desidrogenase no PCO foi maior em 25% sob milho e 29% sob mombaça comparando com CM na safra 2020/2021 (Fig. 7a). Sob SSD, o capim mombaça também aumentou a atividade da desidrogenase em ambas as safras, com destaque também do PCP em 2021/2022 (Fig. 7a e b).

Figura 7 — Atividade da enzima desidrogenase em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

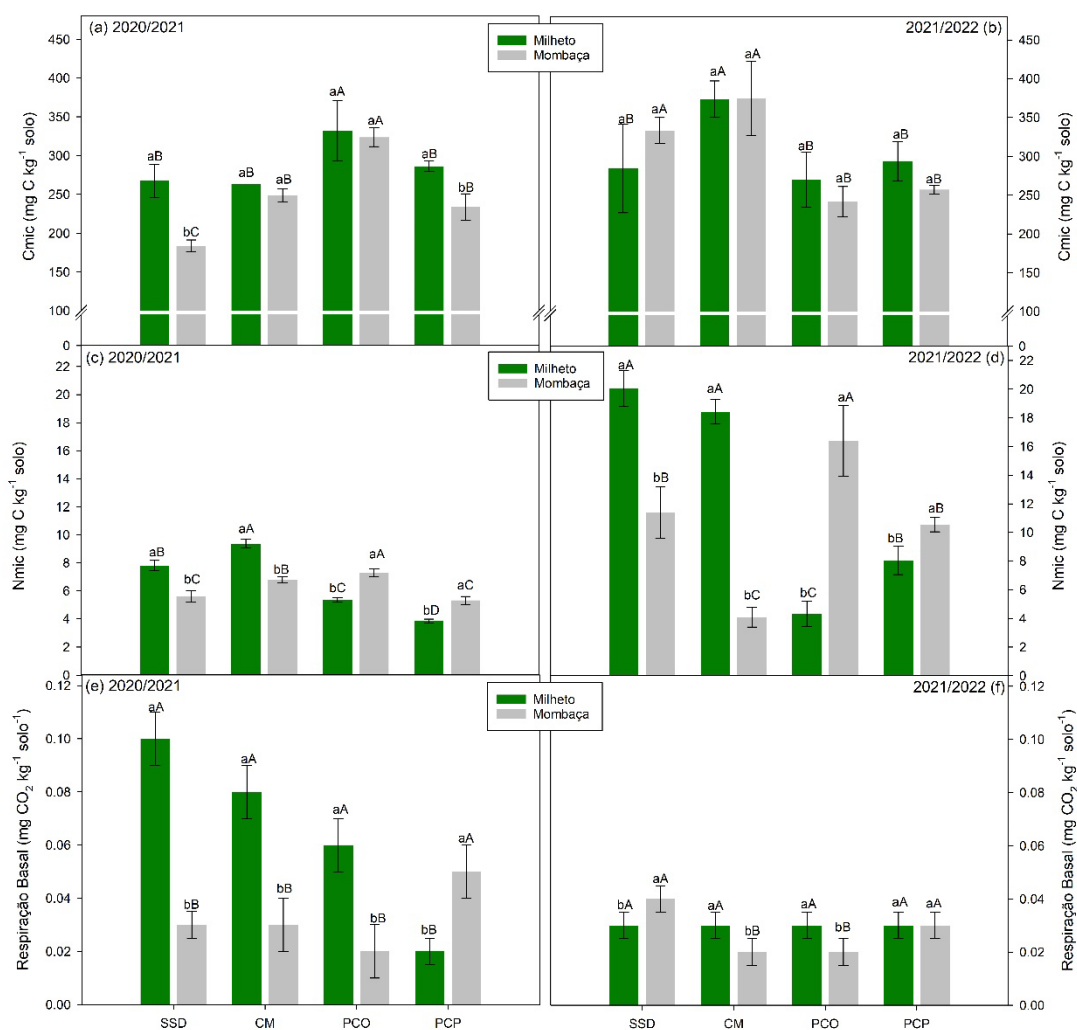
O Cmic foi 22% e 46% maior no PCO sob milho e mombaça, respectivamente, em relação aos demais sistemas de preparo na safra 2020/2021 (Fig. 8a). Em 2021/2022, o Cmic foi 32% maior no CM com milho, 42% no SSD e CM sob mombaça comparado os demais sistemas de preparo (Fig. 8b).

O milho incrementou o Nmic nos tratamentos SSD e CM em relação ao capim mombaça, respectivamente, em ambas as safras. O inverso foi observado nos tratamentos PCO e PCP, tendo o capim mombaça proporcionado maiores teores de Nmic, em comparação ao milho (Fig. 8a-b).

A emissão de CO₂ (respiração basal do solo) foi maior no SSD, CM e PCO sob milho em 2020/2021 (Fig. 8e), sob o capim mombaça o aumento foi sob o PCP (Fig. 8f). Em ambas as safras o CM no milho aumentou a emissão de CO₂ em

166% em 2020/2021 e 100% em 2021/2022 em comparação ao capim mombaça (Fig. 8e-f).

Figura 8 — Teor de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e da respiração basal do solo em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo pelo teste de Tukey a 5% de significância. SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera.

O teor de glomalina foi 40% maior no SSD em relação ao PCP em 0,0-0,10 m, no entanto na camada de 0,10-0,20 m o PCO teve teor de glomalina 20% maior que o SSD (Tabela 7). O milho incrementou o teor de glomalina em 10% em 0,10-0,20 m (Tabela 7).

Tabela 7 — Teor da glomalina facilmente extraível nas camadas de 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça em 2021/2022.

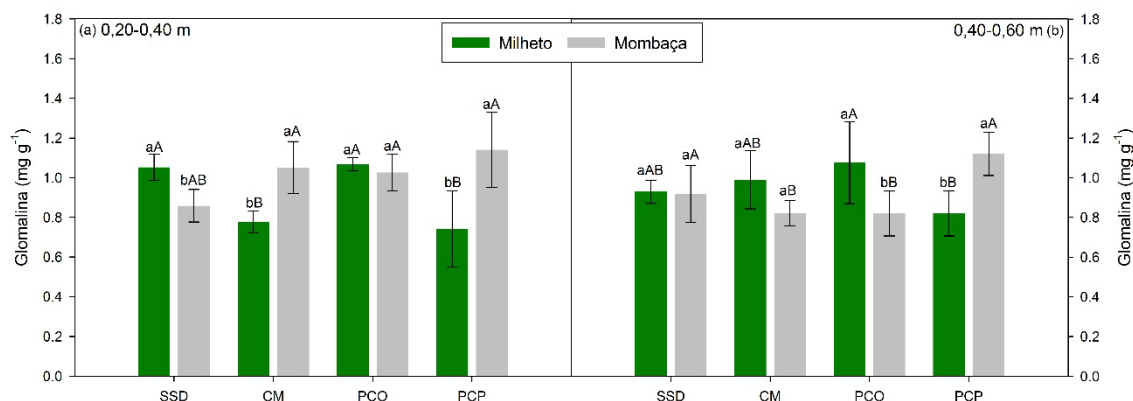
Sistema de Preparo	Glomalina (mg g ⁻¹)	
	0,0-0,10	0,10-0,20
SSD	1,62 a	1,07 b
CM	1,21 b	1,16 ab
PCO	1,25 b	1,28 a
PCP	1,16 c	1,12 ab
Planta de Cobertura		
Milho	1,21	1,21 a
Mombaça	1,18	1,10 b
SP x PC	0,9394 ^{ns}	0,5129 ^{ns}
C.V. (%)	10,43	11,37

Fonte: A autora.

Legenda: SSD: Sistema de Semeadura Direta; CM: Cultivo Mínimo; PCO: Preparo Convencional no Outono; PCP: Preparo Convencional na Primavera. SP: Sistema de Preparo; PC: Planta de cobertura. Médias sem letra não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de significância. * = 1% significância de significância. ** = 5% significância. ^{ns} = Não significativo.

O milho aumentou o teor de glomalina em 24% no SSD em relação a mombaça, e o inverso foi observado no CM em 0,20-0,40 m com incremento de 36% sob mombaça (Fig. 9a). O milho proporcionou melhores teores de glomalina na última camada (0,40-0,60 m), em relação a mombaça. Notou-se efeito positivo do capim mombaça no incremento de glomalina em relação ao milho no PCP nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m (Fig. 9a-b).

Figura 9 — Teor de glomalina no solo em 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m em área de algodão sob diferentes sistemas de preparo com uso de milho e capim mombaça.



Fonte: A autora.

Legenda: As médias seguidas da letra minúscula comparam as plantas de cobertura e as letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo pelo teste de Tukey a 5% de significância.

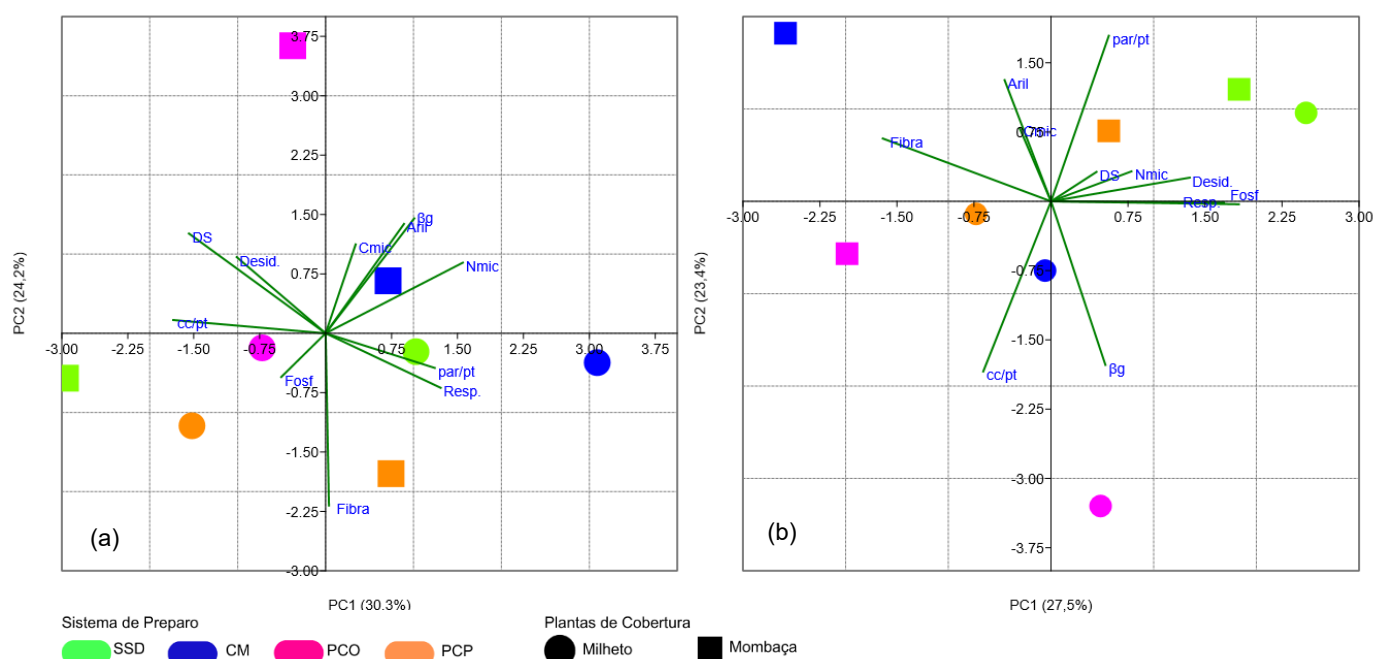
3.3 Influência dos atributos físicos e biológicos sob a produtividade de fibra

A atividade enzimática β -glicosidase e arilsulfatase, assim como Cmic, Nmic, respiração basal, capacidade de armazenamento de ar e a produtividade de fibra correlacionaram positivamente na PC1 (30,3%) e PC2 (24,2%), juntos aos tratamentos CM milho e/ou capim mombaça, SSD+Milheto e PCP+ capim mombaça, respectivamente (Fig. 10a). Os resultados negativamente correlacionados a estes foram a DS, cc/pt, atividade da desidrogenase e fosfatase ácida com os tratamentos SSD e PCP + capim mombaça e PCO e PCP + milho, respectivamente (com permutação de 999, $p=1,0$).

No entanto, na safra mais seca (2021/2022) foi observado comportamento diferente, pois a análise de componentes principais (PCA) mostrou que o PC1 foi positivamente correlacionado com par/pt, DS, Nmic, respiração basal do solo e atividade da enzima desidrogenase, fosfatase ácida e β -glicosidase (Fig. 10b). O Cmic, Aril, produtividade de fibra e capacidade de armazenamento de água foram correlacionados negativamente (Fig. 10b). Os tratamentos SSD com ambas as plantas de cobertura, PCP+ capim Mombaça e PCO+Milheto foram principalmente relacionados ao PC1, separando o CM sob ambas as plantas de cobertura, PCO+capim Mombaça e PCP+Milheto, respectivamente (Fig. 10b). Os componentes

principais – PC1 e PC2 descreveram 27,5% e 23,4% de variação com permutação de 999, $p = 0.2878$).

Figura 10 — Análise de componente principal (PCA) atributos físicos e microbiológicos do solo arenoso sob a produtividade de fibra na safra 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



Fonte: A autora.

Legenda: Densidade do solo (DS), Capacidade de armazenamento de água 60 cm (cc/pt) e capacidade de armazenamento de ar (par/pt), Arilsulfatase (Aril), β-Glicosidase (βg), Fosfatase (Fosf.) Carbono da biomassa microbiana (Cmic), Nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), Respiração basal (Resp.) e Produtividade de fibra (Fibra).

4 DISCUSSÃO

4.1 Qualidade física do solo

Embora os preparos de solo e as plantas de cobertura tenham afetado a Ds em profundidade durante as safras, os valores variaram de 1,50 a 1,74 Mg m⁻³, abaixo, mas próximo da densidade crítica (1,82 Mg m⁻³) para o desenvolvimento das raízes de algodão em solos arenosos sugerida por Rosolem *et al.* (1998). Este efeito está ligado ao desenvolvimento das raízes das gramíneas proporcionando aumento na agregação do solo em profundidade (Garcia; Rosolem, 2010). Apesar dos valores de Ds serem abaixo da densidade crítica, há um aumento na camada de 0,0-0,20 m sob o tratamento SSD+capim mombaça, resultando em impedimento do desenvolvimento radicular.

No geral, as plantas de cobertura apresentaram respostas específicas na qualidade física do solo dentro de cada sistema de preparo. O PCP e PCO com milho aumentaram a capacidade de armazenamento de água no solo à 0,70 (ADM) (Tabela 4), valor este acima do ideal (0,34-0,66) proposto por Reynolds *et al.* (2002) em 0,0-0,10 m do solo, o que pode indicar uma restrição de aeração para respiração microbiana e das raízes sob períodos mais longos de chuva. Isto ocorreu porque, a capacidade de armazenamento de água dentro do intervalo adequado permitir que o crescimento das plantas não seja restringido pela disponibilidade de água ou ar, garantindo melhor absorção de nutrientes no solo (Anghinoni *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2024). Ambas as plantas de cobertura nos sistemas conservacionistas na camada de 0-0,10 tiveram cc/pt abaixo no limite crítico de 0,70 (Reynolds *et al.*, 2002), isso evidencia a importância das plantas de cobertura e o mínimo revolvimento do solo na capacidade de armazenamento de água do solo (Silva *et al.*, 2024; Benetti *et al.*, 2023).

