

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MAIARA KARINI HASKEL

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO CONDUZIDO SOB ESCARIFICAÇÃO  
MECÂNICA, BIOLÓGICA E PLANTIO DIRETO: INFLUÊNCIA NA  
PRODUTIVIDADE BIOLÓGICA DAS CULTURAS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2020

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MAIARA KARINI HASKEL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO CONDUZIDO SOB ESCARIFICAÇÃO  
MECÂNICA, BIOLÓGICA E PLANTIO DIRETO: INFLUÊNCIA NA  
PRODUTIVIDADE BIOLÓGICA DAS CULTURAS**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2020**

MAIARA KARINI HASKEL

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO CONDUZIDO SOB ESCARIFICAÇÃO  
MECÂNICA, BIOLÓGICA E PLANTIO DIRETO: INFLUÊNCIA NA  
PRODUTIVIDADE BIOLÓGICA DAS CULTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

PATO BRANCO

2020

H349a Haskel, Maiara Karini.  
Atributos físicos do solo conduzido sob escarificação mecânica,  
biológica e plantio direto: uma influência na produtividade biológicas das  
culturas / Maiara Karini Haskel. -- 2020.  
78 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2020.  
Inclui bibliografia.

1. Física do solo. 2. Milho - Cultivo. 3. Palha - Utilização na agricultura. I.  
Conceição, Paulo Cesar, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
**TERMO DE APROVAÇÃO**



**Título da Dissertação n.º 209**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO CONDUZIDOS SOB ESCARIFICAÇÃO  
MECÂNICA, BIOLÓGICA E PLANTIO DIRETO: INFLUÊNCIA NA  
PRODUTIVIDADE BIOLÓGICA DAS CULTURAS**

Por

**MAIARA KARINI HASSEL**

Dissertação apresentada às oito horas e trinta minutos do dia trinta de março de dois mil e vinte, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Fertilidade e Manejo de Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Dra. Lizete Stumpf**  
UFPEL/Pelotas  
(à distância, por videoconferência)

---

**Dr. André Pellegrini**  
UTFPR/Dois Vizinhos  
(à distância, por videoconferência)

---

**Dr. Paulo Cesar Conceição**  
UTFPR/Dois Vizinhos

---

**Dr. Alcir José Modolo**  
Coordenador do PPGAG

O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do PPGAG.

*Aos meus pais, Aleir e Isoldi Haskel*  
*Aos meus irmãos Mauro e Mariani Haskel*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela saúde para enfrentar os desafios em cada fase da vida, rodeada de pessoas especiais.

Aos meus pais, Aleir Haskel e Isoldi Terezinha Henz Haskel por todos os ensinamentos e valores repassados ao longo dos anos. Pelo incentivo, amparo, confiança e paciência, foram extremamente importantes para chegar até aqui.

Aos meus irmãos Mauro e Mariani, pelo incentivo, paciência e amizade durante o percurso.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Conceição pelos ensinamentos repassados, incentivo, confiança e amizade em mais uma etapa de formação pessoal e profissional.

Aos colegas e amigos do grupo de Pesquisa em Manejo e Conservação do Solo, Jaqueline K. da Rosa, Cidimar Cassol, Leandro A. Freitas, Marcia Kochen, Joseane Derengoski, Fernando Battisti, Maicon Reginatto, Caroline A. S. Dresch, Weslei Sbalcheiro, Dieyson Peruzzolo, Angela T. Trevisan, Rafael M. Andrade, Felipe L. Sandrin e Joice K. Kehrwald pelo auxílio nas atividades de campo e laboratoriais, pela amizade e momentos divertidos que passamos juntos.

Aos amigos de mestrado e doutorado do PPGAG, pelos momentos de conhecimento compartilhados durante a formação, pela amizade e momentos divertidos de caronas e parceria.

À minha avó Maria, meus tios, primos e demais amigos pelo incentivo, e paciência nos momentos de ausência.

A UTFPR, Câmpus Pato Branco e Câmpus Dois Vizinhos pela estrutura disponibilizada.

Ao corpo docente do PPGAG pelo conhecimento repassado.

A Fundação Araucária e CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

A Fundação Araucária pelo aporte financeiro para a realização do experimento.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização do presente trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

*Se consegui enxergar mais longe, é porque estive apoiado sobre ombros de gigantes!*

*Isaac Newton*

*A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.*

*John Ruskin*



## RESUMO

HASKEL, Maiara Karini. Atributos físicos do solo conduzido sob escarificação mecânica, biológica e plantio direto: influência na produtividade biológica das culturas. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

As áreas conduzidas sob plantio direto vêm enfrentando dificuldade relativa à camada compactada, interferindo no crescimento radicular de plantas, com ênfase em épocas com regime hídrico reduzido, limitando potencial produtivo de culturas anuais. Desta forma buscou-se avaliar práticas adotadas para mitigação da compactação do solo na região Sudoeste do Paraná, por interferência mecânica e de forma biológica, com uso de plantas de cobertura, e os respectivos efeitos dos manejos sobre atributos de solo, plantas de cobertura e cultura do milho. O experimento foi implantado na área experimental da UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, em 2015, sendo composto por 5 sistemas de preparo do solo: PD- plantio direto; PDEa- Plantio direto escarificado anualmente; PDEi- Plantio direto escarificado com intervalo de 3 anos; PDPMa- Plantio direto com preparo mínimo anualmente; PDPMi- Plantio direto com preparo mínimo com intervalo de 3 anos. Os preparos PDE utiliza um pé-de-pato convencional, enquanto o PDPM utilizava um escarificador com maior espaçamento entre hastes e rolo destorroador, sendo executados antecedendo as culturas de cobertura. As plantas de cobertura utilizadas em sucessão à cultura do milho são: aveia, ervilhaca comum, nabo forrageiro e consórcio das 3 espécies, compondo um experimento fatorial 5x4, conduzido em blocos ao acaso, com três repetições. Como parâmetros para determinar as alterações ocasionadas pelo primeiro ciclo do experimento, e posterior retorno dos preparos nas áreas com intervalo, foi avaliado a Densidade (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Resistência do solo à penetração de raízes (RP) ao longo de duas safras agrícolas, Infiltração de água no solo, taxa de cobertura do solo por planta de cobertura, palhada e solo exposto após os preparos, produção de matéria seca (MS) de plantas de cobertura, Teor de carbono (C) e Nitrogênio (N) de tecido vegetal das plantas de cobertura, produção de MS e produtividade da cultura do milho. Os preparos do solo e as plantas de cobertura não influenciaram nas variáveis Ds, Ma, Mi, Pt, no entanto a escarificação do solo se mostrou eficiente na redução da RP da camada de 0,10-0,20 m, quando comparada ao PD. Para infiltração de água no solo a área conduzida pelo PDPMa proporcionou infiltração estável de cerca de 360 mm h<sup>-1</sup>, enquanto os demais preparos apresentaram infiltração inferior a 90 mm h<sup>-1</sup>. Para a variável taxa de cobertura do solo houve interação significativa entre os preparos do solo e as plantas de cobertura, de forma que os preparos do solo apresentaram maior exposição de solo, devido a incorporação da palhada, enquanto a aveia e o nabo se destacaram entre as plantas pela cobertura do solo por plantas e pela maior produção de MS. A produção de MS e produtividade da cultura do milho e do trigo mourisco não foram alterados pelos manejos de solo e uso de plantas de cobertura, tendo média de produtividade da cultura do trigo mourisco de 0,93 Mg ha<sup>-1</sup> e do milho de cerca de 10,3 e 8,7 Mg ha<sup>-1</sup> para a safra 2018/2019 e 2019/2020. Os preparos do solo influenciaram na RP e infiltração de água no solo, porém não influenciaram no desempenho produtivo de plantas.

**Palavras-chave:** Física do solo, *Zea mays*, escarificação.

## ABSTRACT

HASKEL, Maiara Karini. Physical attributes of soil conducted under mechanical, biological and direct planting: influence on the biological productivity of cultures. 78 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Agricultural Production Systems), Federal University of Technology. Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2019.

The areas conducted under no-tillage have been facing difficulties related to the compacted layer, interfering in the root growth of plants, with emphasis on times with reduced water regime, limiting the productive potential of annual crops. In this way, we sought to evaluate practices adopted to mitigate soil compaction in the Southwest region of Paraná, by mechanical and biological interference, using cover crops, and the respective effects of management on soil attributes, cover crops and corn crop. The experiment was implemented in the UTFPR experimental area, Câmpus Dois Vizinhos, in 2015, consisting of 5 soil tillage systems: PD - no-tillage; PDEa- No-tillage scarified annually; PDEi- Scarified no-tillage with 3-year interval; PDPMa- No-tillage with minimum preparation annually; PDPMi- No-tillage with minimum tillage with a 3-year interval. The PDE preparations use a conventional fin, while the PDPM used a scarifier with greater spacing between rods and a breaker roller, being performed before the cover crops. The cover plants used in succession to the corn crop are: oats, common vetch, forage turnip and consortium of the 3 species, composing a 5x4 factorial experiment, conducted in random blocks, with three replications. Density (Ds), Total porosity (Pt), Macroporosity (Ma), Microporosity (Mi), Soil resistance were evaluated as parameters to determine the changes caused by the first cycle of the experiment and subsequent return of the preparations in the areas with intervals. root penetration (RP) over two agricultural harvests, water infiltration in the soil, soil cover rate per cover plant, straw and exposed soil after preparation, production of dry matter (MS) from cover plants, Carbon (C) and Nitrogen (N) content of plant tissue in cover crops, MS production and corn crop productivity. Soil preparation and cover crops did not influence the variables Ds, Ma, Mi, Pt, however soil scarification was efficient in reducing the PR of the 0.10-0.20 m layer, when compared to the PD. For water infiltration in the soil, the area conducted by the PDPMa provided a stable infiltration of about 360 mm h<sup>-1</sup>, while the other preparations showed infiltration below 90 mm h<sup>-1</sup>. For the variable soil cover rate, there was a significant interaction between soil tillage and cover plants, so that soil tillage showed greater soil exposure due to the incorporation of straw, while oats and turnip stood out among plants for soil cover by plants and for higher MS production. MS production and corn and buckwheat yield were not affected by soil management and cover crops, with an average yield of buckwheat crop of 0.93 Mg ha<sup>-1</sup> and about corn 10,3 and 8,7 Mg ha<sup>-1</sup> for the 2018/2019 and 2019/2020 harvest. Soil preparation influenced the RP and water infiltration in the soil, but did not influence the productive performance of the plants.

**Keywords:** Soil physics, *Zea mays*, scarification.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco- PR, 2020. ....29
- Figura 2** –Macroporosidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco-PR, 2020. ....31
- Figura 3** – Microporosidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020. ....33
- Figura 4** – Porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020. ....34
- Figura 5** – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) aos 34 (a), 37 (b), 40 (c) meses de condução do experimento, referente ao ano de 2018. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....37
- Figura 6** – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) aos 48 (a), 49 (b) e 53 (c) meses de condução do experimento, referente ao ano de 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....39
- Figura 7** – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) no decorrer nos meses de condução do experimento nos diferentes preparos do solo: PD (a); PDEa (b); PDEi (c); PDPMa (d); PDPMi (e). UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....41
- Figura 8** – Infiltração acumulada de água no solo em mm (a) e taxa de infiltração de água no solo  $\text{mm h}^{-1}$  (b), realizada após 36 meses de implantação do experimento antecedendo os processos mecânicos na área. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2020. ....43
- Figura 9** – Precipitação pluvial (mm) mensal durante o período de condução de plantas de cobertura e cultura do milho, referente ao ano de 2018 e 2019, em Dois Vizinhos. UTFPR, Câmpus Pato Branco-PR, 2020. ....48

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Datas de avaliação de resistência mecânica do solo à penetração (RP) e distribuição das avaliações no ano safra. UTFPR, Pato Branco- PR, 2020. ....	26
<b>Tabela 2</b> – Umidade gravimétrica do solo no momento da avaliação de RP nos diferentes preparos de solo, na camada 0,00 – 0,20 e 0,20- 0,40 m de profundidade. UTFPR, Pato Branco- PR, 2020. ....	35
<b>Tabela 3</b> – Taxa de infiltração estável (TIE) de água no solo aos 120 minutos de avaliação em 5 preparos do solo. Pato Branco, 2020. ....	45
<b>Tabela 4</b> – Taxa de cobertura do solo por palhada (%) em área com preparos do solo e plantas de cobertura, aos 15, 30, 53 e 67 DAS de plantas de cobertura em 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....	52
<b>Tabela 5</b> – Taxa de cobertura do solo por planta (%) em área com preparos do solo e plantas de cobertura, aos 15, 30, 53 e 67 DAS de plantas de cobertura em 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....	53
<b>Tabela 6</b> – Percentual de solo exposto em área com preparos do solo e plantas de cobertura, aos 15, 30, 53 e 67 DAS de plantas de cobertura em 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....	55
<b>Tabela 7</b> – Produção de matéria seca (MS) ( $Mg\ ha^{-1}$ ) de plantas de cobertura de inverno, conduzidas em sucessão a cultura do milho e sob diferentes preparos do solo, no ano de 2018 e 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020. ....	56
<b>Tabela 8</b> – Quantidade de Carbono orgânico (C), referente ao ano de 2018 e 2019, Nitrogênio total (N), relação C:N e acúmulo de N referente ao ano de 2019, de plantas de cobertura conduzidas em preparos do solo e em sucessão a cultura do milho. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020. ....	59
<b>Tabela 9</b> – Produção de matéria seca (MS) ( $Mg,ha^{-1}$ ) e produtividade ( $Mg,ha^{-1}$ ) de trigo mourisco na entre-safra milho e plantas de cobertura na safra 2018/2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020. ....	62
<b>Tabela 10</b> – Desdobramento dos dados (população de plantas, matéria seca de milho em estágio de pendoamento (MS) e produtividade de grãos com umidade ajustada a 13%) da cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura e preparos do solo na safra 2018/2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020. ....	63
<b>Tabela 11</b> – Desdobramento dos dados (população de plantas, matéria seca de milho em estágio de pendoamento (MS) e produtividade de grãos com umidade ajustada a 13%) da cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura e preparos do solo na safra 2019/2020. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020. ....	64

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

C	Carbono
CO	Carbono Orgânico
MOS	Matéria orgânica do solo
PD	Plantio direto
PDE	Plantio direto escarificado
PDPM	Plantio direto com preparo mínimo
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
N	Nitrogênio
P	Fósforo
RP	Resistência do solo a penetração
MS	Matéria Seca
SEAD	Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento
CONAB	Companhia Nacional do Abastecimento
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PR	Unidade de Federação - Paraná
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e Irrigação
C:N	Relação Carbono: Nitrogênio
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Manejo do solo.....	16
2.2 Plantas de cobertura.....	18
2.3 Cultura do milho e trigo mourisco .....	20
<b>3 ASSUNTO ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB PREPAROS E USO DE PLANTAS DE COBERTURA.....</b>	<b>22</b>
3.1 Introdução ao assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura .....	22
3.2 Procedimentos metodológicos do assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura .....	23
3.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	23
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	23
3.2.3 Parâmetros avaliados .....	25
3.2.4 Análises estatísticas .....	27
3.3.1 Densidade e Porosidade do solo.....	27
3.3.2 Resistência do solo à penetração.....	35
3.3.3 Infiltração de água no solo.....	42
3.4 Conclusões sobre o assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura.....	46
<b>4 ASSUNTO PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE PLANTAS E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DE MILHO.....</b>	<b>47</b>
4.1 Introdução ao assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho .....	47
4.2 Procedimentos metodológicos do assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho .....	48
4.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	48
4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	48
4.2.3 Parâmetros avaliados .....	49
4.2.4 Análises estatísticas .....	51
4.3 Resultados e discussões referentes ao assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho .....	51

4.3.1 Taxa de cobertura do solo .....	51
3.3.2 Matéria seca (MS) de plantas de cobertura.....	56
4.3.3 Carbono (C) e Nitrogênio (N) de tecido de plantas de cobertura .....	58
4.3.4 Trigo mourisco na entre-safra milho e plantas de cobertura.....	61
4.3.5 Cultura do milho.....	62
4.4 Conclusões sobre o assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho .....	65
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
APÊNDICE A – Equipamento e solo após a escarificação com Jumbo na UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....	77
APÊNDICE B – Equipamento e solo após a escarificação com Terrus na UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....	78

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho (*Zea mays*), apenas atrás dos Estados Unidos e da China em produção. Segundo dados da CONAB (2018) na safra 2017/2018 a produção de milho brasileira foi de 82,9 milhões de toneladas de grãos em uma área cultivada de 16,7 milhões de ha, desempenhando elevada importância econômica, tanto para exportação de grãos, quanto para utilização interna, principalmente por ser maior componente da alimentação animal de grandes cadeias produtivas, como de aves, suínos e bovinos. Contudo, alguns fatores limitantes podem reduzir desenvolvimento e produtividade da cultura, como a degradação do solo, caracterizada pela redução da fertilidade e atividade biológica no solo, além de limitantes físicos do solo, tendo como principal responsável para esse efeito, à compactação do solo.

A compactação é definida pela mudança na relação entre massa e volume do solo, devido a práticas antrópicas inadequadas, provocando o aumento da densidade e da resistência do solo a penetração de raízes, redução do espaço poroso e da infiltração de água no solo (CURI et al., 1993). Ocorrente em áreas cultivadas com manejo indevido do solo, monocultivos associados com pouca adição de cobertura, tráfego de máquinas excessivo, agravado pelo tráfego com elevada umidade do solo. Por conta disso, para solução dessa problemática, vem ocorrendo adoção de práticas como o uso plantas de cobertura, como escarificador biológico do solo, ou efetuado a escarificação mecânica.

A escarificação mecânica do solo possui objetivo de elevar a porosidade e a taxa de infiltração de água no solo, reduzindo a densidade e a resistência do solo à penetração, pela ruptura do solo provocadas pela haste dos equipamentos, com resultado imediato após a operação nos aspectos físicos do solo. Porém os efeitos dessa prática são temporários e o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original, exigindo a repetição da operação regularmente, além do gasto de energia e tempo para a realização da prática (GIRARDELLO et al., 2011).

Alternativamente, pode ser realizada a descompactação do solo de maneira biológica, de preferência com o uso de plantas que possuem sistema radicular agressivo e bem desenvolvido, com capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis, com fluxo de água, ar e possível crescimento radicular da cultura sucessora, melhorando a estrutura do solo. Essa prática deve ser adotada pensando em manejo da área



ao longo do tempo, melhorando os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo.

Além disso, as plantas de cobertura propiciam aporte de matéria seca (MS) ao solo, sendo uma barreira física aos impactos da gota de chuva, manutenção da umidade do solo, adição de nutrientes pela sua decomposição, em que algumas espécies possuem capacidade de fixação biológica de N, como é o caso da ervilhaca, e outras com capacidade de ciclagem de nutrientes do solo, como nabo forrageiro. No entanto, o uso de plantas de cobertura hibernais é restrito na região sudoeste do Paraná, desta forma busca-se incrementar o uso de forma consorciada ou isolada para melhorar o funcionamento do sistema produtivo.

Assim o presente trabalho objetivou avaliar a influência dos preparos do solo e o uso de plantas de cobertura nos atributos físicos do solo e a persistência dos efeitos de preparo no solo. Também avaliou a taxa de infiltração de água e a influência dos manejos do solo no desempenho das plantas de cobertura e da cultura do milho, após 36 meses de condução do experimento, coincidindo ao final do primeiro ciclo completo do experimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manejo do solo

A agricultura brasileira evoluiu a partir de 1950, baseada na adoção de tecnologias européias trazidas por imigrantes para abertura de áreas agrícolas produtivas no sul do país, sendo utilizados implementos pesados, como arado de disco e grades para revolvimento do solo e exposição do mesmo aos raios solares da primavera com intuito de semeadura no verão, prática necessária em solos de clima temperado (DEBIASI et al., 2013).

O uso destes implementos visava a incorporação da biomassa, de fertilizantes e corretivos, bem como o controle de daninhas. Constantemente tais técnicas eram precedidas da queima da biomassa, com a finalidade de facilitar o manejo de máquinas. O sistema de plantio convencional (PC) mobilizava intensivamente o solo, normalmente degradando-o pela redução de sua cobertura, estoque de matéria orgânica, fertilidade e microorganismos do solo, provocando a desestruturação de agregados, a compactação do solo em sub-superfície, agravando os processos erosivos e, conseqüentemente reduzindo a produtividade de culturas (ARGENTON et al., 2005).

Devido aos problemas ambientais e econômicos constantes, ocasionados pelo revolvimento do solo nos sistemas de PC, tais como a grande exposição do solo às chuvas e sua compactação nas camadas subsuperficiais (pé de arado, pé de grade), que conseqüentemente reduziam a capacidade de infiltração da água no solo e que acarretavam grandes perdas de solo por erosão (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012), tornou-se necessário avançar para um novo sistema, propício a incrementar a produtividade e a qualidade do solo.