Ademais os resultados do trabalho mostram que o uso do milho atenuou o efeito da cc/pt na safra seguinte, com melhor equilíbrio de água e ar no solo nos preparos convencionais (Tabela 4). Este efeito deve-se provavelmente à formação de bioporos gerados pelas raízes das plantas, os quais contribuem para a melhoria da retenção de água (Blanco-Canqui *et al.*, 2011). Estudos sugerem que a retenção de água em solos arenosos é influenciada pela rugosidade das partículas de areia fina, pois esta afeta a espessura da película de água aderida à sua superfície (Di

Raimo *et al.*, 2022). Além disso, destaca-se que a baixa capacidade de retenção hídrica desses solos reduz a viabilidade do cultivo agrícola em regiões tropicais (Fidalski; Tormena, 2022). Tal como em outros trabalhos, nossos resultados mostram que manejos conservacionistas (SSD e CM) são eficazes no armazenamento de ar e água no solo (Tabela 4) (Reynolds *et al.*, 2002; Anghinoni *et al.*, 2019).

Assim como relatado em outros trabalhos, nossos resultados demonstram início de RP no SSD com milho a partir de 0,10 m até 0,40 m aos 35 DAE do algodoeiro (Figura 5) diminuindo a macroporosidade do solo, conectividade dos poros, infiltração de água e capacidade de armazenamento de água (Moraes *et al.*, 2016; Ngo-Cong *et al.*, 2021). No entanto, no presente estudo é observado atenuação da RP na camada de 0,10-0,20 m pós-colheita do algodão.

Estudos têm reportado que a produção de raízes por plantas de cobertura em sistemas mais conservacionistas forma bioporos contínuos e bem conectados que melhoram a infiltração de água e o desenvolvimento as raízes da espécie subsequente, tornando o solo resiliente em profundidade (Conyers *et al.*, 2019; Calonego *et al.*, 2017). Desta forma, o crescimento das raízes das gramíneas possibilita ao solo o equilíbrio entre a capacidade de armazenamento de água e ar (Silva *et al.*, 1994). Devido às características dos solos arenosos de maior potencial de lixiviação, baixa capacidade de campo e alta permeabilidade, o maior teor de água no solo arenosos aumenta o risco de RP pelo tráfico de máquinas, mesmo em SSD (Benetti *et al.*, 2023). Este comportamento em solos tropicais é resultante da força de agregação de partículas orgânicas e minerais pelo efeito cimentante, através do incremento do teor de C orgânico total pelo acúmulo de matéria orgânica (Barreto *et al.*, 2009; Coutinho *et al.*, 2010).

Nossos resultados mostram que o uso de capim mombaça sob CM pode ser uma estratégia para manter a RP abaixo do 2500 kPa (Fig.5), valor este considerado na literatura como índice crítico (Rosolem *et al.*, 1998). Assim observamos neste trabalho a eficiência da escarificação até 0,3 m de profundidade corroborando com os dados de Conyers *et al.* (2019).

O capim mombaça sob CM no presente estudo influenciou na diminuição da porosidade do solo em profundidade, sendo este um importante benefício promovido pelas raízes das plantas de cobertura (Calonego *et al.*, 2017; Munkholm *et al.*, 2013;

Guedes filhos *et al.*, 2013). Desta forma, solos com capacidade de aeração reduzida podem limitar o desenvolvimento das raízes em períodos frequentes de hipoxia, tornando necessário o uso de intervenção mecânica (Bian *et al.*, 2019). Esta prática atenua a RP do solo através da desagregação, mas aumenta a disponibilidade de oxigênio e acelera a decomposição da matéria orgânica.

Considerando que o crescimento da cultura do algodão depende da RP, os resultados obtidos neste estudo revelam que o cultivo do capim mombaça durante a primavera após o preparo convencional (PCP), por aproximadamente 50 dias atenuou a compactação do solo em 14% (3044,9 kPa com 35 DAE do algodoeiro para 2674,40 kPa Pós-colheita do algodão) em 0,20-0,40 m (Fig. 5a-b). Nesse contexto, as alterações causadas na estruturação do solo são oriundas da maior densidade de raízes das culturas de outono-primavera, e do incremento no teor de carbono orgânico total e carbono lábil (Rengel; Djalovic, 2021; Tonon-Debiasi *et al.*, 2023). Em sistemas conservacionistas com aporte contínuo de biomassa de raízes há efeito da estabilização e aumento de novos poros remanescentes após a decomposição das raízes (Bodner *et al.*, 2008), o que contribui para melhorar a estruturação do solo quando as raízes são decompostas (Kreiselmeier *et al.*, 2019). Assim, o uso de plantas de cobertura nestes sistemas, além de melhorar o aporte de carbono, auxilia no rápido rearranjo das partículas, proporcionando ambiente com melhores condições físicas em manejos com equipamentos mecânicos (Ahuja *et al.*, 1998; Guedes Filho *et al.*, 2013).

4.2 Atributos microbianos do solo

Houve incremento da atividade enzimática em 19% na β -glicosidase e 32% na arilsulfatase com o uso de capim mombaça sob PCP (Fig. 6b-c). Isso indica o potencial que o capim mombaça tem para estimular biologicamente a atividade enzimática, mesmo com curto período de desenvolvimento radicular, contribuindo para um ambiente biologicamente ativo para a cultura do algodão (Castro Lopes *et al.*, 2021). Utilizar plantas de cobertura em sistemas agrícolas que envolvam a movimentação do solo, sobretudo os arenosos, melhora o aporte de carbono e aumenta a resiliência microbiana destes solos (Galazka *et al.*, 2020; Castro Lopes *et al.*, 2021; Chaer *et al.*, 2023). Os baixos teores de matéria orgânica nos solos arenosos resultam em baixa atividade enzimática, e a adoção de plantas de

cobertura nesses sistemas pode melhorar as condições microbiológicas do solo para o cultivo de algodão (Feng *et al.*, 2003; Mendes *et al.*, 2019; Cordeiro *et al.*, 2021).

Apesar de ser um solo arenoso e, portanto, esperarmos uma menor atividade enzimática, o solo do presente trabalho apresentou atividade enzimática inferior ao adequado, conforme proposto por Mendes *et al.* (2019). Por exemplo, a atividade da enzima β -glicosidase foi 19% maior no solo argiloso em relação ao arenoso (Veum *et al.*, 2014; Lorenz *et al.*, 2020). A atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase é sensível aos efeitos de preparo de solo (Balota *et al.*, 2014; Lorenz *et al.*, 2020). Isto mostra o potencial de aumento da atividade dessas enzimas com o aumento do acúmulo de matéria orgânica no solo em comparação à atividade das enzimas extracelulares (Bandick; Dick, 1999; Balota *et al.*, 2014; Lorenz *et al.*, 2020).

Os resultados deste estudo mostram que os menores acúmulos de MS no capim mombaça em relação ao milheto (Capítulo 1: Figura 3a-b) aumentaram a atividade da enzima desidrogenase (Figura 5 a-b). Isso pode ser explicado pela participação desta enzima no processo de oxidação da matéria orgânica e da cadeia respiratória dos microrganismos, desta forma, quanto maior a relação C/N, menor é a atividade da desidrogenase (Balota *et al.*, 2014; Mikanová *et al.*, 2009; Mazzuchelli *et al.*, 2020).

O uso do capim mombaça no SSD incrementou o teor de Cmic e a respiração microbiana do solo, indicando equilíbrio na comunidade microbiológica neste ambiente (Fig. 8b-f). O aporte de resíduos ao solo afeta diretamente o teor de Cmic, o que o caracteriza como bom indicador da qualidade do solo (Prommer *et al.*, 2020; Mazzuchelli *et al.*, 2020). As formas orgânicas de C podem afetar a comunidade microbiana do solo, portanto, a entrada de resíduos culturais provenientes de diferentes espécies ao longo dos anos altera a composição da comunidade microbiana do solo (Li *et al.*, 2017). Além disso, nos sistemas de preparo de solo (PCO e PCP) foram observados teores de Cmic acima de 200 mg C kg⁻¹ solo devido a adição de plantas de cobertura após o revolvimento. A conversão do sistema de preparo convencional para o SSD modifica a distribuição vertical de C no solo, aumentando o C na camada superficial e diminuindo na profundidade após 0,10 m (Six *et al.*, 1999; Luo *et al.*, 2010).

Assim, a adição de plantas de cobertura em preparos convencionais do solo proporciona um ambiente úmido, com menor flutuação de umidade e temperatura, condição esta que favorece o crescimento e atividade dos microrganismos (Feng *et*

et al., 2003). Nossos resultados sugerem que a maior capacidade de armazenamento de água na camada 0,0-0,10 m (Tabela 4) com capim mombaça sob PCP seja um efeito do aporte de raízes (C) e que isso tenha influenciado no aumento da atividade enzimática da arilfulfatase, desidrogenase (Fig. 6-7). A entrada de material vegetal de culturas aumenta a capacidade tampão de pH do solo, fornecendo nutrientes e energia para o crescimento microbiano do solo (Xu *et al.*, 2012).

No Nmic houve interação das plantas de cobertura nos diferentes sistemas. Os tratamentos com revolvimento do solo (PCO e PCP) apresentaram maior acúmulo de nitrogênio com o capim-mombaça, enquanto nos sistemas conservacionistas (SSD e CM), o milho também contribuiu para o acúmulo de nitrogênio (Fig. 8a-b). O Nmic é reflexo da decomposição da matéria orgânica do solo e corresponde a 5% do N total do solo, podendo diminuir de acordo com preparo de solo adotado (Jenkinson; Ladd, 1981; Mazzuchelli *et al.*, 2020). Nos sistemas que mobilizaram menos o solo o conteúdo de N inorgânico foi maior, sendo o capim mombaça fundamental para o incremento de Nmic no PCO e PCP (Fig. 8a-b), conforme reportado por Moore *et al.* (2000) em soja e milho.

Assim como relatado na literatura, o teor de glomalina no solo diminuiu em profundidade (Tabela 7) (Wang *et al.*, 2017) e na camada de 0,0-0,10 m foram registrados teores de 1,6 mg g⁻¹, condizente com teores em solos de textura arenosa (Galazka *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2021). A deposição de raízes no SSD ou sistemas com plantas de cobertura altera o tamanho e a diversidade da população microbiológica do solo, o que afeta a produção de glomalina (Balota *et al.*, 2014). Ademais, o aumento da deposição de matéria orgânica promove o aumento da produção desta glicoproteína (Wright; Upadhyaya, 1996; Baloto *et al.*, 2014; Galazka *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2021).

Nossos resultados mostraram melhoria no teor de glomalina do milho sob SSD em 0,20-0,40 m (Fig. 9a), no entanto, quando o preparo do solo foi próximo a semeadura do algodão (PCP), o capim mombaça aumentou o teor de glomalina na camada de 0,40-0,60 m (Fig. 8b), provavelmente devido ao alto potencial de crescimento das raízes em profundidade das forrageiras (Calonego *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2020). Embora a glomalina tenha associação com a estabilidade de agregados, esta relação é complexa e investigada desde 1996 (Wright; Upadhyaya, 1996). Proposto como um indicador de estabilidade física do solo e na atividade e

reposição de fungos, a glomalina tem correlação direta com o conteúdo de carbono orgânico do solo e seu conteúdo diminui com o preparo do solo (Jamiołkowska *et al.*, 2017; Staunton *et al.*, 2020; Jha *et al.*, 2022). Observamos desta forma que ao promover uma cultura antecessora em sistemas que exijam o preparo do solo (PCO e PCP), os teores de glomalina são incrementados em profundidade dependendo da cultura escolhida (Figura 9 a-b).

4.3 Influência dos atributos físicos e biológicos sob a produtividade de fibra

Baseado na PCA os atributos avaliados variaram entre as safras em função das plantas de cobertura e dos sistemas de preparo. Nossos resultados indicam que, em anos mais úmidos, a produtividade de fibra está mais fortemente associada a diversos atributos biológicos (Fig. 10a). Fatores abióticos, como baixa umidade e altas temperaturas, podem impactar a oxidação biológica da matéria orgânica realizada por microrganismos (Feng *et al.*, 2003; Balota *et al.*, 2014; Lorenz *et al.*, 2020).

Assim como reportado em outros trabalhos o Nmic e βg são considerados indicadores de qualidade do solo (Mazzuchelli *et al.*, 2020; Balota *et al.*, 2014). Com reflexo da decomposição de MO do solo o Nmic e βg correspondem a variação do teor de C no solo, variando conforme os diferentes sistemas de preparo adotado (Balota *et al.*, 2014; Lorenz *et al.*, 2020; Mendes *et al.*, 2019).

Outros autores também observaram melhores condições físicas e biológicas do solo com a introdução de plantas de cobertura no sistema (Nouri *et al.*, 2019; Calonego *et al.*, 2017), com aumento na produtividade do algodoeiro e qualidade do solo (Nouri *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2023). A introdução de plantas de cobertura com potencial de acúmulo de biomassa na parte aérea e raízes (Pinto *et al.*, 2021) como gramíneas (Silva *et al.*, 2020; Cordeiro *et al.*, 2022) melhora a qualidade física do solo no médio e longo prazo (Munkholm *et al.*, 2013; Villarreal *et al.*, 2021; Araya *et al.*, 2022; Calonego *et al.*, 2017), o estoque de carbono (Cordeiro *et al.*, 2022) e a atividade microbiológica (Cordeiro *et al.*, 2021; Tonon-Debiasi *et al.*, 2023).

5 CONCLUSÕES

A escolha da espécie antecessora ao algodoeiro deve ser considerada em função do tipo de sistema de preparo do solo adotado para a melhoria das condições físicas e biológicas do solo. O capim mombaça é uma estratégia para manter a RP abaixo de 2500 kPa sob sistemas de cultivo mínimo e atenuar a RP quando o preparo convencional do solo ocorre na primavera (início da estação chuvosa). A resistência à penetração no SSD é atenuada com a presença de milho, e a capacidade de armazenamento de água é maior nesse sistema.

A atividade microbiológica do solo é maior no SSD e CM, independente da espécie de planta de cobertura. O uso do capim mombaça no sistema PCP aumenta a capacidade de armazenamento de água, melhora a atividade das enzimas arilsulfatase e desidrogenase, Nmic, respiração basal do solo e glomalina em profundidade. Quando o preparo de solo é feito no outono, o milho melhora a capacidade de armazenamento de água, atividade enzimática fosfatase ácida, B-glicosidase, desidrogenase, Cmic, respiração do solo e o teor de glomalina (0,40-0,60 m).

REFERÊNCIAS

- AHUJA, L. R.; FIEDLER, F.; DUNN, G. H.; BENJAMIN, J. G.; GARRISON, A. Soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1228–1233, 1998. DOI:10.2136/sssaj1998.03615995006200050011x.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. London: Academic Press, 1995. DOI: 10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9.
- ANGHINONI, G.; TORMENA, C. A.; LAL, R.; ZANCANARO, L.; KAPPES, C.; Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation Development**, v. 30, p. 788-98, 2019. DOI:10.1002/ldr.3267.
- ARAYA, S. N.; MITCHELL, J. P.; HOPMANS, J. W.; GHEZZEHEI, T. A. Long-term impact of cover crop and reduced disturbance tillage on soil pore size distribution and soil water storage. **Soil**, v. 8, n. 1, p.177-198, 2022. DOI: 10.5194/soil-8-177-2022.
- BALL, B. C.; SCHJØNNING, P. Air permeability. *In*: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis**. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America. 2002. p.1141-1158.
- BALOTA, E. L.; YADA, I. F.; AMARAL, H.; NAKATANI, A. S.; DICK, R. P. COYNE, M. S. O uso da terra a longo prazo influencia a biomassa microbiana do solo P e S, atividades de fosfatase e arilsulfatase e mineralização de S em um país brasileiro Latossolo. **Degradação e Desenvolvimento de Terras**, v. 25, p. 397-406, 2014.
- BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil biology and biochemistry**, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, 1999. DOI: 10.1016/S0038-0717(99)00051-6.
- BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E.; MACHADO, P. L.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbono loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 243- 251, 2009. DOI: 10.1016/j.agee.2009.04.008.
- BENETTI, M.; LIU, K.; GUERRINI, L.; GASPARINI, F.; PERUZZI, A.; SARTORI, L. How much impact has the cover crop mulch in mitigating soil compaction? A field study in north Italy. **Agronomy Journal**, v. 13, p. 686-99, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13030686.
- BIAN, R.; SHI, W.; CHAI, X.; SUN, Y. Effects of plant radial oxygen loss on methane oxidation in landfill cover soil: a simulative study. **Waste Management**, v. 102, p. 56-64, 2020. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.10.033.
- BLANCO-CANQUI, H.; MIKHA, M. M.; PRESLEY, D. R.; CLAASSEN, M. M. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 4, p. 1471-1482, 2011. DOI: 10.2136/sssaj2010.0430.