O plantio direto (PD) teve origem na Inglaterra em 1955, objetivando auxiliar no controle de erosão hídrica (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008), porém sua expansão e consolidação foi, de fato, nos Estados Unidos (EUA), de forma que em 1973, os EUA e Canadá, cultivavam cerca de 430000 hectares em plantio direto (LANDERS, 2005). O sistema possui como pressupostos básicos o mínimo revolvimento do solo, a rotação de culturas e elevada e constante deposição de palhada sobre o solo, mantendo a cobertura do solo com resíduos vegetais, sendo que estes fatores são responsáveis pela construção

gradativa da qualidade do solo, tanto química, física e biológica (GATIBONI et al., 2009).

No Brasil o primeiro estabelecimento do PD ocorreu em 1972, no estado do Paraná, no município de Rolândia, situado ao norte do estado, pelo produtor Herbert Bartz (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Posteriormente o sistema passou a ser utilizado em Cornélio Procópio e na região de Campo Mourão, sendo ampliado para as regiões dos Campos Gerais, do estado do Paraná e do Brasil, consolidando a adoção deste novo sistema de conservação do solo e incremento de produtividade (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008).

Contudo, à ausência de rotação de culturas, associado ao tráfego intenso de máquinas, principalmente quando o solo está com o teor de umidade elevado, ocasionando a formação de camadas compactadas no solo conduzidos em plantio direto (LOPES et al., 2011; FRANCHINI et al., 2012). A compactação em PD se torna um empecilho do sistema produtivo, pois ocorre com maior intensidade nas camadas de 0,10-0,20 m de profundidade, sendo predominante em solos argilosos, com pouca adição de palhada sobre o solo (CAMARA; KLEIN, 2005).

A compactação do solo é definida pela alteração na estrutura física do solo, reduzindo espaço interno poroso, ocupado por água e ar (REICHERT et al., 2010). Provocando aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração e redução da porosidade, interferindo na infiltração e disponibilidade de água no perfil do solo (REICHERT et al., 2011).

A escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar a compactação do solo em áreas de PD consolidado, com o objetivo de melhorar as qualidades físicas, bem como aumento da porosidade e da infiltração de água no solo, reduzindo danos por erosão. No entanto, acelera o processo de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) e possui efeito temporário, de modo que o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original, exigindo a repetição da operação regularmente (BUSSCHER et al., 2002; MAHL et al., 2008; GIRARDELLO et al., 2011).

Os efeitos da escarificação do solo podem ser intensificados ou retardados dependendo dos fatores que controlam a reconsolidação e resiliência do solo, como a precipitação, ciclos de umedecimento e secagem, cultura utilizada e tráfegos ocorrentes de imediato após escarificação do solo (DRESCHER et al., 2016). Os processos de reconsolidação do solo ocorrem com maior intensidade em condições de precipitação

elevada e regular (SILVA et al., 2012).

## 2.2 Plantas de cobertura

Considerando que a rotação de culturas é um pressuposto básico para o PD, o máximo incremento de cobertura no solo através das plantas de cobertura passou a ter maior destaque, devido principalmente, aos seus benefícios proporcionados em relação ao controle da erosão hídrica e melhoria dos atributos de qualidade do solo (TRABUCO, 2008).

O principal objetivo da utilização de plantas de cobertura é melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo, devido à ciclagem de nutrientes, adição de palhada, proteção do solo contra erosão, opção de rotação de cultura, exploração agressiva do solo pelas raízes, dependendo da planta utilizada, fixação do nitrogênio atmosférico, no caso de leguminosas, e diminuição de ocorrência de plantas daninhas na área, em função do efeito supressor e/ou alelopático (DUARTE JUNIOR; COELHO, 2008).

A utilização de sistemas diversificados, incluindo o uso de plantas de cobertura, é essencial para a melhoria da qualidade do solo, principalmente em áreas de monocultivo em plantio direto, devido ao aumento da biomassa microbiana, armazenamento e fluxos de água no solo e fornecimento de nutrientes para as plantas. Além disso, é considerada uma forma sustentável para mitigar mudanças climáticas (FRASIER et al., 2016), devido a capacidade de promover a elevação do estoque de carbono orgânico do solo, se tornando uma prática ambientalmente e economicamente viável a longo prazo (POEPLAU; DON, 2015).

Para melhoria das características físicas do solo, com maior ênfase na redução da compactação do solo, destaca-se o nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), com capacidade de formar bioporos naturais e rompimento de camadas compactadas no solo (DERPSCH; CALEGARI, 1992; BURLE et al., 2006). Por outro lado, a cultura hibernal de maior uso é a aveia preta (*Avena strigosa Schreb.*), que possui sistema radicular fasciculado, melhorando a agregação do solo e possui elevada produção de biomassa em cobertura. Dentre as leguminosas, a Ervilhaca Comum (*Vicia sativa L.*) possui raízes profundas e ramificadas e proporciona aporte de nitrogênio (N) para cultura sucessora, podendo compor também sistema produtivo eficiente para a cultura do milho.

O uso de plantas de cobertura é uma prática antiga realizada inicialmente pelos

Chineses, há cerca de 3000 anos, posteriormente adotada pelos gregos e romanos com intuito de melhoria das características do solo e incrementar a produção de culturas sucessoras (PIETERS, 1927 apud NEGRINI, 2007). A utilização de plantas de cobertura se torna uma alternativa essencial para rotação e sucessão de culturas, sendo preconizado o uso de espécies de forma isolada ou consorciada.

A Aveia Preta (*Avena strigosa Schreb*) é utilizada de forma geral a alimentação animal, como forrageira para pastagem, silagem, feno e grãos, além de ser utilizada como planta de cobertura, devido a rápida cobertura do solo e elevada produção de palhada (BURLE et al., 2006). Por apresentar um sistema radicular fasciculado e em abundância, a aveia possui característica de melhorar a estrutura de agregados no solo, elevada produção de matéria seca (MS) para cobertura do solo (cerca de 2 a 6 Mg ha<sup>-1</sup>), onde 55% da produção total de MS abrange o sistema radicular, promovendo assim melhorias nas condições físicas e biológicas do solo (DERPSCH; CALEGARI, 1985).

A Ervilhaca Comum (*Vicia sativa L.*) possui raízes profundas e ramificadas, sendo recomendada antecedendo a cultura do milho, devido ao elevado aporte de N pela leguminosa (SANTOS et al., 2012), que pode ser de 46 kg de N por tonelada de massa seca da parte aérea da ervilhaca, podendo atingir 2 a 3 Mg ha<sup>-1</sup> de rendimento de MS (BOLLIGER et al., 2006).

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) se destaca por possuir ciclo curto, sistema radicular pivotante e profundo, com capacidade de formação de bioporos naturais, para percolação de água, crescimento radicular da cultura subsequente, rompimento de camadas compactadas, eficiente na ciclagem de nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), aumentando assim a disponibilidades de nutrientes no solo para a cultura sucessora (BURLE et al., 2006).

O consórcio entre plantas de cobertura pode ser utilizado para favorecer distintas características do solo, tanto químicas, biológicas ou físicas, sendo que as espécies utilizadas podem apresentar diferentes características fisiológicas e desenvolvimento radicular. Em estudo realizado por Cherubin et al. (2014) observou-se que a cultura do milho cultivada em sucessão a ervilhaca isolada e aos consórcios aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca, sem adição de fertilizantes nitrogenados, apresentaram elevação na produtividade de grãos de culturas comerciais, tornando-se uma opção para reduzir custos, aumentar a produtividade das culturas e melhorar as características do solo.

O principal objetivo do uso de plantas de cobertura é o aporte de cobertura vegetal sobre o solo e incremento de nutrientes para culturas sucessoras (MARCELO et al., 2009), além disso a palhada é responsável pela manutenção da umidade, redução da temperatura, barreira física ao solo aos impactos de gotas de chuva, evitando perdas de solo e nutrientes, e minimização de pressões dos rodados no tráfego de máquinas (REICHERT et al., 2010).

### 2.3 Cultura do milho e trigo mourisco

O trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) é utilizado para produção de grãos, forragem e como planta de cobertura, tendo fácil adaptabilidade a diferentes condições. É uma cultura anual de ciclo curto quando comparada a demais leguminosas utilizadas como planta de cobertura, além de elevada rusticidade, tolerante a solos ácidos, capacidade de utilização de fósforo e potássio, pouco solúveis no solo, e mobilização de Nitrogênio (FERREIRA, 2012; GORGEN, 2013).

O milho (*Zea mays*) é um dos cereais mais cultivado e consumido mundialmente, devido a diversificação do uso, para alimentação humana, animal e na utilização industrial de elevada tecnologia (SEAB/DERAL, 2014). Em cenário mundial, os Estados Unidos é o maior produtor (36% da produção mundial), seguido da China e do Brasil, com respectivamente, 21% e 9% da produção mundial do cereal (USDA, 2017).

Segundo dados da CONAB (2019), a produção brasileira na safra 2018/2019, alcançou produção de cerca de 99,9 milhões de toneladas de grãos de milho em uma área total de 17,5 milhões de ha, considerando milho de primeira e segunda safra. O estado com maior produção nacional é o Mato Grosso, com produção de 31,3 milhões de toneladas, em uma área de 4,9 milhões de ha cultivados, em seguida temos o Paraná, com produção de 16,7 milhões de toneladas de milho, em uma área total de 2,6 milhões de ha, durante a safra 2018/2019.

A exportação brasileira do cereal é liderada pelo estado do Mato Grosso, com participação de 65,6 % em exportação de 2014-2016, em seguida o estado de Goiás com 10,2 %, e em terceiro lugar o Paraná com participação de 8,4 % da exportação nacional, o que representa no estado do Paraná, somente em 2016, 1,8 milhões de toneladas de milho

(SEAB;DERAL, 2017). A exportação do cereal, produzido no Paraná, tem como principais destinos o Vietnã (22,3%), o Japão (17,3%), o Irã (10,7%), a Coréia do Sul (7,8 %) , o Taiwan (7,7%) e demais países em menores proporções. (USDA, 2017).

Cerca de 80% da produção Paranaense de milho é destinada a atividades pecuárias, principalmente para a cadeia avícola do estado, também tendo grande importância na suinocultura e na b ovinocultura de leite, sendo que a região Sudoeste do Paraná se encontra dentro da Bacia leiteira do estado, de forma que o milho é fornecido aos animais tanto como componente da ração quanto na forma de silagem (SEAB/DERAL, 2012). A alta demanda do cereal no mercado exige aumento na produtividade da cultura, sendo que a fertilidade e a compactação do solo são fatores limitantes em grande parte das áreas cultivadas, dessa forma o manejo adotado nas áreas cultivadas pode reduzir ou enfatizar a problemática.

### **3 ASSUNTO ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB PREPAROS E USO DE PLANTAS DE COBERTURA**

#### **3.1 Introdução ao assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura**

A intensificação do uso de máquinas para atender a demanda de produção de alimentos a população crescente, o peso das máquinas agrícolas aumentou de forma constante, levando a processos de compactação do solo mais graves (BERISSO et al., 2012).