BODNER, G.; LOISKANDL, W.; BUCHAN, G.; KAUL, H. P. Natural and management-induced dynamics of hydraulic conductivity along a cover-cropped field slope. **Geoderma**, v. 146, n. 1-2, p. 317-325, 2008. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.06.012.

BONETTI, J. A.; NUNES, M. R.; FINK, J. R.; TRETTO, T.; TORMENA, C. A. Agricultural practices to improve near-surface soil health and crop yield in subtropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105835, 2023. DOI: 10.1016/j.still.2023.105835.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985. DOI: 10.1016/0038-0717(85)90144-0.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J. P.; DE OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017. DOI: 10.1016/j.eja.2017.02.001.

CASIDA, G.; KLEIN, D.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil Science**, v. 98, p. 371-376, 1964.

CASTRO LOPES, A. A.; BOGIANI, J. C.; FIGUEIREDO, C. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SOUSA, D. M. G.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO MENDES, I. Enzyme activities in a sandy soil of Western Bahia under cotton production systems: Short-term effects, temporal variability, and the FERTBIO sample concept. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 52, n. 4, p. 2193-2204, 2021. DOI: 10.1007/s42770-021-00606-z.

CHAER, G. M.; MENDES, I. C.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M. I. L. Evaluating C trends in clayey Cerrado Oxisols using a four-quadrant model based on specific arylsulfatase and β -glucosidase activities. **Applied Soil Ecology**, v. 183, p. 104742, 2023. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104742.

CONYERS, M.; VAN DER RIJT, V.; OATES, A.; POILE, G.; KIRKEGAARD, J.; 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. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.021.

CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; ROCHA, C. H.; ARAUJO, F. F.; ECHER, F. R. Glomalin and microbial activity affected by cover crops and nitrogen management in sandy soil with cotton cultivation. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104026, 2021. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.104026.

CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; ECHER, F. R. Cover crops and controlled-release urea decrease need for mineral nitrogen fertilizer for cotton in sandy soil. **Field Crops Research**, v. 276, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbc20210113.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; JUNIOR, D. J. R.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema

plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 100, 2010.

DI RAIMO, L. A. D. L.; COUTO, E. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; CREMOM, C.; MELLO, D. C.; BOCUTI, E. D.; POPPIEL, R. R.; SILVA, A. N.; LIMA, L. N.; GOMES NETO, L. C. Sand fractions micromorphometry detected by Vis-NIR-MIR and its impact on water retention. **European Journal of Agronomy**, v. 73, p. e13227, 2022. DOI: 10.1111/ejss.13227.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 363-367, 1972. DOI:10.1016/0038-0717(88)90141-1.

FENG, Y.; MOTTA, A. C.; REEVES, D. W.; BURMESTER, C. H.; VAN SANTEN, E.; OSBORNE, J. A. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n.1 2, p. 1693-1703, 2003. DOI: 10.1016/j.soilbio.2003.08.016.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Physical quality of sandy soils under orange orchards in southern Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 46, p. e0220006, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcs20220006.

GALAZKA, A.; NIEDŹWIECKI, J.; GRZĄDZIEL, J.; GAWRYJOLEK, K. Evaluation of changes in Glomalin-Related Soil Proteins (GRSP) content, microbial diversity and physical properties depending on the type of soil as the important biotic determinants of soil quality. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p.1279, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091279.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio SSD e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001200021.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. D. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1234-1244, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000400020.

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma** v. 204-205, p. 94–101, 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.04.017

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p.1-9, 2001.

HUANG, J.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, v. 208, p. 103295, 2020. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103295.

JAMIOŁKOWSKA, A.; KSIEŻNIAK, A.; HETMAN, B.; KOPACKI, M.; SKWARYŁO-BEDNARZ, B.; GAŁĄZKA, A.; THANOON, A. H. Interactions of arbuscular

mycorrhizal fungi with plants and soil microflora. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 16, n. 5, p. 89-95, 2017. DOI: 10.24326/asphc.2017.5.9

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *In*: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (ed.). **Soil Biochemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1981. cap. 10, p. 415-417.

JHA, P.; HATI, K. M.; DALAL, R. C.; DANG, Y. P.; KOPITTKE, P. M.; MCKENNA, B. A.; MENZIES, N. W. Effect of 50 years of No-tillage, stubble retention, and nitrogen fertilization on soil respiration, easily extractable glomalin, and nitrogen mineralization. **Agronomy**, v. 12, n. 1, p.151, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12010151.

KREISELMEIER, J.; CHANDRASEKHAR, P.; WENINGER, T.; SCHWEN, A.; JULICH, S.; FEGER, K. H.; SCHWÄRZEL, K. Quantification of soil pore dynamics during a winter wheat cropping cycle under different tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 192, p. 222-232, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.014.

LI, Y.; LI, Y.; CHANG, S. X.; LIANG, X.; QIN, H.; CHEN, J.; XU, Q. Linking soil fungal community structure and function to soil organic carbon chemical composition in intensively managed subtropical bamboo forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 107, p. 19-31, 2017. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.12.024.

LI, Y.; ZHANG, Q.; CAI, Y.; YANG, Q.; CHANG, S. X. Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. **Science of the Total Environment**, v. 716, p. 137164, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137164

LIU, M.; ZHANG, W.; WANG, X.; WANG, F.; DONG, W.; HU, C.; LIU, B.; SUN, R. Nitrogen leaching greatly impacts bacterial community and denitrifiers abundance in subsoil under long-term fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 294, 2020. DOI: 10.1016/j.agee.2020.106885.

LORENZ, N.; GARDENER, B. B. M. C.; LEE, N. R.; RAMSIER, C.; DICK, R. P. Soil enzyme activities associated with differential outcomes of contrasting approaches to soil fertility management in corn and soybean fields. **Applied Ecology and Environmental Sciences**, v.8, n.6, p.517-525. DOI: 10.12691/aees-8-6-26.

LUO, Z.; WANG, E.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: a review and synthesis. **Geoderma**, v. 155, n. 3-4, p. 211-223, 2010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.12.012.

MAZZUCHELLI, R. D. C. L.; ARAUJO, A. S. F.; MORO, E.; ARAUJO, F. F. Changes in soil properties and crop yield as a function of early desiccation of pastures. **Journal Soil Science Plant Nutrition**. v. 20, p. 840–848, 2020. DOI: 110.1007/s42729-019-00169-x.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical oxisols at post-harvest: the fertbio soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019. DOI: 10.1016/j.apsoil.2019.02.025.

MIKANOVÁ, O.; JAVŮREK, M.; ŠIMON, T.; FRIEDLOVÁ, M.; ACH, M. The effect of tillage systems on some microbial characteristics. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 72-76, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2009.05.010.

MOORE, J. M.; KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and fertility of soils**, v. 31, p. 200-210, 2000. DOI: 10.1007/s003740050646.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R.; LUZ, F. B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016. DOI: 10.1016/j.still.2015.07.015.

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. DOI: 10.1016/j.still.2012.02.007

NGO-CONG, D.; ANTILLE, D. L.; TH. VAN GENUCHTEN, M.; NGUYEN, H. Q.; TEKESTE, M. Z.; BAILLIE, C. P.; GODWIN, R. J. A modeling framework to quantify the effects of compaction on soil water retention and infiltration. **Soil Science Society of America Journal**, v.85, n.6, p.1931-1945, 2021. DOI: 10.1002/saj2.20328.

NOURI, A.; LEE, J.; YIN, X.; TYLER, D.D.; SAXTON, A.M. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998-1008, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.016.

PINTO, P.; RUBIO, G.; GUTIÉRREZ, F.; SAWCHIK, J.; ARANA, S.; PIÑEIRO, G. Variable root: shoot ratios and plant nitrogen concentrations discourage using just aboveground biomass to select legume service crops. **Plant and Soil**, v. 463, p. 347-358, 2021. DOI: 10.1007/s11104-021-04916-x.

PROMMER, J.; WALKER, T. W.; WANEK, W.; BRAUN, J.; ZEZULA, D.; HU, Y.; RICHTER, A. Increased microbial growth, biomass, and turnover drive soil organic carbon accumulation at higher plant diversity. **Global change biology**, v. 26, n. 2, p. 669-681, 2020. DOI: 10.1111/gcb.14777.

RENGEL, Z.; DJALOVIC, I. **The Root Systems in Sustainable Agricultural Intensification**. Newark: John Wiley & Sons, Incorporated, 2021.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00228-8.

ROCHA, C. H.; SILVA, G. R. A.; ECHER, F. R. Applying potassium to ruzigrass prior to cotton reduces the nitrogen requirement and improves yield in a sandy soil under low water availability. **Industrial Crops and Products**, v. 198, p. 116676, 2023. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116676.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1775–1781, 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800060028x.

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 2020. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107947.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, n.5, p.1350-1358, 1999. DOI: 10.2136/sssaj1999.6351350x.

STAUNTON, S.; SABY, N. P.; ARROUAYS, D.; QUIQUAMPOIX, H. Can soil properties and land use explain glomalin-related soil protein (GRSP) accumulation? a nationwide survey in France. **Catena**, v. 193, p.104620, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104620.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulphatase activity in soils. **Soil Science Society of America**, Proceedings. v. 34, p. 225-229, 1970. DOI: 10.2136/sssaj1970.03615995003400020016x.

TABATABAI, M.A.; AND BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 1, p. 301–307, 1969. DOI: 10.1016/0038-0717(69)90012-1.

TONON-DEBIASI, B. C.; DEBIASI, H.; RONDINA, A. B. L.; MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. A. B.; NOGUEIRA, M. A. Microbial attributes as structural quality index for physical health of an Oxisol under compaction levels. **Soil and Tillage Research**, v. 235, p. 105872, 2024. DOI: 10.1016/j.still.2023.105872.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p.703–707, 1987. DOI: 10.1016/ 0038-0717(87)90052-6.

VEUM, K. S.; GOYNE, K. W.; KREMER, R. J.; MILES, R. J.; SUDDUTH, K. A. Indicadores biológicos da qualidade do solo e características da matéria orgânica do solo em um continuum de manejo agrícola. **Biogeoquímica**, v. 117, p. 81-99, 2014.

VILLARREAL, R.; LOZANO, L. A.; MELANI, E. M.; POLICH, N. G.; SALAZAR, M. P.; BELLORA, G. L.; SORACCO, C. G. First-year cover crop effects on the physical and hydraulic properties of the surface layer in a loamy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105141, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2021.105141.

WANG, W.; ZHONG, Z.; WANG, Q.; WANG, H.; FU, Y.; HE, X. Glomalin contributed more to carbon, nutrients in deeper soils, and differently associated with climates and soil properties in vertical profiles. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 13003, 2017.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A.; Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil*

Sci. v.161, p.1–2, 1996. WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, n. 9, p. 575–586, 1996.

XU, R. K.; ZHAO, A. Z.; YUAN, J. H.; JIANG, J. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochars. **Journal of Soils and Sediments**, v. 12, p. 494-502, 2012. DOI: 10.1007/s11368-012-0483-3

SEÇÃO III

ESTOQUE E FRACIONAMENTO DO CARBONO EM SOLO ARENOSO SOB SISTEMAS DE PREPARO E PLANTAS DE COBERTURA

Resumo

Compreender como diferentes sistemas de manejo do solo e o uso de plantas de cobertura influenciam o fracionamento da matéria orgânica do solo (MOS) e o estoque de carbono (C) em solos arenosos é essencial para a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que visem a preservação da qualidade do solo e o sequestro de C. O objetivo deste estudo foi avaliar o estoque de carbono e o fracionamento físico e químico da MOS sob diferentes sistemas de preparo do solo de textura arenosa: Sistema de Semeadura Direta (SSD), Cultivo Mínimo (CM), Preparo Convencional do Solo no Outono (PCO) e Preparo Convencional do Solo na Primavera (PCP) associado às plantas de cobertura: milho e capim mombaça. O experimento foi conduzido em 2020/2021 e 2021/2022, sendo a coleta de solo realizada no final da última safra. Foram avaliados nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m o estoque de C, carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono associado a minerais (CAM), ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), relação ácido fúlvico e húmico (AH:AF), humina e substâncias húmicas (SH). O estoque de carbono do solo de 0,0-0,60 m com milho nos sistemas SSD ($31,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), CM ($30,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) e PCO ($30,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi maior em relação ao PCP ($28,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) respectivamente, no entanto o PCP com capim mombaça aumenta o estoque de C. O SSD com milho incrementou o COT em 0,10-0,20 m em comparação ao PCP, mas na camada seguinte (0,20-0,40 m) o PCP com milho foi 13% maior em relação aos demais sistemas de preparo. Na camada de 0,20-0,40 m do solo o CAM foi maior com o capim mombaça sobre SSD já na camada seguinte o milho proporcionou este aumento. Esta variação de incremento de CAM entre as plantas de cobertura dentro de cada sistema de preparo foi observada também no PCP, com incremento de 28% com milho em 0,10-0,20 m e 17% com capim mombaça, em relação ao PCO. O teor de C lábil foi 32% maior com milho sob CM em 0,0-0,10 m, mas o capim mombaça incrementou em 21% o C lábil na camada seguinte. O CM proporcionou incremento de AF, AH, AH:AF em

profundidade, humina e SH quando associado ao capim mombaça. O teor de ácidos húmicos e relação AH:AF nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,40-0,60 m foi maior com o SSD sob milho. No entanto, o SSD com milho influenciou no aumento de humina e SH na última camada. O PCP com milho incrementou o AH, AH:AF e humina na camada de 0,0- 0,20 m. Entre as plantas de cobertura o capim mombaça resultou no aumento do teor de humina e as SH na camada de 0,20-0,40 m. O estoque de carbono e a fração estável da MO aumenta em profundidade quando o milho é introduzido na SSD ou PCP. O capim mombaça incrementa o C no solo arenoso sobre cultivo mínimo e PCO.

Palavra-chave: Milho; substâncias húmicas; carbono orgânico total; mombaça; sistema de semeadura direta; preparo convencional.

1 INTRODUÇÃO

A baixa capacidade de troca catiônica dos solos arenosos reforça a necessidade da adoção de sistemas de preparo que aumentem o estoque de C orgânico, contribuindo na melhoria da segurança alimentar e a adaptação às mudanças climáticas (Paustian *et al.*, 2016; Fujisaki *et al.*, 2018). A acelerada decomposição da MOS desses solos, devido à alta aeração, elevadas temperaturas e alta atividade microbológica, resulta em limitação na qualidade da MO e na distribuição de C no perfil do solo (Gmach *et al.*, 2018; Fujisaki *et al.*, 2018). Desta forma, manejos que visem a conservação do solo devem favorecer o incremento de estoque de C (Guimarães *et al.*, 2013; Raphael *et al.*, 2016).

Os sistemas de preparo do solo como o cultivo mínimo, a sistema de semeadura direta e o convencional exercem grande influência sobre o acúmulo e a qualidade da MOS (Li *et al.*, 2020). Sistemas como o cultivo mínimo e o sistema de semeadura direta têm se mostrado eficazes na preservação e incremento da MOS, uma vez que minimizam a perturbação do solo, favorecendo o acúmulo de C nas camadas superficiais e profundas (Cordeiro *et al.*, 2022; Tadini *et al.*, 2021). Em contrapartida, o sistema de preparo convencional, que envolve intenso revolvimento do solo, tende a acelerar a decomposição da MOS, resultando em perda acelerada do C lábil e limitação no incremento do estoque de C (Huang *et al.*, 2020, Tiecher *et al.*, 2020). Desta forma, a introdução de plantas de cobertura nestes sistemas, além de melhorar a estruturação do solo, mitiga as perdas do estoque de C, aumentar e preservar a fração química da MOS, promovendo a sustentabilidade em solos com textura arenosa (Tiecher *et al.*, 2020, Rahmati *et al.*, 2020).

O uso de plantas de cobertura, como o milheto (*Pennisetum glaucum*) e o capim mombaça (*Megathyrsus maximus*), tem sido amplamente estudados em sistemas conservacionistas de manejo. Essas espécies são conhecidas por sua elevada produção de biomassa e pela capacidade de melhorar a estrutura do solo, aumentando o acúmulo de carbono e promovendo a formação de agregados estáveis, especialmente em solos arenosos (Rigon *et al.*, 2020, Tiecher *et al.*, 2020). Estudos indicam que o uso dessas forrageiras em sistemas de semeadura direta e cultivo mínimo resultam em maior acúmulo de C nas frações mais estáveis da MOS, contribuindo para o aumento da resiliência do solo em sistemas de produção agrícola (Tadini *et al.*, 2021; Raiesi, 2021; Andrade *et al.*, 2024).

As frações estáveis da MOS compreendem as substâncias húmicas (SH), compostas por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina (Guimarães *et al.*, 2013; Raphael *et al.*, 2016; Raiesi *et al.*, 2021; Tadini *et al.*, 2021), que correspondem por cerca de 50-70% da MOS total. A formação de SH está ligada com a deposição de resíduos no solo (Tang *et al.*, 2017; Rahmati *et al.*, 2020), junto à ação dos microrganismos (Raiesi *et al.*, 2021) e às mudanças de manejo (Rahmati *et al.*, 2020). O revolvimento do solo sem a adição de plantas de cobertura com atividades prolongadas de cultivo resulta em perda de SH devido à degradação preferencial de frações húmicas de maior tamanho molecular (Sun *et al.*, 2012; Raiesi, 2021). Assim, a adoção de manejos com deposição de resíduos ajuda no sequestro de C e diminui a perda do reservatório de C lábil do solo (Loke *et al.*, 2019).

Práticas de manejo que reduzem a movimentação do solo e aumentam o aporte de biomassa, como o cultivo de plantas de cobertura, incrementam o estoque de C no solo, principalmente nas camadas superficiais (Li *et al.*, 2020, Raphael *et al.*, 2016). Portanto, em sistemas com movimentação do solo há necessidade de incluir as plantas de cobertura para mitigar as perdas de C. Desta forma, testamos a hipótese de que distintos sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura antecedendo a cultura do algodão influenciam no incremento de estoque de C e nas suas frações da MOS no curto prazo. O estudo teve como objetivo avaliar o estoque de C e o fracionamento físico e químico da MOS em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.

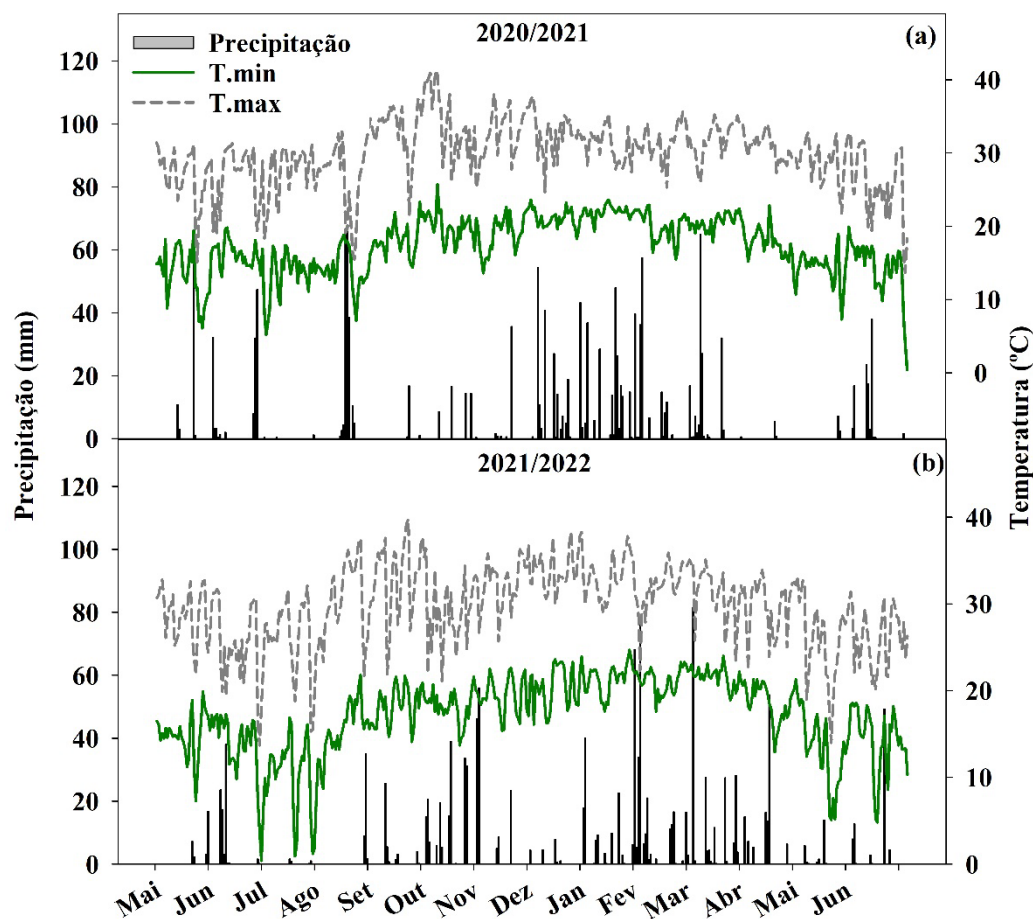
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, no município de Presidente Bernardes-SP, nas safras 2020/2021 e 2021/2022. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018). A área experimental situa-se nas coordenadas geográficas: 22° 07' 32" Latitude Sul e 51° 23' 20" Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 475 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw. Os dados diários de temperatura, precipitação

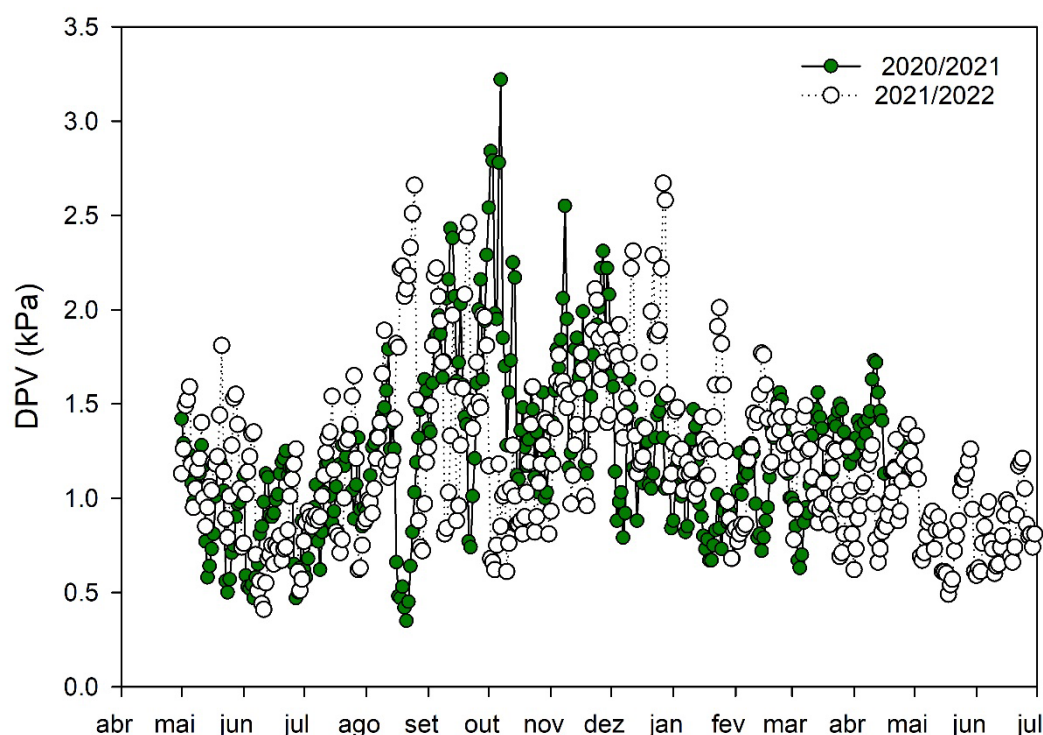
pluvial, déficit de pressão de vapor e balanço hídrico coletados durante a condução do experimento são apresentados nas Figura 1, 2 e 3.

Figura1 — Valores diários de temperatura e precipitação pluvial durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



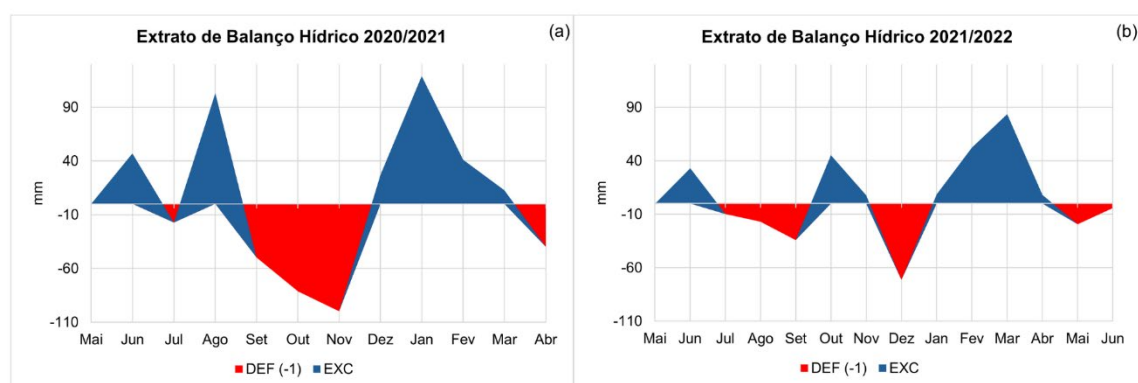
Fonte: A autora.

Figura 2 — Déficit de pressão de vapor diário durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 e 2021/2022.



Fonte: A autora.

Figura 3 — Balanço hídrico durante a condução do experimento nas safras 2020/2021 (a) e 2021/2022 (b).



Fonte: A autora.

Em setembro de 2020 e 2021 amostrou-se o solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para a caracterização das propriedades químicas, conforme metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), e granulométrica, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Características do solo durante a condução do experimento nas safras 2017/2018 (a), 2018/2019 (b), 2020/2021 (c) e 2021/2022 (d).

Safra	Prof. cm	pH	M.O g dm ⁻³	P (mg dm ⁻³)	H + Al ----- (mmol _c dm ⁻³) -----	K	Ca	Mg	CTC	Argila	Silte	Areia
2017/2018	0-0,20	5,0	12,1	11,8	17,6	0,6	11,8	5,9	35,9	146	22	832
	0,20-0,40	4,7	10,0	3,4	19,6	0,4	3,7	2,9	26,6	145	39	817
2018/2019	0-0,20	5,7	14,2	11,0	15,1	1,3	49,2	17,2	82,6	-	-	-
	0,20-0,40	5,0	10,3	6,0	18,4	1,0	19,2	5,9	44,5	-	-	-
2020/2021	0-0,20	5,8	15,7	34,2	13,6	1,6	12,7	6,8	34,6	-	-	-
	0,20-0,40	5,0	13,4	2,7	18,6	1,3	7,2	4,1	31,2	-	-	-
2021/2022	0-0,20	5,0	21,5	53,6	19,6	1,6	15,2	5,5	41,9	-	-	-
	0,20-0,40	4,6	19,9	34,5	19,6	1,9	10,9	4,6	36,9	-	-	-

Fonte: A autora.

2.2 Histórico da área experimental

Até 2015 a área experimental era ocupada por pastagem degradada; foi introduzida a soja na safra de 2015/2016, e a área ficou em pousio em 2016/2017 (Fig. 4A). Em março de 2017 iniciou-se a implementação dos tratamentos com sistema de semeadura direta (SSD) e preparo convencional do solo (PC). No SSD foi semeado o capim mombaça (março 2017 e abril de 2018 e 2019) e em julho de 2017 e julho de 2018 foi realizada a aplicação de 2,5 e 1,2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico sem incorporação. Em outubro de 2017, 2018 e 2019 foram realizados os preparos mecânicos no sistema de preparo convencional (arado de disco e grade niveladora) a profundidade de 20 cm (Fig. 4A).

O capim mombaça foi dessecado no SSD em setembro (3 L do ingrediente ativo (i.a.) ácido de glifosatos+Sal de isopropilamina (360+480 g/L) e a semeadura do algodoeiro foi realizada em outubro de cada ano. Na safra 2020/2021 ocorreu a implementação dos tratamentos, objeto de estudo deste trabalho, e o tratamento sistema de semeadura direta (SSD) foi dividido em sistema de semeadura direta (SSD) e CM (cultivo mínimo) (escarificação) e o tratamento sob preparo convencional foi dividido em épocas de preparo do solo: no outono (PCO) e na primavera (PCP) (Fig. 4B). Em todos os tratamentos foram introduzidas após o preparo de solo duas plantas de cobertura, o milheto e o capim mombaça.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-divididas, com cinco repetições. Nas parcelas foram alocados os preparos do solo: 1- SSD; 2- CM; 3- Preparo convencional no Outono (PCO) e 4- Preparo convencional na Primavera (PCP). As sub-parcelas foram constituídas de plantas de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum* (L.)) e capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) (Figura 2). Cada parcela foi demarcada com dimensões de 3,6 m de largura x 25 m de comprimento e a sub-parcela 3,6 m x 12 m.

2.4 Manejo das culturas e do solo

Em 08/05/2020 e 17/06/2021 aplicou-se em área total 1,5 Mg ha⁻¹ de dologesso (Ca – 22,3%, Mg – 5,7%, S – 3%). Em seguida, realizou-se a escarificação (até 0,15 m) no tratamento com CM e o preparo de solo no tratamento PCO (uma aração pesada e duas gradagens niveladoras até 0,30 m), e a semeadura das plantas de cobertura com plantadeira na profundidade de 0,2 m nos tratamentos CM, PCO e SSD (Figura 2). O solo do tratamento PCP foi revolvido em 20/08/2020 após um acúmulo de chuva de 179 mm e em 01/09/2021 após 36,8 mm de precipitação, e a semeadura das plantas de cobertura ocorreu em sequência com plantadeira na profundidade de 0,2 m (Figura 4).