Atualmente grande parte das áreas são cultivadas em plantio direto no Brasil, com cerca de 32 milhões de ha (FEBRAPDP, 2019), empregadas a produção elevado nível tecnológico, em material genético, produtos fitossanitários e adubação, porém grande parte dessas áreas apresenta limitação física em subsuperfície, problemática ocorrida devido ao manejo adotado no plantio direto (PD): ausência de rotação de culturas, pouca biomassa sobre a superfície e tráfego intenso de máquinas.

Em solos compactados, o crescimento do sistema radicular das plantas é limitado, concentrando-se próximo a superfície, dificultando a absorção de água e nutrientes pela planta (STRECK et al., 2004), de forma que a planta tolere por um menor período situações de déficit hídrico, em comparação com plantas com sistema radicular adequado, reduzindo seu potencial produtivo, sendo empregadas nas áreas a escarificação mecânica do solo para reduzir suas limitações. Os preparos mecânicos do solo alteram a dinâmica de perfil do solo na microbiota, matéria orgânica, física e fluxos de água, em função disso pode-se alterar o comportamento resposta de plantas devido o manejo de solo adotado.

A escarificação mecânica e biológica do solo, através do uso de sistema radicular de plantas, vêm sido sugeridas para melhoria da qualidade física do solo. Os processos mecânicos possuem resultado imediato após o manejo e visam o aumento da infiltração de água no solo e porosidade, redução da resistência do solo a penetração e da densidade do solo, porém possuem características de exposição do solo e pode acelerar os processos de mineralização da matéria orgânica do solo.

A descompactação biológica do solo é realizada com o uso de plantas no sistema, podendo ser destacado o uso de plantas de cobertura de forma isolada ou consorciada, que a longo prazo podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo dependendo da espécie utilizada.



O PD contribui para estratificação física de camadas do solo até cerca de 0,30 m de profundidade, principalmente em camadas superficiais, até 0,05 m, a qual geralmente apresenta maior volume de poros resultantes de maior presença de raízes, ação de hastes sulcadoras de semeadoras e maior teor de material orgânico, dificultando a formação de camadas compactadas superficialmente (NUNES et al., 2014). Baseado no exposto, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos dos preparos do solo e do uso de plantas de cobertura nos atributos físicos do solo em uma área sob PD de milho após 36 meses de implantação até 0,40m de profundidade.

### 3.2 Procedimentos metodológicos do assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura

#### 3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, no sudoeste do Paraná, situado em latitude sul de 25° 42' 52" e longitude oeste de 53° 03' 94", a 520 metros acima do nível do mar. O clima da região, segundo classificação Köppen é do tipo Cfa (subtropical úmido) sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais quente de 22°C (ALVARES et al., 2013), com precipitações anuais de 2010,06 mm por ano (VIEIRA, et al., 2018). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho (CABREIRA, 2015).

O experimento foi implantado na área em maio de 2015 com preparo do solo e utilização de plantas de cobertura em sucessão a cultura do milho. Anteriormente ao experimento, o solo era utilizado para produção agrícola da cultura da soja no verão e conduzida sob plantio direto desde 2007.

#### 3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento consiste em cinco sistemas de preparo do solo e quatro espécies de culturas de cobertura de inverno em sucessão a cultura do milho, tendo sido implantado no ano agrícola de 2015 constando originalmente dos sistemas de preparo:

plantio direto (PD) sem revolvimento do solo; plantio direto escarificado (PDE) com escarificação de até 0,40 m de profundidade da superfície; e plantio direto com preparo mínimo (PDPM) com área escarificada de até 0,50 m de profundidade.

No PDE utiliza-se, para escarificação da área, o implemento Jumbo, da marca Jan, com 5 hastes, com espaçamento entre si de 0,40m, revolvendo solo em até 0,40 m de profundidade, mobilizando e expondo o solo com maior intensidade (Apêndice A). Enquanto o PDPM utiliza o escarificador da marca Terrus, que possui 4 hastes, espaçadas entre si a 0,70 m, com presença de rolo destorroador e a escarificação atinge até 0,50 m de profundidade no solo, mantendo a cobertura do solo com palhada (Apêndice B).

Após o primeiro ano de escarificação (2015) o experimento foi subdividido nas áreas escarificadas, mantendo assim parte dela escarificada com intervalo de 3 anos e outra parte escarificada anualmente, tanto para PDE, quanto para PDPM. Assim, foram constituídos os seguintes tratamentos de preparo:

- 1) Plantio direto (PD);
- 2) Plantio direto escarificado com intervalo de 3 anos (PDEi);
- 3) Plantio direto escarificado anualmente (PDEa);
- 4) Plantio direto sob preparo mínimo com intervalo de 3 anos (PDPMi)
- 5) Plantio direto sob preparo mínimo anualmente (PDPMa);

As plantas de cobertura são implantadas em maio, posterior a realização dos preparos do solo. São utilizadas como plantas de cobertura e densidade de semeadura:

1. Aveia Preta – (*Avena strigosa Schreb*) 90 kg ha<sup>-1</sup>;
2. Ervilhaca Comum – (*Vicia sativa L.*) 40 kg ha<sup>-1</sup>;
3. Nabo Forrageiro – (*Raphanus sativus L.*) 15 kg ha<sup>-1</sup>;
4. Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) - 60 + 30 + 10 kg ha<sup>-1</sup>.

Os preparos do solo foram realizados antecedendo a semeadura das plantas de cobertura, em maio de 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019 para os preparos anuais, e para os preparos com intervalo de 3 anos eles ocorreram em maio de 2015, com retorno da escarificação em maio de 2018, período de fechamento do primeiro ciclo do experimento. As escarificações nos anos avaliados ocorreram em 10/05/2018 e 17/05/2019.

Na entre-safra da cultura do milho e das plantas de cobertura na safra 2018/2019 foi implementada na área a cultura do trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) devido o intervalo de tempo gerado pelas culturas.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições, cada parcela possui medidas de 5x8 m, totalizando 40m<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Parâmetros avaliados

Os parâmetros físicos avaliados no solo foram: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), taxa de infiltração de água no solo, resistência do solo à penetração (RP). As determinações de Ds, Ma, Mi, Pt e infiltração de água no solo ocorreram após 36 meses de condução do experimento, antecedendo os preparos de solo de 2018, correspondendo a 3 preparos nos tratamentos anuais, a 1 preparo nos tratamentos com intervalo e a ausência de preparos no PD. O intervalo de escarificação e avaliação foi de 12 meses e 36 meses, para os preparos anuais e com intervalo de 3 anos, respectivamente.

A coleta de solo para determinação dos atributos físicos do solo foi realizada aos 36 meses de condução do experimento, em 30 de maio de 2018, no período de fechamento do primeiro ciclo do experimento e posterior retorno da escarificação das parcelas com intervalo de 3 anos. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em todos os tratamentos, antecedendo a escarificação do solo.

As avaliações de Ds, Ma, Mi, Pt e umidade foram determinadas por meio de amostras de solo indeformadas, coletadas com anéis metálicos, com bordas cortantes e volume conhecido (0,03 m de altura e 0,061 m de diâmetro), seguindo metodologia da mesa de tensão, descrita pela Embrapa (2011). Sendo os cálculos realizados utilizando as seguintes fórmulas:

- Densidade do solo (Ds) =  $Mg \text{ m}^{-3}$

$$Ds = Mss / Vc$$

Sendo: Mss = massa de solo seco em estufa a 105° C (gramas), e Vc = volume do cilindro (cm<sup>3</sup>).

- Macroporosidade (Ma) =  $(\text{m}^3 \text{ m}^{-3})$

$$Ma = (Mssat - Ms60) / Vc$$

Onde: Mssat = massa de solo saturado (gramas), e Ms60 = massa do solo após 48 horas na mesa de tensão a uma sucção de 60 cm de altura de coluna de água (gramas). Vc

= volume do cilindro (cm<sup>3</sup>).

- Microporosidade (Mi)= (m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>)

$$Mi = (Ms60 - Mss) / Vc$$

Sendo: Ms60 = massa do solo após 48 horas na mesa de tensão a uma sucção de 60 cm de altura de coluna de água (gramas); Mss = massa de solo seco em estufa a 105° C por 24 horas, e Vc = volume do cilindro (cm<sup>3</sup>).

- Porosidade Total (Pt)= (m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>)

$$Pt = Ma + Mi$$

A realização da determinação de resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi realizada quando o solo se encontrava próximo à capacidade de campo, utilizando um penetrômetro digital com armazenamento de dados, denominado de PenetroLOG da marca Falker®, com ponta cônica de 30° e com área do cone de 129 mm<sup>2</sup>, segundo normas ASAE S313.3. As observações foram realizadas a cada 0,01 m de profundidade até uma profundidade máxima de 0,40 m. Foram utilizadas as médias de 4 pontos de avaliação por parcela para diminuir a variabilidade da área.

As avaliações foram realizadas no decorrer de 2 anos de avaliação, totalizando seis avaliações (Tabela 1), sendo realizadas nos períodos de intervalo de ocorrências, correspondendo ao período antes e após os preparos do solo para a semeadura das plantas de cobertura e após a retirada das plantas de cobertura, antecedendo a semeadura da cultura do milho. As avaliações foram realizadas em diferentes períodos para observação das modificações ocorrentes no solo e seu período de persistência.

**Tabela 1** – Datas de avaliação de resistência mecânica do solo à penetração (RP) e distribuição das avaliações no ano safra. UTFPR, Pato Branco- PR, 2020.

Data da avaliação	Meses de condução	Período no ano safra
14/03/2018	34	Após cultura do milho, antecedendo preparos
18/06/2018	37	Após preparos do solo
24/09/2018	40	Após plantas de cobertura, antecedendo milho
08/05/2019	48	Após trigo mourisco, antecedendo preparos
05/06/2019	49	Após preparos do solo
30/10/2019	53	Após plantas de cobertura, durante safra milho

Fonte: autora 2019.

No momento da avaliação de RP foi coletada amostras de solo para determinação da umidade gravimétrica (g g<sup>-1</sup>), levadas a pesagem e posteriormente secas em

estufa de circulação forçada de ar, a 105°C, durante 72 horas para saber o volume de água no solo. A determinação da umidade foi realizada para as camadas 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade do solo.