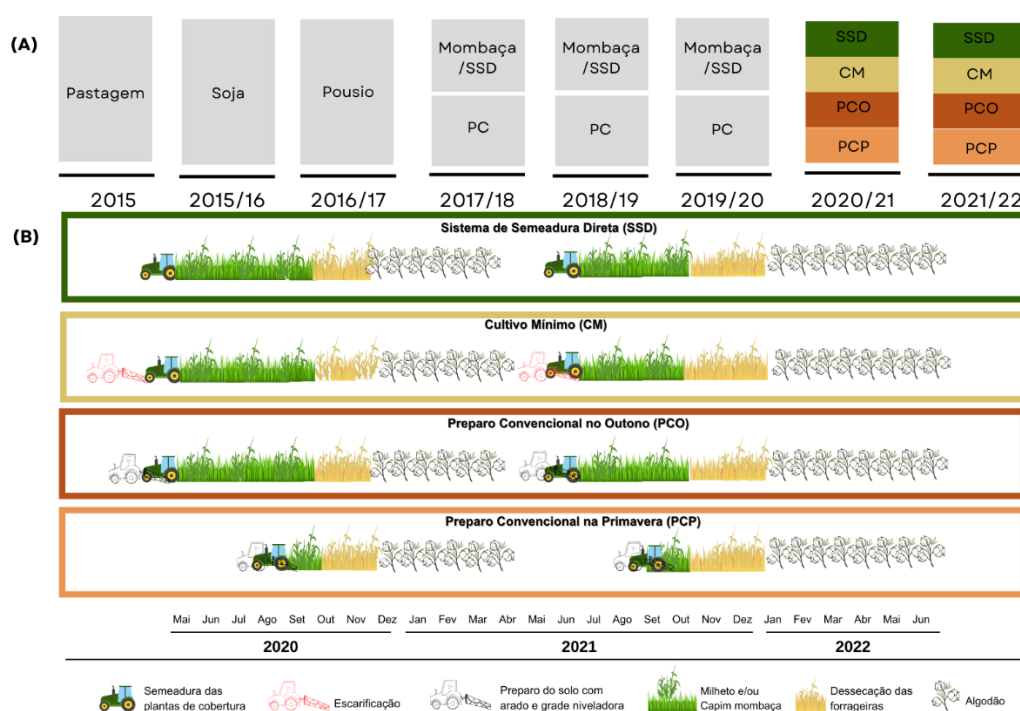
A dessecação química das plantas de cobertura ocorreu em 30/10/2020 e 21/10/2021, com aplicação de 3 L ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.) ácido de glifosatos+Sal de isopropilamina (360+480 g/L) e 1 L ha⁻¹ do i.a. cletodim (240 g/L) para o controle do capim amargoso (Figura 2).

A semeadura do algodoeiro foi realizada 10/12/2020 e 30/12/2021 utilizando espaçamento de 0,90 m entre linhas e 8 sementes por metro de linha. Foram implantadas as variedades FM 985GLTP na safra 2020/2021 e TMG 21 GLTP na safra 2021/2022. O uso de diferentes cultivares é justificado pelo melhor desempenho produtivo, avaliado em um ensaio de competição de cultivares regional, e considerando que o ano agrícola não foi uma fonte de variação, não há prejuízo do ponto de vista da validação dos resultados.

A adubação de base no sulco de semeadura foi de 24 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fosfato monoamônico). A adubação potássica foi parcelada em três vezes de 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, sendo a primeira realizada aos 30 dias antes da dessecação das plantas de cobertura e duas aplicações aos 25 e 45 dias após emergência do algodoeiro (DAE). Foi realizada a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N (Ureia) em cobertura aos 25 e 45 DAE, totalizando 100 kg ha⁻¹ de N.

O manejo fitossanitário da cultura do algodoeiro incluiu o controle de trips (*Frankliniella schultzei*) utilizando-se imidacloprid+beta-ciflutrina (100+12,5 g ha⁻¹ do i.a); pulgão (*Aphis gossypii*) com o i.a. acefato (750 g ha⁻¹); bicudo (*Anthonomus grandis*) com o i.a. tiametoxam+lambda-cialotrina (141+106 g ha⁻¹) e malationa (1000 g L⁻¹ do i.a). A desfolha do algodoeiro foi realizada na safra 2020/2021 com 132 DAE e em 2021/2022 com 160 DAE antes da colheita com a aplicação de diurom + tidiazurom (60+120 g ha⁻¹ do i.a). A aplicação do maturador foi realizada 5 dias após a desfolha, utilizando-se o ethephon na dose de 480 g ha⁻¹ do i.a.

Figura 4 — Representação gráfica do histórico da área (A) e das operações realizadas nos tratamentos durante as safras 2020/2021 e 2021/2022 (B).



Fonte: A autora.

2.5 Fracionamento físico e químico da matéria orgânica

A determinação da densidade do solo (D_s) foi realizada após a colheita do algodão (agosto de 2023) para a determinação do estoque de C. O solo foi amostrado usando um cilindro de aço (0,05 x 0,05 m, diâmetro x altura), foram coletadas quatro amostras em cada parcela nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. A densidade do solo foi determinada pela razão entre a massa do solo seco e o volume das amostras (equação 1) e o teor de água no solo (θ) foi determinado conforme descrito na equação 2:

$$D_s = \frac{m_s}{V_t} \quad (1) \qquad \theta = \mu x \left(\frac{D_s}{D_a} \right) \quad (2)$$

onde a D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}), D_a a densidade de água (Mg m^{-3}) e μ é o teor de água em base de massa (kg kg^{-1}), determinada pela razão entre as massas de água e de solo seco.

Simultaneamente a coleta de solo para avaliação de densidade, coletou-se, com uma sonda pedológica cinco subamostras em cada parcela nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Após a coleta, o solo foi seco ao ar em temperatura ambiente, peneirado com malha de 2 mm e armazenado por 150 dias até a análise do teor de C orgânico total e o fracionamento físico e químico. O C orgânico total foi analisado por um analisador elementar (LECO-TruSpect CHNS) de acordo com o método Pregl-Dumas (Nelson; Sommers, 1996), usando 0,2 g de solo.

O fracionamento físico da MO foi realizado pelo método granulométrico descrito por Cambardella e Elliot (1992). Pesou-se 20 gramas de solo seco em um copo plástico de 250 mL, adicionados 80 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) e agitados por 15 minutos em agitador horizontal. A amostra foi peneirada (malha 0,053 mm) e enxaguada até remoção total da argila, e as partículas restantes na peneira foram transferidas para uma lata de alumínio e secas à temperatura de 50°C . O material foi pesado e moído em um cadinho de porcelana e homogeneizado com um bastão de vidro, sendo determinado o C orgânico da fração particulada. O C orgânico ligado aos minerais do solo foi obtido pela diferença entre o C orgânico total e C orgânico das partículas. A porcentagem de labilidade da MOS do solo foi

avaliada pela relação do C orgânico das partículas/ C orgânico total. O estoque de C foi quantificado usando a densidade do solo e o teor de C orgânico total em cada camada de solo.

O fracionamento químico da MOS foi determinado pelo método de Benites *et al.* (2017). Em tubo de centrífuga foram pesados 0,5 g de solo seco e adicionados 20 mL de NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$). A amostra foi agitada por 15 s e mantida de pé por 24 horas. No dia seguinte a amostra foi centrifugada a 5.000 rpm durante 30 minutos, e o sobrenadante foi removido para um copo de plástico descartável de 80 mL.

Foram adicionados nos tubos 20 mL da solução de NaOH e depois centrifugados, após o descanso de 60 minutos das amostras em pé o tubo foi centrifugado novamente a 5.000 rpm por 30 minutos. O sobrenadante foi recolhido e colocado junto ao primeiro. O pH do sobrenadante foi ajustado de 13 para 1,5 usando H_2SO_4 , e as amostras foram armazenadas em geladeira por uma noite. O precipitado foi coletado por processo de filtração, sendo utilizado o filtro Sterifil de 250 mL polissulfone (XX1104700, Millipore) com uma bomba a vácuo e papel filme de $0,45 \mu\text{m}$ (HAWP04700, Merck Millipore). O volume do filtrado foi coletado e este corresponde à fração de ácido fúlvico, e o líquido foi transferido para um Erlenmeyer e adicionado água destilada até 50 mL.

O precipitado coletado no papel filtro foi completamente dissolvido em NaOH e levado a um volume de 50 mL em um Erlenmeyer para a obtenção da fração de ácido húmico. A titulação e determinação de C foram realizadas em triplicata. Uma alíquota de 5 mL das soluções de ácido fúlvico e ácido húmico foi utilizada, junto a adição de 1 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($0,042 \text{ mol L}^{-1}$) e 5 mL de H_2SO_4 concentrado.

Os tubos foram aquecidos em um bloco digestor pré-aquecido a 150°C por 30 minutos, após este processo as amostras foram transferidas para um Erlenmeyer de 125 mL. A amostra branca foi utilizada para correção da normalidade do sulfato ferroso amoniacal e elas não foram aquecidas. Três gotas de Ferroin foram adicionadas e as amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal (SFA) ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$). Através da equação 3 foi obtido o C de cada fração:

(3)

$$\text{CAF ou CAH} = \frac{\{[(V_{\text{baq}} - V_{\text{am}}) \times (V_{\text{bs}} - V_{\text{baq}}) / V_{\text{bs}}] + (V_{\text{baq}} - V_{\text{am}})\} \times 3 \times \text{MAFS} \times [50/\text{aliquota (mL)}]}{\text{peso inicial das amostras de solo (g)}}$$

Onde C_{AF} ou C_{AH} é a concentração de C orgânico na fração de ácido fúlvico ou húmico (g kg^{-1}), respectivamente; V_{baq} é o volume (mL) de SFA usado para titular a amostra branca aquecida; V_{am} é o volume (mL) do SFA utilizado para titular a amostra; V_{bs} é o volume (mL) do SFA usado para titular a amostra branca não aquecida e o MAFS é a concentração de SFA (mol L^{-1}).

A fração húmica foi obtida pela digestão de amostras precipitadas. A amostra precipitada foi combinada com 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($0,1667 \text{ mol L}^{-1}$) e 10 mL de H_2SO_4 concentrado e aquecido em bloco digestor pré-aquecido a 150°C durante 30 minutos. Em seguida, as amostras foram transferidas para um Erlenmeyer de 125 mL, e a ferroína foi adicionada como indicador. Após a titulação com SFA ($0,25 \text{ mol L}^{-1}$), o teor de C da fração foi calculado seguindo a equação 4:

(4)

$$C_{Hum} = \frac{\{[(V_{baq} - V_{am}) \times (V_{bs} - V_{am}) / V_{bs}] + (V_{baq} - V_{am})\} \times 3 \times \text{MAFS}}{\text{peso da amostra precipitada (Hum)(g)}}$$

onde C_{Hum} é a concentração do C orgânico da fração de humina, V_{baq} é o volume (mL) de SFA usado para titular a amostra branca aquecida; V_{am} é o volume (mL) do SFA utilizado para titular a amostra; V_{bs} é o volume (mL) do SFA usado para titular a amostra branca não aquecida; e o MAFS é a concentração de SFA (mol L^{-1}). Também foi calculada a soma das substâncias húmicas (ácido fúlvico, ácido húmico e humina) e a relação de ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF).

2.6 Análise estatística

O experimento foi conduzido nas safras 2020/2021 e 2021/2022, com a coleta de dados do fracionamento físico e químico realizada no final da safra 2021/2022. Cada profundidade foi analisada separadamente, uma vez que foram submetidos a diferentes cultivares, épocas de semeadura e condições climáticas variáveis, como regime hídrico e temperaturas. Os dados foram submetidos à análise de variância para verificação dos dados. Os resultados foram analisados para estudar os efeitos dos tratamentos dentro de cada experimento usando ANOVA

independente de duas vias (teste F, $P < 0,05$). O teste de Tukey a 5% de significância foi utilizado para avaliar a diferença das médias entre os tratamentos. Os sistemas de preparo do solo e as plantas de cobertura foram considerados como efeitos fixos e blocos como efeitos aleatórios pelo software SISVAR versão 5.8. A análise de componente principal (PCA) foi usada para expor a relação entre o estoque de carbono e o fracionamento físico e químico da matéria orgânica sob um solo arenoso utilizando o software Palaeontological Statistic (PAST) versão 3,29 (Hammer *et al.*, 2001). No presente estudo, foi realizada a separação por cada camada de solo (0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m).

3 RESULTADOS

3.1 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Os valores de P sobre o fracionamento químico e físico da MO são apresentados na Tabela 2. Apenas o carbono orgânico particulado (COP) não apresentou interação entre as plantas de cobertura e os sistemas de preparo em nenhuma das camadas avaliadas, respectivamente. Em camadas específicas não houve interação (PC x SP) em alguns dos parâmetros avaliados como em 0-0,10 m no COT e ácido fúlvico, em 0,20-0,40 m no estoque de C e CAM e 0,40-0,60 m no estoque de C e COT (Tabela 2).

Tabela 2 — Valor de P para o estoque de carbono do solo (Estoque C), carbono lábil (CLábil), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono associado a minerais (CAM), ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), relação ácido fúlvico e húmico (AH:AF), humina e substâncias húmicas (SH), em função de sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e a interação entre ambos.