A taxa de infiltração de água no solo foi determinada pelo método dos duplos cilindros concêntricos, segundo metodologia por Embrapa (1979). O medidor confeccionado é semelhante ao readaptado por Lanzanova (2005). No cilindro maior a lâmina de água é mantida manualmente, com 5 cm de altura. As leituras foram realizadas aos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos após o início do teste ou até estabilização da infiltração. A avaliação foi realizada no início de maio de 2018, após 36 meses de condução do experimento e antecedendo os preparos do solo, coincidindo com o período de fechamento do primeiro ciclo completo do experimento. Foram realizadas 9 repetições por tratamento, sendo que em todos os preparos do solo foi realizada a avaliação no tratamento de sucessão aveia/milho, a escolha da planta de cobertura utilizada em sucessão ao milho levou em consideração a planta mais utilizada regionalmente como planta de cobertura na região Sudoeste do Paraná.

#### 3.2.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Lilliefors), quando necessário, usado transformação adequada para normalidade de dados da variável, posteriormente a análise Bifatorial, e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software GENES (CRUZ, 2016).

### 3.3 Resultados e discussão referentes ao assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura

#### 3.3.1 Densidade e Porosidade do solo

Conforme a figura 1 (a-d) não houve diferença significativa para os valores de densidade do solo em todas as profundidades avaliadas, independente do preparo de solo

e da planta de cobertura utilizada em sucessão com milho aos 36 meses de condução do experimento, correspondendo ao intervalo de escarificação para os preparos anuais de 12 meses e de 36 meses para os preparos com intervalo. Corroborando com resultados encontrados em estudo realizado em um Latossolo Argiloso localizado no Oeste do Paraná, sujeito a manejo de escarificação com equipamento Terrus e plantio direto, não sendo verificada diferença nos valores de Ds em, cerca de, 10 meses após a escarificação (SEIDEL et al., 2018).

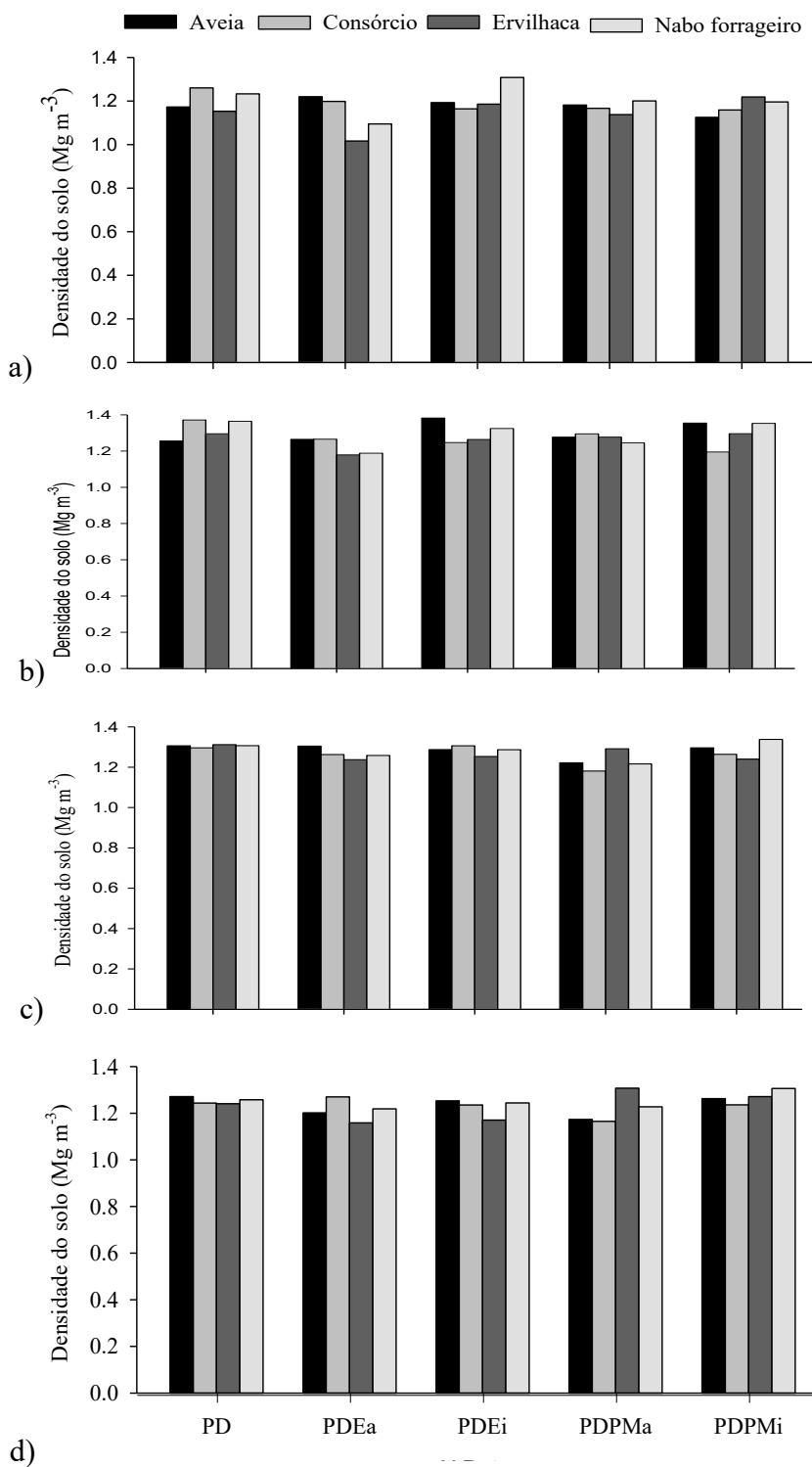
Corroborando com os dados obtidos, Michelin et al. (2019) não encontraram efeito significativo do uso de plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo, pelas variáveis Ds, Ma, Mi e Pt, após 3 anos de condução de planta de cobertura em consórcio e em semeadura isolada. Além disso a ausência de alterações nos atributos por plantas de cobertura foi verificada por Nicoloso et al. (2008) e Silveira Junior et al. (2012).

Reichert et al. (2003) determinaram que valores de Ds superiores a  $1.40 \text{ Mg m}^{-3}$  apresentam restrição para desenvolvimento radicular de culturas agrícolas, especificamente em solos argilosos, sendo que os valores encontrados foram, em todos os tratamentos e profundidades, inferiores ao mencionado. O maior valor absoluto apresentado de Ds do solo foi de  $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ , na profundidade de 0,05- 0,10 m, na área conduzida em sucessão aveia/milho em PDEi (Figura 1).

Em sistemas submetidos a revolvimento anual do solo a tendência é que ocorra compactação em camadas mais profundas e redução da mesma em superfície, o contrário ocorrendo em áreas conduzidas sob plantio direto (SILVA et al., 2012). Esse fato se relaciona a menor média Ds ter sido encontrado na profundidade 0,00 -0,05 m, de  $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto na camada 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-40 m os valores de Ds foram de 1,28, 1,27 e  $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente.

A camada 0,05-0,10 m apresentou um acréscimo de Ds em relação à camada superior para todos os sistemas de preparo e sucessão de plantas (Figura 2) exceto para sucessão milho/nabo forrageiro conduzido sob PDEi, que manteve o mesmo valor absoluto de Ds que a camada superior,  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ . A camada de 0,10-0,20 m apresentou valores similares à profundidade 0,05-0,10 m,  $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$ .

**Figura 1** – Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco- PR, 2020.



Fonte: autora, 2019. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Os dados não se diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade de erro.

Na camada 0,20-0,40 m o PDPMi apresentou Ds média de 1,27 Mg m<sup>-3</sup>, enquanto o PDPMa e o PD apresentaram 1,21 e 1,25 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente, demonstrando assim que o tempo de persistência dos efeitos é menor que 36 meses e que nos processos de reconsolidação do solo em camada mais profundas para esse tratamento, PDEMi, tende a apresentar valores superiores as áreas não escarificadas.

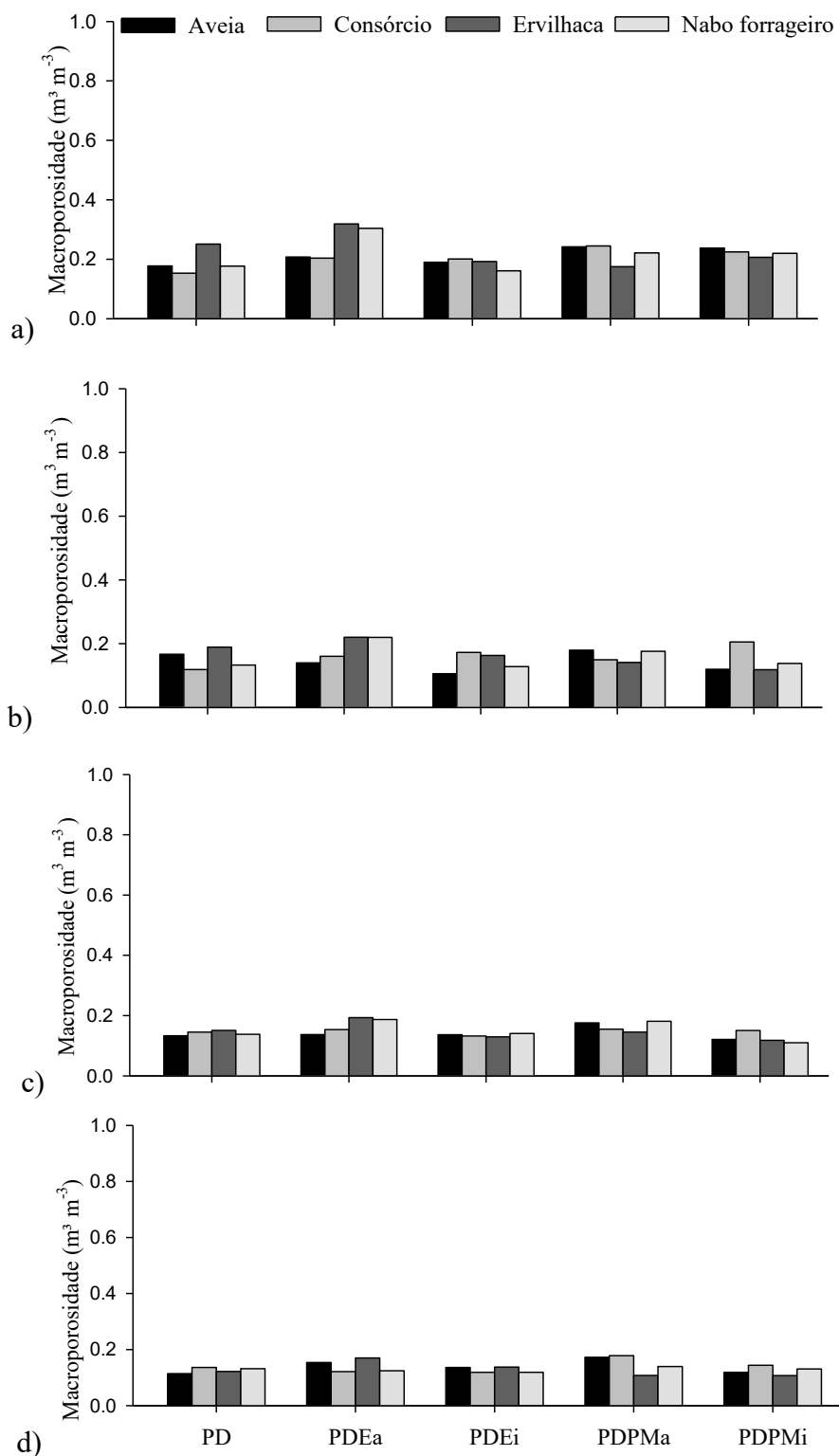
Ao avaliar-se tempo de persistência dos efeitos da escarificação em Latossolo Vermelho, Silva et. al (2012) observaram efeito imediato à escarificação na redução da Ds do solo, porém com efeitos nulos após 6 meses de realização dos processos em relação à área conduzida sob plantio direto, convergindo com os resultados obtidos 12 meses após escarificação do presente estudo.

Do mesmo modo que observado nos valores de Ds do solo, os preparos e as plantas de cobertura não influenciaram significativamente na Ma (Figura 2 a-d), na Mi (Figura 3 a-d), e conseqüentemente na porosidade total (Figura 4 a-d), demonstrando que independente da forma e da frequência de escarificação não se diferenciam para os aspectos de Ds e porosidade do solo em relação ao PD. Isso se deve possivelmente aos processos de reconsolidação do solo, sendo que a persistência dos efeitos do revolvimento é válida por alguns meses, posteriormente retornando as suas condições iniciais (DEBIASI et al., 2010), já que, as avaliações foram realizadas em um período após a escarificação (12 e 36 meses após a escarificação, conforme o intervalo estipulado no tratamento).

Drescher et al (2016) não observaram diferença significativa para as variáveis do solo de Ds, Ma, Mi e Pt em estudo comparando o PDPMi e área conduzida sob plantio direto aos 36 meses de condução sob Latossolo Vermelho distrófico típico, corroborando com os dados apresentados no presente trabalho.



**Figura 2** –Macroporosidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco- PR, 2020.



Fonte: autora, 2019. Onde PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Os dados não se diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade de erro.

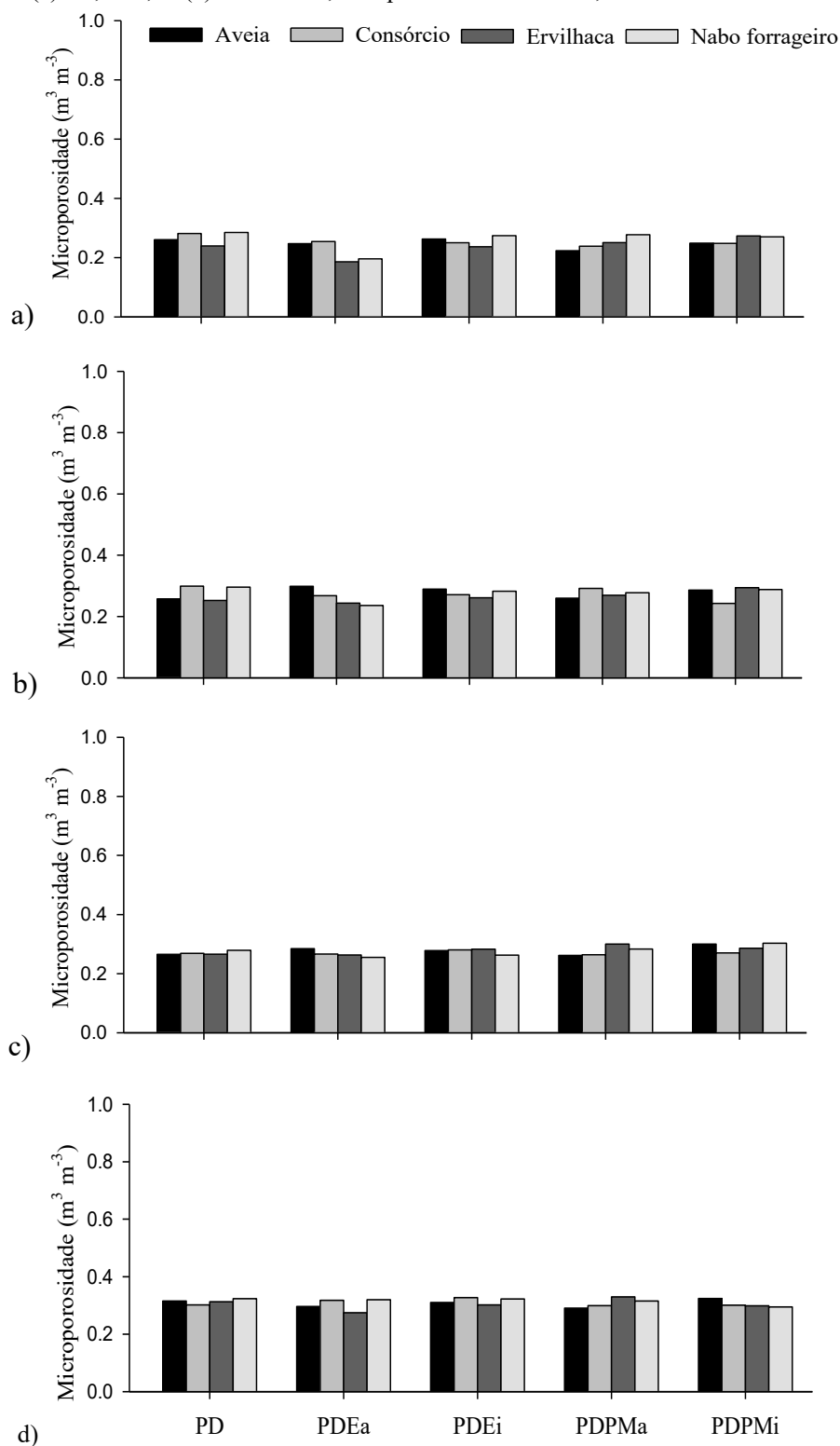
Apesar de não se diferir estatisticamente, os maiores valores absolutos de  $M_a$  foram encontrados na camada superior, 0,00-0,05 m (Figura 2a) ocorrendo redução nas camadas inferiores, possivelmente associado pelo maior desenvolvimento radicular e adição de material vegetal na camada superficial. Conforme já esperado, os maiores valores absolutos de  $M_a$  encontrados coincidiram com os menores valores de  $D_s$  do solo, no preparo PDEa, conduzido em sucessão de milho/ervilhaca e milho/nabo forrageiro, os quais apresentaram 0,32 e 0,30  $m^3 m^{-3}$  de  $M_a$  do solo. Os tratamentos se destacaram até a profundidade de 0,20 m, posteriormente, na camada 0,20- 0,40 m, podemos ainda destacar a sucessão milho/ervilhaca sob PDEa, com  $M_a$  de 0,17  $m^3 m^{-3}$ , e as sucessões milho/aveia e milho/consórcio conduzidos sob PDPMa, com valores de 0,17 e 0,18  $m^3 m^{-3}$  de  $M_a$ , respectivamente.

O menor valor absoluto de  $M_a$  foi de 0,11  $m^3 m^{-3}$ , encontrado na camada de solo de 0,20- 0,40 m de profundidade, nas áreas conduzidas sob PDPMi em sucessão milho/ervilhaca e sob PD em sucessão milho/aveia, sendo que valores inferiores a 0,10  $m^3 m^{-3}$  de  $M_a$  são restritivos para desenvolvimento radicular de culturas agrícolas, devido a inadequada difusão de oxigênio no solo (XU et al., 1992). Desta forma, pode-se destacar que o PD garante valores superiores de difusão de oxigênio, considerados ideias para o crescimento radicular de plantas, mesmo sem a ocorrência de escarificação.

Conforme já esperado, a variável microporosidade do solo apresentou baixa resposta de alteração em seus valores (Figura 3), pois o manejo do solo tende a modificar lentamente e com menor intensidade os microporos no solo (BERTOL et al., 2004; STRECK, 2007), devido a variável estar ligada a características do solo, tais como textura e teores de C no solo (DRESCHER et al., 2011).

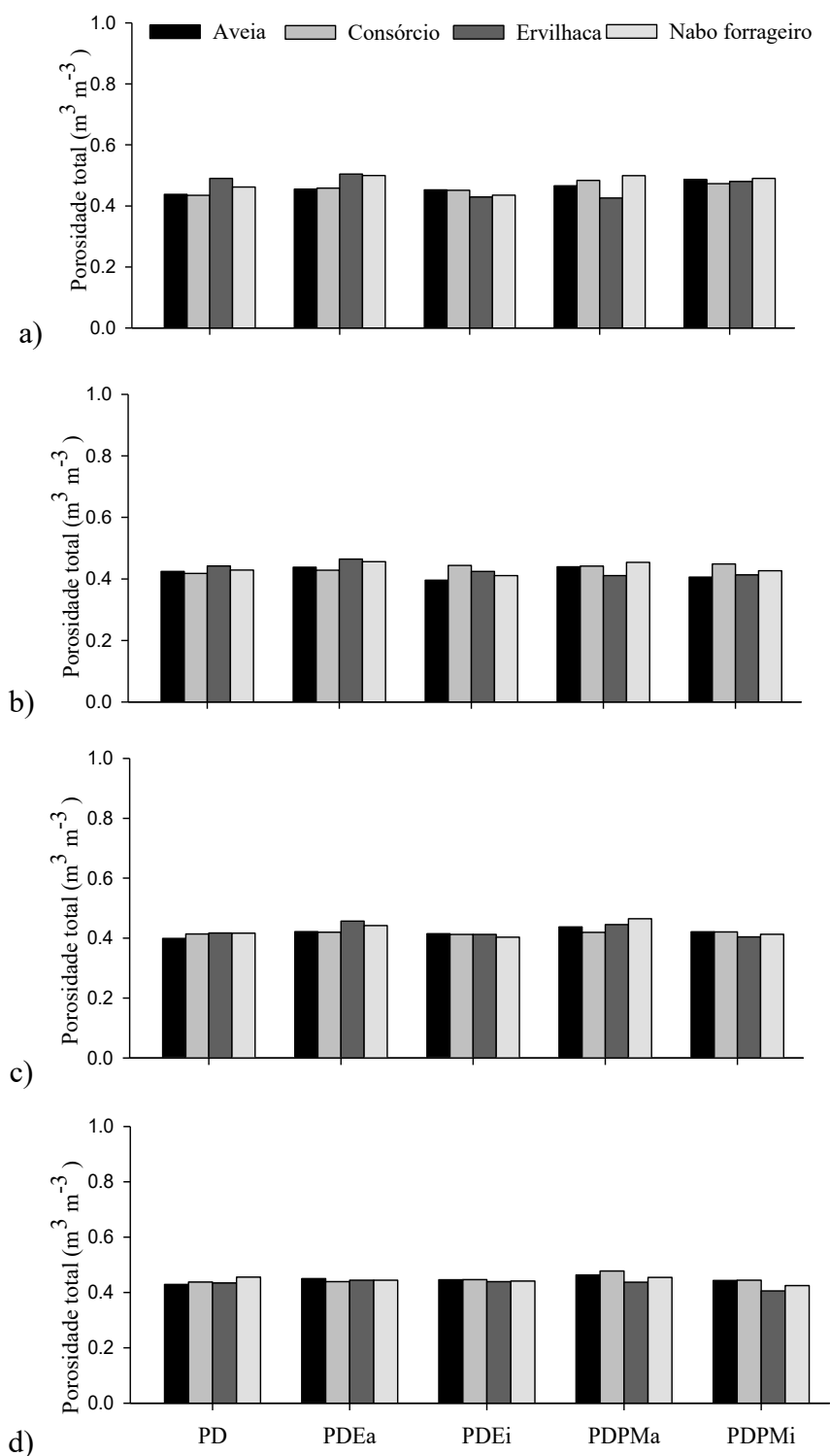
Na camada 0,00 – 0,05 m a média de  $M_i$  foi de 0,25  $m^3 m^{-3}$ , a qual apresentou acréscimo nas camadas inferiores, apresentando 0,27, 0,28 e 0,30  $m^3 m^{-3}$  para as profundidade de 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m respectivamente, isto devido ao maior ciclo de secagem e umedecimento do solo na camada superficial e maior teor de C, agindo como parte da MOS, atuante na formação de agregados e estabilização da estrutura do solo (FIGUEIREDO et al., 2008).