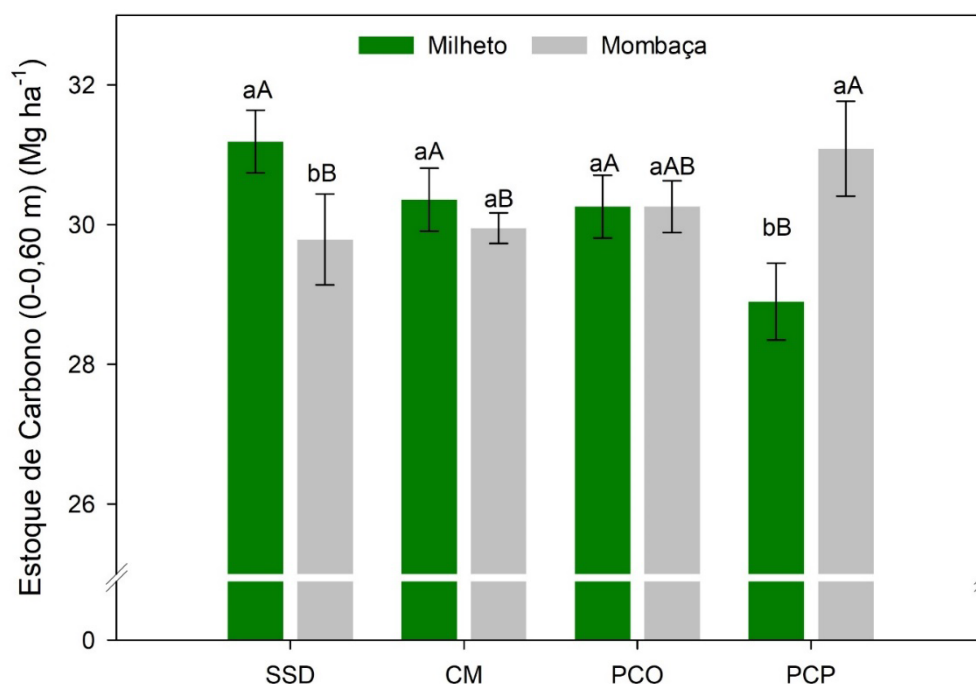
	Estoque C	CLábil	COT	COP	CAM	AF	AH	AH:AF	Humina	SH
0,0-10 cm										
SP	0,0000*	0,0002**	0,5942 ^{ns}	0,0837 ^{ns}	0,8748 ^{ns}	0,1589 ^{ns}	0,0231**	0,0005**	0,0000*	0,0001*
PC	0,0724 ^{ns}	0,1734 ^{ns}	0,2264 ^{ns}	0,4454 ^{ns}	0,3130 ^{ns}	0,0439**	0,0000*	0,0000*	0,6991 ^{ns}	0,0384**
SP x PC	0,0000*	0,0000*	0,3674 ^{ns}	0,5173 ^{ns}	0,0413*	0,4233 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0388**	0,0080**
C.V (%)	4,09	7,31	9,02	17,61	11,1	9,31	7,23	9,66	6,75	6,43
0,10-0,20 cm										
SP	0,0313**	0,0000*	0,6836 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,9177 ^{ns}	0,1349 ^{ns}
PC	0,0483**	0,0000*	0,5115 ^{ns}	0,0562 ^{ns}	0,0044*	0,4989 ^{ns}	0,0001*	0,0055**	0,1012 ^{ns}	0,0032**
SP x PC	0,0007*	0,0000*	0,0241**	0,0516 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0347**	0,0003**
C.V (%)	6,13	5,6	9,56	8,42	8,36	6,87	9,06	11,14	6,8	5,25
0,20-0,40 cm										
SP	0,0001*	0,0003**	0,0063**	0,1077 ^{ns}	0,0000*	0,0000*	0,0013**	0,0000*	0,5039 ^{ns}	0,0000*
PC	0,0006**	0,3247 ^{ns}	0,0583 ^{ns}	0,2287 ^{ns}	0,0000*	0,8472 ^{ns}	0,0001*	0,0000*	0,0007**	0,0000*
SP x PC	0,1937 ^{ns}	0,0015**	0,0463**	0,0241 ^{ns}	0,2467 ^{ns}	0,0000*	0,0042**	0,0000*	0,0027**	0,0170**
C.V (%)	3,73	6,08	5,92	8,42	5,87	7,31	13,25	8,08	7,53	5,03
0,40-0,60 cm										
SP	0,0004**	0,0102**	0,0019**	0,2751 ^{ns}	0,1921 ^{ns}	0,0216**	0,0000*	0,0000*	0,0037**	0,0000*
PC	0,4668 ^{ns}	0,8933 ^{ns}	0,3237 ^{ns}	0,2852 ^{ns}	0,7116 ^{ns}	0,7153 ^{ns}	0,0000*	0,0001*	0,0052**	0,5506 ^{ns}
SP x PC	0,5304 ^{ns}	0,0068**	0,8753 ^{ns}	0,1748 ^{ns}	0,0021**	0,0010**	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
C.V (%)	6,01	8,82	6,76	14,24	7,4	6,94	5,59	6,60	1,96	1,38

Fonte: A autora.

Legenda: Sistema de preparo (SP); Planta de cobertura (PC); Profundidade (P). * = 1% significância de significância. ** = 5% significância. ^{ns} = Não significativo.

O milho aumentou o estoque de C em 8%, 5% e 5% nos sistemas SSD, CM e PCO, em comparação ao PCP, respectivamente. Enquanto o capim Mombaça se destacou sob PCP com estoque de C em 8% em relação ao milho (Fig. 5).

Figura 5 — Estoque de carbono orgânico em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.

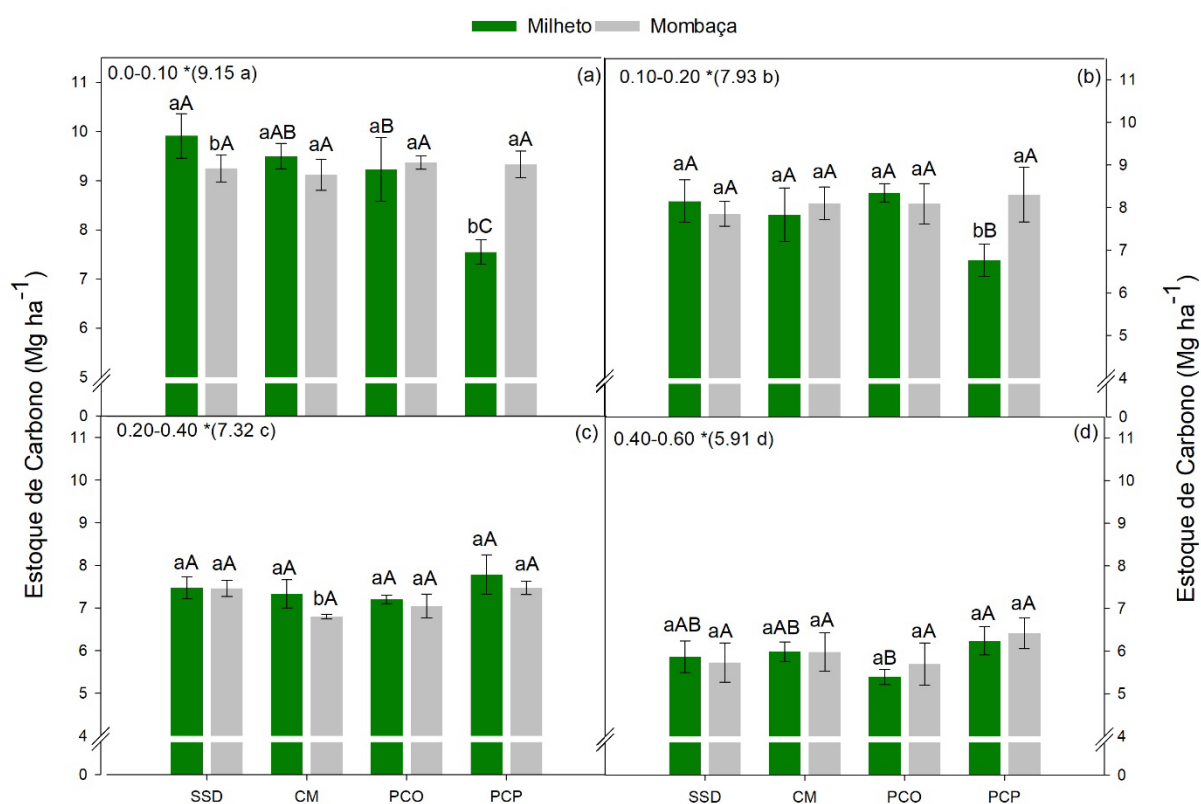


Fonte: A autora.

Legenda: letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e as letras minúsculas as plantas de cobertura.

O SSD com milho proporcionou 18% de incremento no estoque de carbono na camada 0,0-0,10 m em relação ao PCP, respectivamente (Fig. 6a). No entanto, o capim mombaça sobre PCP favoreceu o aumento do estoque de C nas camadas de 0,0 até 0,20 m, respectivamente (Fig. 6a-b). Em 0,20-0,40 m o capim mombaça foi maior em relação ao milho no tratamento CM (Fig. 6c); já na camada de solo seguinte entre os sistemas de preparo sob milho o PCO apresentou menor estoque de carbono (Fig. 6d).

Figura 6 — Estoque de carbono orgânico do solo nas camadas 0.0 até 0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.

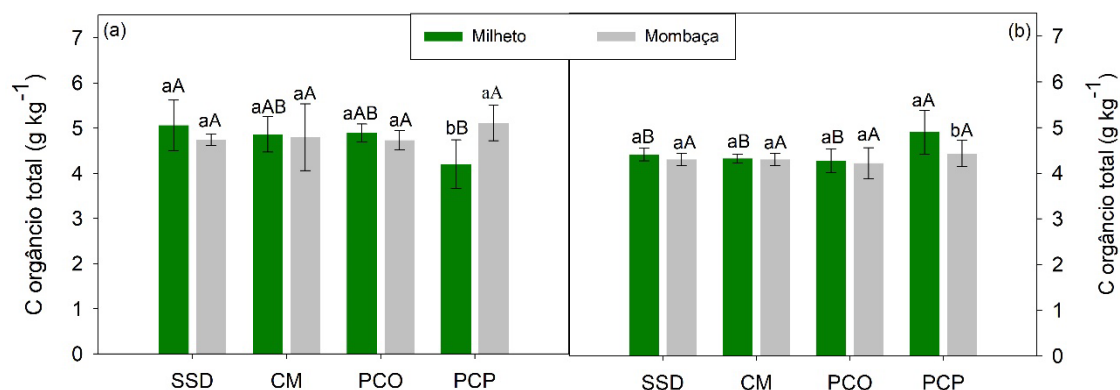


Fonte: A autora.

Legenda: letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e as letras minúsculas as plantas de cobertura. Valores dentro dos parênteses comparam média das camadas.

Observou-se um incremento no COT na profundidade de 0,10-0,20 m quando o milho foi utilizado em combinação com o SSD, em comparação com o PCP com milho (Fig. 7a). Entretanto, na camada subsequente, o uso do milho no PCP resultou em aumento de 13% no teor de COT, em relação aos demais sistemas de preparo (Fig. 7b).

Figura 7 — Carbono orgânico total (COT) nas camadas 0,10-0,20 m (a) e 0,20-0,40 m (b) em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.



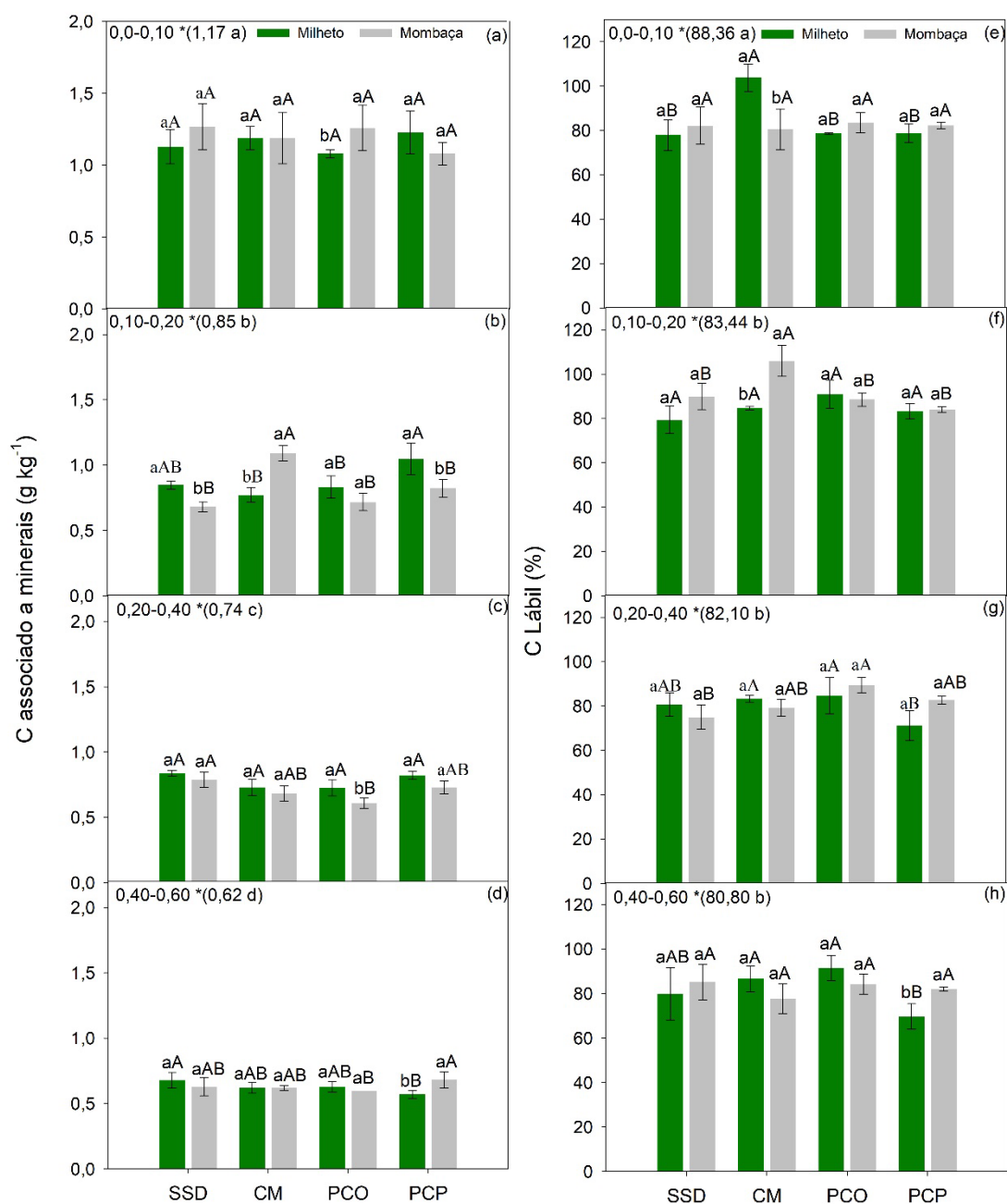
Fonte: A autora.

Legenda: letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e as letras minúsculas as plantas de cobertura.

O teor de carbono associado à minerais (CAM) foi maior com capim mombaça sobre PCO, incrementando 17% em relação ao milho em 0-0,10 m (Fig. 8a). De 0,10-0,20 m, CM com mombaça e o PCP com milho aumentou o CAM em 47% e 28% comparado aos demais sistemas de preparo, respectivamente (Fig. 8b). Na camada seguinte (0,20-0,40 m) o SSD sob capim mombaça teve teor de CAM 29% maior em relação ao PCO, respectivamente (Fig. 8c). Mas em 0,40-0,60 m o milho sobre SSD aumentou em 28% comparação ao PCP; já o PCP com mombaça incrementou em 17% o teor de CAM em relação ao PCO (Fig. 8d).

Na camada de 0-0,10 m o milho sobre CM incrementou em 32% o C lábil (carbono orgânico particulado/carbono orgânico total) do solo (Fig. 8e), mas o inverso foi observado na camada seguinte com aumento de 21% sob o capim mombaça em comparação aos outros tratamentos (Fig. 8f). Já na camada de 0,40-0,60 m o CM e PCO com milho aumentou em 31% o C lábil comparado ao PCP (Fig. 8h).

Figura 8 — Carbono associado a minerais e C lábil nas camadas 0,0 até 0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.



Fonte: A autora.

Legenda: letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e as letras minúsculas as plantas de cobertura. Valores dentro dos parênteses comparam média das camadas.

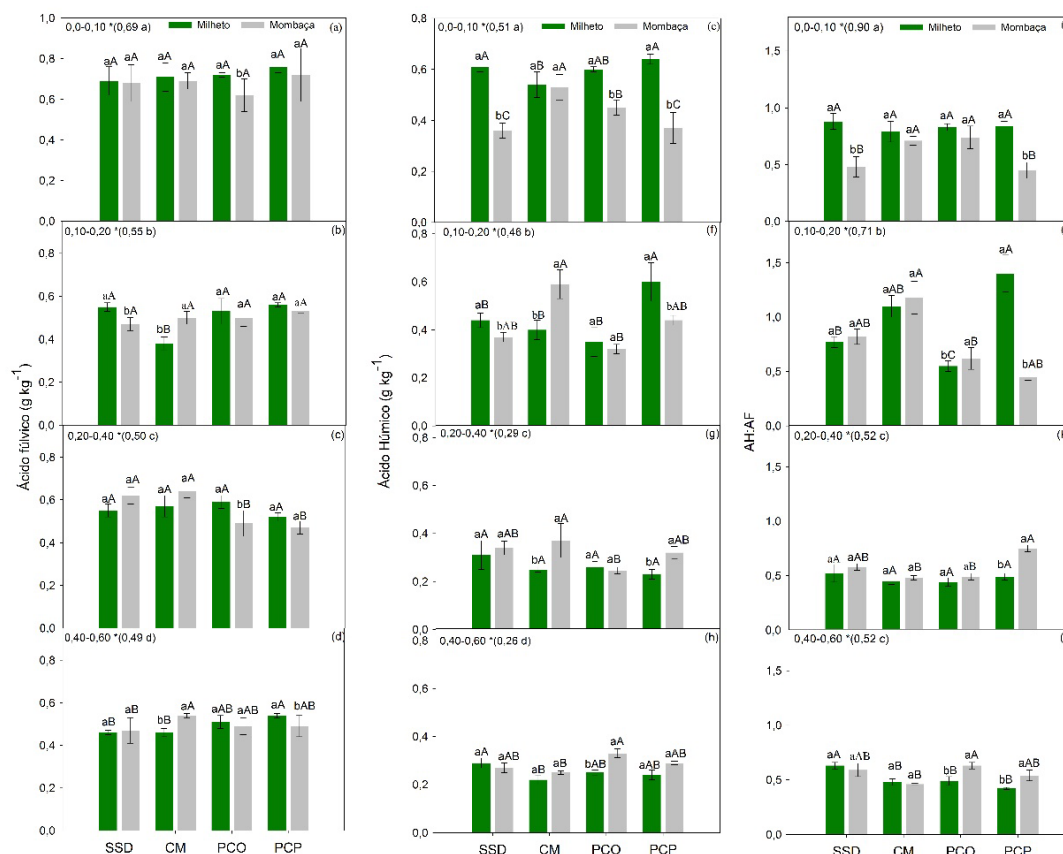
3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica

O teor de ácido fúlvico do solo foi influenciado pelas plantas de cobertura na camada de 0-0,10 m somente no PCO, com aumento de 25% sob milho em relação ao capim mombaça (Fig. 9a). Na camada 0,10-0,20 m o SSD, o PCO e o PCP foram 18% maiores em comparação ao CM sob milho (Fig. 9b). Entre os sistemas de preparo, o capim mombaça sobre CM resultou em maior incremento de ácidos fúlvicos de 0,10 até 0,60 m e ácido húmico de 0,0 -0,60 m (Fig. 9b-c-d-e-f-g-h).

Entre as plantas de cobertura o capim mombaça sobre CM apresentou tendência no incremento de ácidos húmicos de 0,10-0,60 m, em relação ao milho (Fig. 9e-f-g). O milho sobre SSD propiciou incremento de 13% e 32% em 0-0,10 m e 0,40-0,60 m em relação ao CM, respectivamente (Fig. 9e-h). Esta mesma planta de cobertura aumentou o teor de ácidos húmicos sobre PCP em 18% (0-0,10 m) comparado ao CM e 105% (0-10,20 m) em relação ao SSD, CM e PCO (Fig. 9e-f).

O PCP teve maior relação AH:AF sob milho em 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, no entanto, o inverso ocorreu nas camadas seguintes. O milho também foi maior sobre SSD em relação ao capim mombaça. No entanto, a relação AH:AF aumentou em 55% no CM e PCO com capim mombaça comparado ao SSD e PCP (Fig. 9i). O capim mombaça não aumentou a relação AH:AF sobre os preparos convencionais (PCO e PCP) em 0,10-0,20 m, mas foi maior sobre CM (Fig. 9j).

Figura 9 — Teor de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e relação AH:AF nas camadas 0,0 até 0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.



Fonte: A autora.

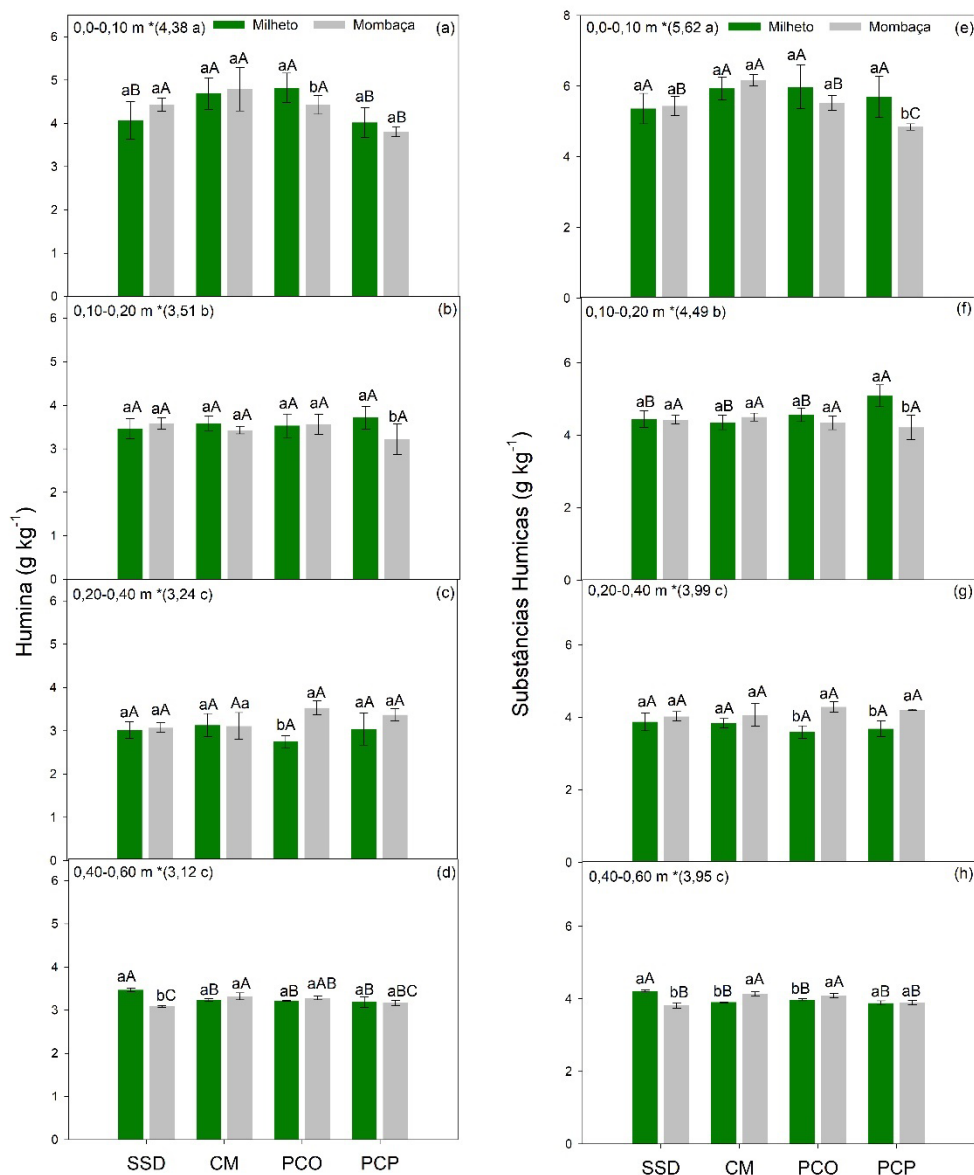
Legenda: letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e as letras minúsculas as plantas de cobertura. Valores dentro dos parênteses comparam média das camadas.

O CM e PCO com ambas as plantas de cobertura aumentou o teor de humina. O capim mombaça incrementou em 20% sobre o SSD, CM e PCO em relação ao PCP em 0,0-0,10 m (Fig. 10a). Entre as plantas de cobertura o milho aumentou em 15% no PCP (0,10-0,20 m) e o capim mombaça em 11% no PCO (0,20-0,40 m), em relação ao milho (Fig. 10b-c). Na última camada, o sistema de preparo sem revolvimento do solo (SSD) teve o maior teor de humina e SH em relação aos demais sistemas (Fig. 10d-h).

Os teores de SH aumentaram em 17% no CM com capim mombaça em comparação aos demais sistemas de preparo na camada 0,0-0,10 m (Fig. 10e). Já na camada seguinte, o PCP com milho incrementou o teor de SH em 14%, comparado aos demais sistemas (Fig. 10f). Os tratamentos de preparo convencional sob capim

mombaça aumentaram as SH comparado ao milho na camada 0,20-0,40 m (Fig. 10g). A mombaça também aumentou em 6% as SH em 0,40-0,60 m sobre CM e PCO, em relação ao SSD e PCP (Fig. 10h).

Figura 10 — Teores de humina e substâncias húmicas nas camadas de 0,0-0,60 m em um solo arenoso sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura.



Fonte: A autora.

Legenda: Letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e as letras minúsculas as plantas de cobertura. Valores dentro dos parênteses comparam média das camadas.

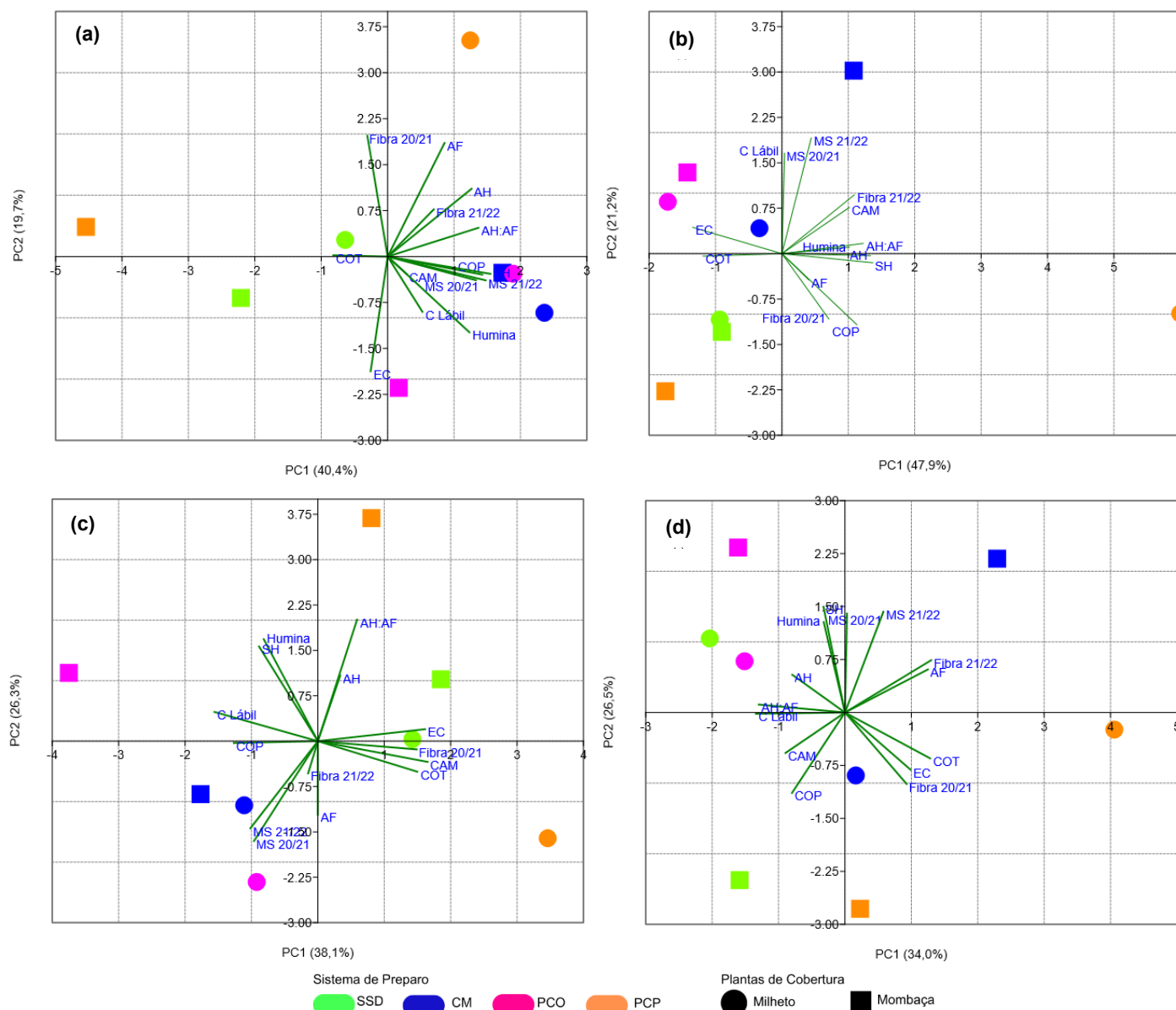
3.3 Influência de diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura no fracionamento físico e químico da matéria orgânica em solo arenoso

No presente estudo, os teores de AF, AH, AH:AF, SH, COP, CAM, C lábil, humina, MS das plantas de cobertura nas duas safras e a produtividade de fibra em 21/22 correlacionaram-se positivamente na camada de 0,0-0,10 m, mas o estoque de C, COT e a produtividade de fibra em 20/21 correlacionaram-se negativamente (Figura 11a). O SSD com milho e PCP com capim mombaça correlacionaram-se positivamente ao estoque de C e COT de 0,0 a 0,40 m (Figura 11a-b-c).

De 0,10-0,20 m as frações químicas do carbono, o CAM, o COP, a MS das plantas de cobertura e a produtividade das duas safras correlacionaram-se na PC1 (47,9%) aos tratamentos CM+mombaça e PCP+milho. No entanto, o teor de C lábil, estoque de C e COT correlacionaram-se negativamente aos parâmetros da PC1 (Figura 11b).

Na camada de 0,20-0,40 m, a produtividade de fibra de 21/22 não se correlacionou no quadrante da PC1 (38,1%) à relação AH:AF; já os AH, o estoque de C, o COT, o CAM e a produtividade de fibra 20/21 correlacionaram-se positivamente com ambas as plantas de cobertura no SSD e PCP. Porém de 0,40-0,60 m os AF, estoque de C, COT, produtividade de fibra e MS das plantas de cobertura das duas safras foram correlacionadas negativamente ao CAM, COP, C lábil, AH:AF, AH, humina e SH (Figura 11d).

Figure 11 — Análise de componente principal (PCA) do fracionamento físico e químico da matéria orgânica sob as camadas 0,0-0,10 m (a), 0,10-0,20 m (b), 0,20-0,40 m (c) e 0,40-0,60 m de profundidade de um solo arenoso cultivado com algodão.



Fonte: A autora.

Legenda: Estoque de carbono do solo (EC), carbono lábil (CLábil), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono associado a minerais (CAM), ácido fúlvico (Fúlvico), ácido húmico (Húmico), relação ácido fúlvico e húmico (HA:FA), humina, substâncias húmicas (SH), matéria seca das plantas de cobertura (MS) e produtividade de fibra (Fibra).

4 DISCUSSÃO

4.1 Fracionamento físico da matéria orgânica

A dinâmica do C nos solos arenosos é fortemente influenciada pelas práticas de manejo agrícola, como o uso de plantas de cobertura e sistemas de preparo de solo. Os resultados deste estudo, assim como em outras pesquisas, indicam que em solos arenosos, a maior entrada de biomassa nem sempre resulta em um maior estoque de C (Cordeiro *et al.*, 2022). Essa observação está relacionada ao tempo de desenvolvimento da planta de cobertura e à influência da relação carbono/nitrogênio (C/N) da biomassa (Tabela 3). Por exemplo, gramíneas do gênero *Megathyrsus*, quando comparadas ao milheto, apresentam uma alta relação C/N e maior produção de biomassa (Nascente *et al.*, 2013), o que pode explicar o aumento no armazenamento de C nos sistemas que utilizam milheto em combinação com SSD, CM ou PCO. Além disso, os resultados demonstram que a escolha da planta de cobertura e o sistema de preparo influenciam no armazenamento de C (Fig. 5), como observado em outros estudos (Blanco-canqui *et al.*, 2009; Rahmati *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2020). Isso reforça o papel positivo dos manejos conservacionistas na proteção da MO e no incremento de C (Blanco-canqui *et al.*, 2009; Tiecher *et al.*, 2020).