**Figura 3** – Microporosidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020.



Fonte: autora, 2019. Onde PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Os dados não se diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade de erro.

**Figura 4** – Porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) conduzido sob preparos de solo e plantas de cobertura em sucessão com milho aos 36 meses, nas profundidades de 0,00-0,05 (a); 0,05-0,10 (b); 0,10-0,20 (c) e 0,20-0,40 (d) m. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.



Fonte: autora, 2019. Onde PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Os dados não se diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade de erro.

A Pt da camada 0,0–0,05 m foi superior as demais profundidades, com média geral para preparos e plantas de cobertura de  $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de porosidade, isto devido a maior ocupação da camada por raízes e material orgânico, tendo porosidade nas camadas inferiores de 0,43, 0,42 e  $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente, nas profundidades de 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Figura 4).

### 3.3.2 Resistência do solo à penetração

Para os dados de umidade do solo foram utilizadas as médias da camada 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m conforme apresentado na Tabela 2 e avaliadas devido a importância de sua relação direta com os dados de RP (Figura 5, 6 e 7). Os valores de umidade do solo se mantiveram semelhantes entres os preparos de solo em cada período avaliado, exceto na avaliação realizada aos 37 meses de condução do experimento, em que, na profundidade 0,20-0,40 m foi observado diferença significativa entre os preparos, nos quais o PD apresentou maior umidade do solo,  $0,35 \text{ g g}^{-1}$ , em relação aos demais preparos, que variaram de 0,30 à  $0,32 \text{ g g}^{-1}$ .

**Tabela 2** – Umidade gravimétrica do solo no momento da avaliação de RP nos diferentes preparos de solo, na camada 0,00 – 0,20 e 0,20- 0,40 m de profundidade. UTFPR, Pato Branco- PR, 2020.

Profundidade (m)	PD	PDEa	PDEi	PDPMa	PDPMi	Média	CV%
Umidade do solo $\text{g g}^{-1}$							
34 meses							
0,00-0,20	0,34	0,30	0,30	0,29	0,29	0,30	14,49 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	0,34	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	10,43 <sup>ns</sup>
37 meses							
0,00-0,20	0,40	0,32	0,32	0,34	0,33	0,34	4,65 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	0,35 a	0,31 b	0,32 b	0,31 b	0,30 b	0,32	4,28*
40 meses							
0,00-0,20	0,25	0,23	0,26	0,23	0,22	0,24	7,41 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	0,26	0,23	0,24	0,22	0,22	0,23	5,72 <sup>ns</sup>
48 meses							
0,00-0,20	0,35	0,36	0,35	0,36	0,35	0,35	2,89 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	0,37	0,38	0,39	0,37	0,39	0,38	5,59 <sup>ns</sup>
49 meses							
0,00-0,20	0,34	0,32	0,26	0,33	0,35	0,33	20,01 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36	3,95 <sup>ns</sup>
53 meses							
0,00-0,20	0,28	0,27	0,27	0,30	0,29	0,28	6,84 <sup>ns</sup>
0,20-0,40	0,32	0,28	0,27	0,31	0,31	0,30	7,96 <sup>ns</sup>

Fonte: autora, 2019. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo.

O fato da maior umidade do solo ser no PD se deve, possivelmente, a cobertura do solo por palhada, sendo que aos 37 meses de condução corresponde ao período após a realização dos preparos de solo, tanto os anuais, quanto retorno da escarificação dos preparos realizados com intervalo de 3 anos, deixando assim menor cobertura de palhada sobre o solo, enquanto no PD a palhada possibilita conservação da umidade no solo por maior período.

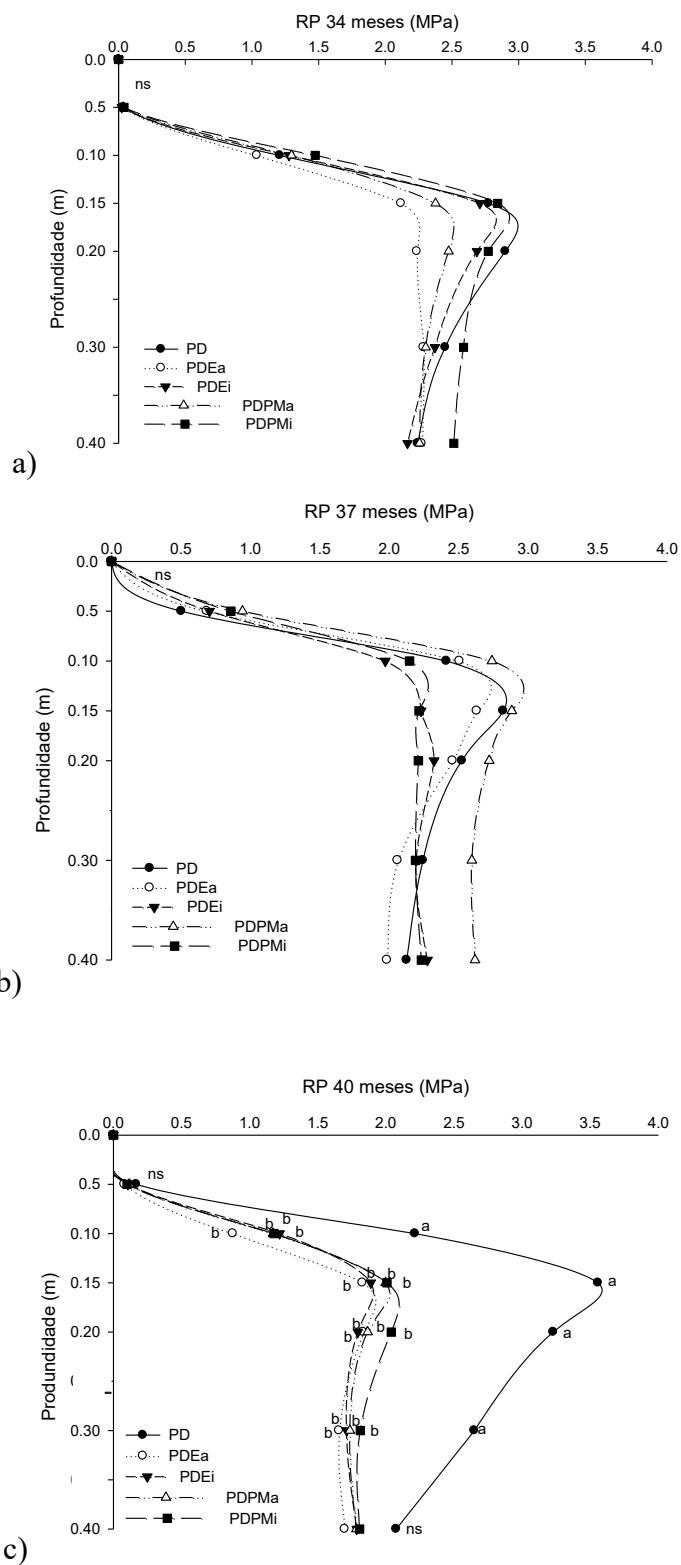
A umidade do solo teve maior variação entre as datas avaliadas, sendo que o momento em que o solo estava com menor umidade média foi na avaliação realizada aos 40 meses de condução do experimento, podendo refletir nos dados de RP, sendo as variáveis inversamente proporcionais.

A resistência mecânica do solo à penetração não apresentou interação significativa entre as plantas de cobertura e os preparos do solo, porém se diferiu entre os preparos do solo aos 40, 48, 49 e 53 meses de condução do experimento (Figura 5a-c e Figura 6a-c). Em todas as avaliações realizadas, a RP se elevou a partir da camada de 0,10 m, devido ao reduzido desenvolvimento radicular nessa região associado a pressão de tráfego de máquinas sob reduzida cobertura do solo.

Valores de RP superiores a 3,5 MPa são considerados restritivos ao desenvolvimento radicular de plantas em PD (MORAES et al., 2014), tendo maior agravante a culturas em anos de menores precipitações e conseqüentemente obtendo solo mais seco em alguns períodos, devido a umidade reduzir os efeitos da resistência à penetração. Sendo que valor acima do considerado restritivo foi observado apenas aos 40 meses de condução do experimento para o PD, na camada de 0,10-0,15 m, corroborando com período de menor umidade do solo entre as avaliações, com umidade de cerca de  $0,24 \text{ g g}^{-1}$ .

Após 34 e 37 meses da implantação do experimento, correspondendo ao período antecedendo e posterior a escarificação, não houve diferença significativa para os preparos do solo, tendo comportamento semelhante as demais avaliações em relação a camada superficial, de 0,00-0,05 m, sendo esta explicada possivelmente pelo elevado crescimento radicular nessa região, associado com deposição de palhada, teores de MOS e atividade biológica do solo. Para as demais profundidades os valores variaram de 2,0 à 2,9 MPa aos 34 meses e de 1,8 à 2,9 MPa aos 37 meses de condução do experimento (Figura 5 a –b).