Em solos arenosos o CAM é particularmente importante devido à baixa capacidade de retenção de água e nutrientes no solo (Kogel-Knabner *et al.*, 1994). O teor do CAM diminuiu nas camadas mais profundas do solo (Fig. 8), provavelmente devido a produção de raízes que diminuiu em profundidade e os minerais reativos que são estabilizadores da MO (Heckman *et al.*, 2018; Zhong *et al.*, 2018). No entanto, em solos arenosos a estabilização de C ocorre em camadas mais profundas do perfil do solo, onde o C pode se associar a óxidos de ferro e alumínio, que são comuns em muitos solos tropicais (Bettiol *et al.*, 2023). A perda de C em solos arenosos é ainda mais acentuada (Fujisaki *et al.*, 2018; Parihar *et al.*, 2018) devido a menor proteção física proporcionada pelas partículas de areia (Arora *et al.*, 2005). Desta forma, o uso de plantas de cobertura em sistemas com revolvimento do solo se torna importante para mitigar as perdas de CAM (Heckman *et al.*, 2018). Álvaro-Fuentes *et al.* (2008) reportam aumento no teor de CAM sob SSD em relação a sistemas com preparo de solo na superfície (Fig. 8). Outros estudos mostram os benefícios que o

uso de plantas de cobertura proporciona ao solo, como a proteção da fração mineral, particularmente nas camadas superficiais do solo (Fujisaki *et al.*, 2018).

Embora o CM sob capim mombaça tenha incrementado o teor de CAM e o C lábil na camada 0,10-0,20 m, nas camadas 0,0-0,10 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m o milho incrementou o C lábil (Fig. 8). Em solos arenosos a quantidade e tempo de decomposição das diferentes plantas de cobertura respondem diferentemente entre as camadas do solo, podendo aumentar e diminuir rapidamente a fração de C lábil (Cordeiro *et al.*, 2022). Desta forma, o acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de cobertura podem interferir nas frações da MOS, sendo o C lábil do solo a fração facilmente acessível e rapidamente decomposta pelos microrganismos do solo (Parihar *et al.*, 2018). Isso ocorre devido a menor capacidade de proteção física das partículas de areia, tornando o C lábil em solos arenosos mais suscetível pela acelerada decomposição da MOS que leva à rápida perda das frações (Heckman *et al.*, 2018; Parihar *et al.*, 2018).

4.2 Fracionamento químico da matéria orgânica

A fração química da MOS do solo apresentou em nosso estudo tendência positiva sobre a interação entre os sistemas de preparo e as plantas de cobertura. O aporte de matéria seca é imprescindível em cada tipo de sistema de preparo para a formação das frações da MOS (Tiecher *et al.*, 2020; Raiesi *et al.*, 2021), que desempenha um papel importante na estruturação do solo (Tonon-Debiasi *et al.*, 2023). As frações mais estáveis da MOS são os ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina componentes das SH (Guimarães *et al.*, 2013; Raphael *et al.*, 2016; Raiesi *et al.*, 2021). Os teores de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, relação AH:AF e humina aumentaram em nosso estudo quando o aporte de massa de matéria seca das plantas de cobertura foi maior.

Esse ganho na formação de SH está ligado com a deposição de resíduos das plantas de cobertura que melhoram as frações químicas da MOS, atividade microbiológica e as taxas de decomposição (Rahmati *et al.*, 2020). Conforme observado para o estoque de carbono a similaridade nas frações húmicas entre as plantas de cobertura nos diferentes sistemas de preparo induz o aumento de C e SH em profundidade. No presente estudo o capim mombaça aumentou as

concentrações de ácidos fúlvicos de 0,10 até 0,60 m (Figura 9b-c-d), ácidos húmicos de 0,0 até 0,40 m (Figura 9c-e-g) e a relação AH:AF de 0,0 até 0,20 m (Figura 9 i-j).

Em outros trabalhos não reportaram o aumento nos teores de ácido fúlvico em profundidade, mas decréscimo gradual foi observado entre as camadas do solo (Tang *et al.*, 2017; Cordeiro *et al.*, 2022; Guimarães *et al.*, 2013). Além disso, os teores de ácidos fúlvicos foram maiores em relação ao de ácidos húmicos, o que pode ser devido ao menor peso molecular e a maior mobilidade que o ácidos fúlvicos possui (Tang *et al.*, 2017).

O menor aporte de palha de milho sobre CM e PCO (Figura 5 – Capítulo 1) influenciou para um menor teor de ácidos fúlvico e húmico (Figura 10). Esses resultados indicam que a menor produção de matéria seca diminui os teores dos componentes da fração químicas da MOS (Rigon *et al.*, 2020).

A relação AH:AF do solo pode variar de $<0,5$ para >2 e isso reflete na formação do húmus. Nossos resultados foram menores que 1, o que de acordo com a literatura, é indicativo de perda da fração mais estável da MOS (Gmach *et al.*, 2018). Outros estudos também relataram relação AH:AF <1 em solos arenosos da relação AH:AF (Cordeiro *et al.*, 2022). O milho elevou a relação AH:AF na primeira e na última camada do solo no tratamento SSD e de 0,0-0,20 m no PCP.

Assim como relatado em outros trabalhos realizados em solos arenosos, a humina apresentou níveis mais altos em relação aos ácidos fúlvicos e ácidos húmicos (Cordeiro *et al.*, 2022; Guimarães *et al.*, 2013). Isso ocorre devido a sua participação de 50 % na fração química da MOS, com maior estabilidade no solo (Tang *et al.*, 2017). Os teores de humina e SH aumentaram no CM sob capim mombaça de 0,0-0,10 e 0,40-0,60 m, mas de 0,40-0,60 m o milho incrementou sob o SSD e o PCP de 0,10-0,20 m. Outros estudos abordam a importância das forrageiras aos solos, principalmente na qualidade da MOS (Tadini *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2024).

4.3 Influência de diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura no fracionamento físico e químico da matéria orgânica em solo arenoso

O PCA destaca a resiliência do sistema conservacionista SSD+milho com o estoque de C e COT de 0 a 0,40 m, evidenciando a importância deste sistema em solos arenosos (Fig. 10) (Rahmati *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2020; Tiecher *et al.*,

2020). O estoque de C apresentou efeito positivo com a produtividade de fibra do ano mais úmido (safra 20/21) nas camadas 0,0-0,10; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Lal (2020) reporta a influência da MOS no aumento da produtividade de culturas. Embora cada planta de cobertura tenha apresentado uma resposta dentro dos sistemas de preparo, os resíduos decompostos no solo sob preparo convencional foram imprescindíveis para a formação das frações da MOS (ácido húmico, ácido fúlvico, humina, substâncias húmicas) no perfil do solo (Fig. 10) (Rahmati *et al.*, 2020). Além disso, nossos resultados indicam que, mesmo o capim mombaça aportando menor quantidade de massa de matéria seca no PCP, observa-se uma correlação positiva com o estoque de C e COT em profundidade. Esse comportamento pode ser explicado pela relação entre o desenvolvimento crescimento de raízes e do acúmulo de C no solo arenoso (Rosolem *et al.*, 2016; Nascente *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÕES

A escolha da espécie de planta de cobertura dentro de cada sistema de preparo do solo melhora a estabilidade da matéria orgânica no solo arenoso.

O milho sob sistema de semeadura direta incrementa o estoque de carbono e na fração estável da matéria orgânica do solo em profundidade.

O capim mombaça quando se faz no cultivo mínimo e preparo convencional aumenta o aporte de C no solo arenoso cultivado com algodão.

REFERÊNCIAS

- ÁLVARO-FUENTES, J.; LÓPEZ, M. V.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ARRÚE, J. L. Tillage effects on soil organic carbon fractions in Mediterranean dryland agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 2, p. 541-547, 2008. DOI: 10.2136/sssaj2007.0164.
- ANDRADE, M. G. D. O.; CORDEIRO, C. F. D. S.; CALONEGO, J. C.; ERANZLUEBBERS, A. ROSALEM, C. A. Soil amendment and N fertilization strategies to improve C sequestration and storage in soil aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 88, n. 5, p.1-11, 2024. DOI: 10.1002/saj2.20722.
- ARORA, V. K.; GAJRI, P. R.; UPPAL, H. S. Puddling, irrigation, and transplanting-time effects on productivity of rice–wheat system on a sandy loam soil of Punjab, India. **Soil and Tillage Research**, v. 85, n.1-2, p.212-220, 2006. DOI: 10.1016/j.still.2005.01.015
- BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; MADARI, B. E.; FONTANA, A. Fracionamento químico da matéria orgânica. In P. C. Teixeira, G. K. Donagemma, A. Fontana,&W. G. Teixeira (Eds.), **Serviço Nacional de Pesquisa do Solo. Manual de métodos de análises de solo** (3rd ed.), 2017.
- BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. de (ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 788 p.
- BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; SCHLEGEL, A.J.; LYON, D.J.; VIGIL, M.F.; MIKHA, M.; STAHLMAN, P.W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 73, p. 1871–1879, 2009. DOI: 10.2136/sssaj2008.0353.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777–783, 1992. DOI: [10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x](https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x)
- CORDEIRO, C. F. D. S.; RODRIGUES, D. R.; SILVA, G. F. D.; ECHER, F. R.; CALONEGO, J. C. Soil organic carbon stock is improved by cover crops in a tropical sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 2, p.1546-1556, 2022. DOI: 10.1002/agj2.21019.
- FERREIRA, A. C. D. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; BOGIANI, J. C.; SILVA, M. A. S. D.; SILVA FILHO, J. L. D.; STAUT, L. A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, p. e43039, 2019. DOI: 10.4025/actasciagron.v42i1.43039.
- FUJISAKI, K.; CHEVALLIER, T.; CHAPUIS-LARDY, L.; ALBRECHT, A.; RAZAFIMBELO, T.; MASSE, D.; CHOTTE, J. L. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.259, p.147-158, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2017.12.008.

GMACH, M. R.; DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LUSTOSA FILHO, J.; SIQUEIRA-NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, p. e00178, 2018. DOI: 10.1016/j.geodrs.2018.e00178.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; SILVA DIAS, N.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 177–182, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2012.07.010.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p.1-9, 2001.

HECKMAN, K.; LAWRENCE, C. R.; HARDEN, J. W. A sequential selective dissolution method to quantify storage and stability of organic carbon associated with Al and Fe hydroxide phases. **Geoderma**, v. 312, p. 24–35, 2018. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.09.043.

HUANG, J.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, v. 208, p. 103295, 2020. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103295.

KOGEL-KNABNER, I.; GUGGENBERGER, G.; KLEBER, M.; KANDELER, E.; KALBITZ, K.; SCHEU, S.; EUSTERHUES, K.; LEINWEBER, P. Organomineral associations in temperate soils: Integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, n. 1, p. 61–82, 2008. DOI: 10.1002/jpln.200700048.

LAL, R. Soil organic matter content and crop yield. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, p. 1–6, 2020. DOI: 10.2489/jswc.75.2.27A.

LI, Y.; LI, Z.; CHANG, S. X.; CUI, S.; JAGADAMMA, S.; ZHANG, Q.; CAI, Y. Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 740, p. 140147, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140147.

LOKE, P. F.; KOTZE, E.; DU PREEZ, C. C.; TWIGGE, L. Dynamics of soil carbon concentrations and quality induced by agricultural land use in Central South Africa. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, n. 2, p. 366-379, 2019. DOI: 10.2136/sssaj2018.11.0423.

NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, v. 130, p. 52–57, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2013.02.008.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A. LOEPPERT, R. H. SOLTANPOUR, P. N.; TABATAI, M. A. (ed.). **Methods of Soil Analysis 3: chemical methods**. Madison, WI: Agronomy Society of America and Soil Science Society of America, 1996. p. 961–1010. DOI: 10.2136/sssabookser5.3.c34.

PARIHAR, C. M.; JAT, S. L.; SINGH, A. K.; DATTA, A.; PARIHAR, M. D.; VARGHESE, E.; JAT, M. L. Changes in carbon pools and biological activities of a sandy loam soil under medium-term conservation agriculture and diversified cropping systems. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 5, p. 902-912, 2018. DOI: 10.1111/ejss.12680.

PAUSTIAN, K.; LEHMANN, J.; OGLE, S.; REAY, D.; ROBERTSON, G. P.; SMITH, P. Climatesmart soils. **Nature**, v. 532, p. 49–57, 2016. DOI: 10.1038/nature17174.

RAHMATI, M.; ESKANDARI, I.; KOUSELOU, M.; FEIZIASL, V.; MAHDAVINIA, G. R.; ALIASGHARZAD, N.; MCKENZIE, B. M. Changes in soil organic carbon fractions and residence time five years after implementing conventional and conservation tillage practices. **Soil and Tillage Research**, v. 200, p. 104632, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2020.104632.

RAIESI, F. The quantity and quality of soil organic matter and humic substances following dry-farming and subsequent restoration in an upland pasture. **Catena**, v. 202, p. 105249, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105249.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284 p.

RAPHAEL, J. P.; CALONEGO, J. C.; MILORI, D. M. B.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p.45–53, 2016. DOI: 10.1016/j.still.2015.07.020

RIGON, J. P. G.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CALONEGO, J. C. Soil aggregation and potential carbon and nitrogen mineralization with cover crops under tropical no-till. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 5, p. 601-609, 2020. DOI: 10.2489/jswc.2020.00188.

ROSOLEM, C. A.; LI, Y.; GARCIA, R. A. Soil carbon as affected by cover crops under no-till under tropical climate. **Soil Use and Management**, v. 32, p. 495–503, 2016. DOI: 10.1111/sum.12309.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SUN, C. Y.; LIU, J. S.; WANG, Y.; ZHENG, N.; WU, X. Q.; LIU, Q. Effect of long-term cultivation on soil organic carbon fractions and metal distribution in humic and fulvic acid in black soil, Northeast China. **Soil Research**, v. 50, n. 7, p. 562-569, 2012. DOI: 10.1071/SR12100.

TADINI, A. M.; MARTIN-NETO, L.; GORANOV, A. I. MILORI, D. M.; BERNARDI, A. C.; OLIVEIRA, P. P.; HATCHER, P.G. Chemical characteristics of soil organic matter from integrated agricultural systems in southeastern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 73, n. 1, p. e13136, 2021. DOI: 10.1111/ejss.13136.

TANG, H.; XIAO, X.; TANG, W.; WANG, K.; LI, C.; CHENG, K. Returning winter cover crop residue influences soil aggregation and humic substances under double-cropped rice fields. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 0160488, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcS20160488.

TIECHER, T.; GUBIANI, E.; SANTANNA, M. A.; VELOSO, M. G.; CALEGARI, A.; CANALLI, L. B. S.; FINCKH, M.; CANER, L.; RHEINHEIMER, D. S. Effect of 26-years of soil tillage systems and winter cover crops on C and N stocks in a Southern Brazilian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. e0200029, 2020. DOI: 10.36783/18069657rbcS20200029

TONON-DEBIASI, B. C.; DEBIASI, H.; RONDINA, A. B. L.; DE MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. A. B.; NOGUEIRA, M. A. Microbial attributes as structural quality index for physical health of an Oxisol under compaction levels. **Soil and Tillage Research**, v. 235, p. 105872, 2024. DOI: 10.1016/j.still.2023.105872.

ZHONG, Z.; CHEN, Z.; XU, Y.; REN, C.; YANG, G.; HAN, X.; REN, G.; FENG, Y. Relationship between soil organic carbon stocks and clay content under different climatic conditions in central China. **Forests**, v.9, p.598, 2018. DOI:10.3390/f9100598