**Figura 5** – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) aos 34 (a), 37 (b), 40 (c) meses de condução do experimento, referente ao ano de 2018. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.



Fonte: autora, 2019. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Letras minúsculas diferem os preparos na mesma profundidade a 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo.

Decorrido 40 meses da implantação do experimento, pode-se observar maiores valores de RP para o PD em relação aos demais preparos de solo realizados (Figura 5 c), nas camadas de 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade. O maior grau de compactação foi observado na camada de 0,10-0,15 m com resistência de 3,55 MPa, sendo acima do valor restritivo ao desenvolvimento de culturas.

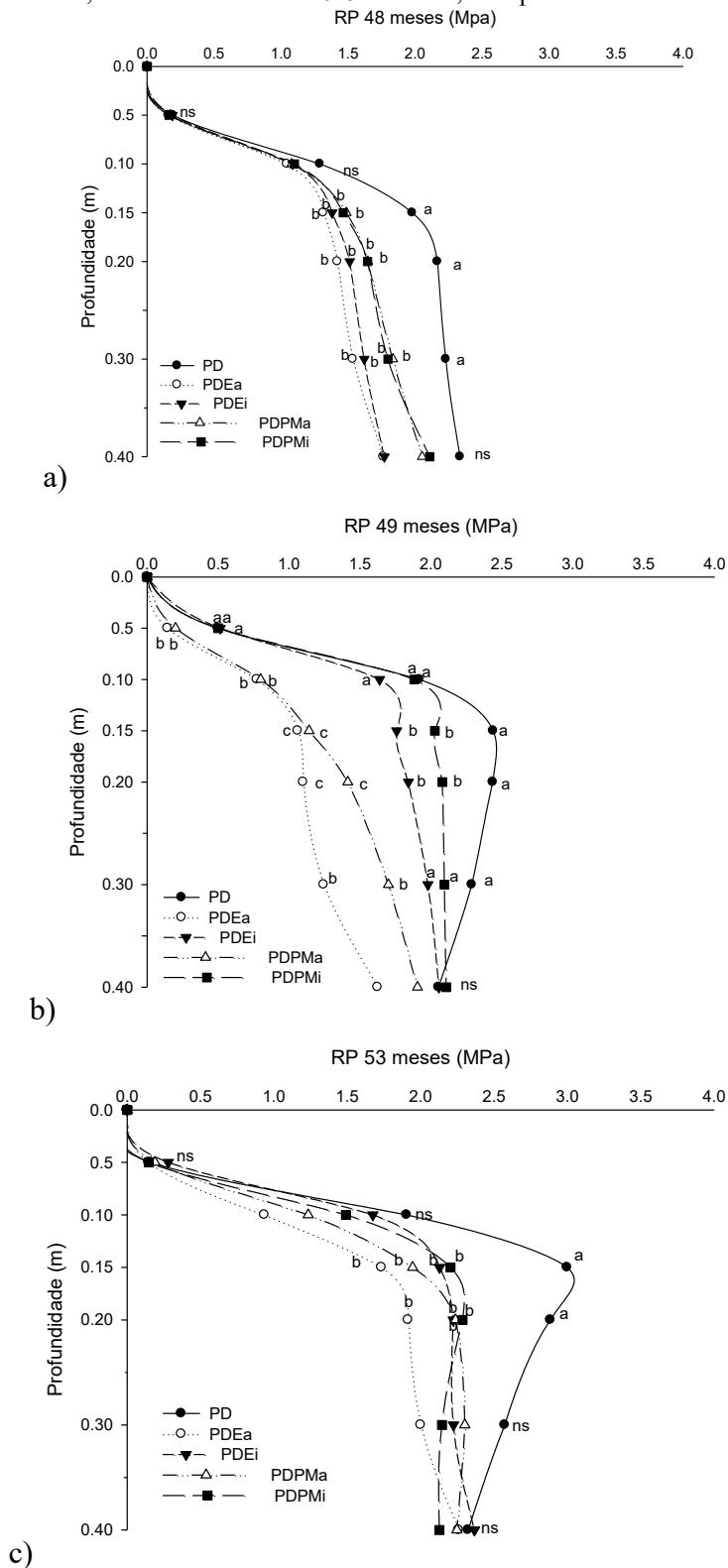
Aos 48 meses o PD se diferiu estatisticamente dos demais preparos na camada de 0,10 até 0,30 m de profundidade do solo, com acréscimo de valor conforme aprofundamento da camada, variando de 1,3 até 2,2 MPa de RP para o plantio direto. De forma geral podemos observar a menor RP aos 48 meses em comparação a avaliação anterior no mesmo período, antecedendo as escarificações aos 34 meses, onde a umidade do solo possui pouca variação (Tabela 2), podendo assim estar relacionado aos benefícios do sistema radicular abundante da cultura do milho, associada com as precipitações ocorrentes, sendo que a média de chuvas anuais chega próximo a 2000 mm por ano na região sudoeste do Paraná (VIEIRA et al., 2018).

Após a 5ª escarificação do solo nos preparos escarificados anualmente, aos 49 meses, observou-se o efeito imediato do PDEa e PDPMa na redução da RP, os quais se diferiram até 0,30 m de profundidade dos demais tratamentos, apresentando valores de RP inferiores a 2,0 MPa (Figura 6 b). Além disso, os preparos realizados com intervalo de 3 anos, PDEi e PDPMi, apresentaram diferença significativa em relação ao PD na redução de RP do solo após 12 meses do preparo, na camada de 0,10–0,20 m de profundidade, sendo considerada a camada crítica de compactação do solo. Porém no mesmo período os valores de RP para o PD não ultrapassaram 2,5 MPa, sendo assim considerada não restritivo ao desenvolvimento radicular.

Porém ao compararmos os tratamentos PDEa e PDPMa na avaliação de 49 e 53 meses, sendo, respectivamente, de imediato aos preparos e após 4 meses da escarificação mecânica, podemos ressaltar que houve um acréscimo na RP, e que os preparos anuais não se diferiram dos preparos com intervalo, com preparo a cerca de 16 meses.



**Figura 6** – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) aos 48 (a), 49 (b) e 53 (c) meses de condução do experimento, referente ao ano de 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.



Fonte: autora, 2019. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Letras minúsculas diferem os preparos na mesma profundidade a 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo.

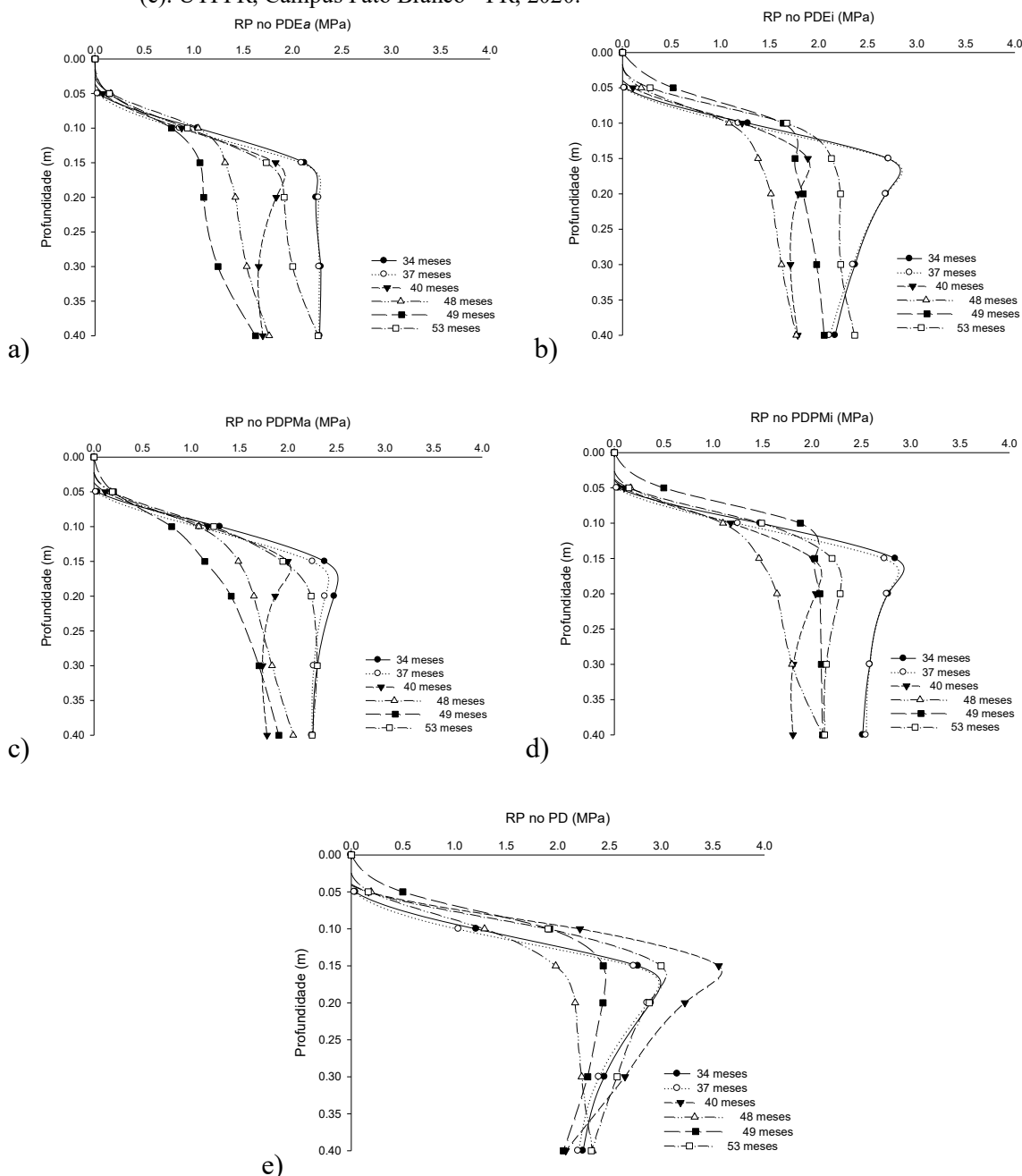
Aos 53 meses de condução do experimento a RP se comportou de forma similar ao ocorrido após 40 meses de condução do experimento, com pico acentuado de elevação da RP na camada de 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, apresentando RP de cerca de 26,4 % acima do que o PDPMi, em ambas as profundidades citadas. O período avaliado em ambos os anos comparados se refere ao término do ciclo de plantas de cobertura, então tal fator pode estar relacionado ao menor desenvolvimento radicular das plantas de cobertura quando se comparado à cultura do milho, que recebe adução de base na semeadura e adubação nitrogenada em cobertura, que pode favorecer maior desenvolvimento e exploração do solo pelas raízes.

Em estudo realizado em solo com textura argilosa, com uso de preparos do solo e de plantas de cobertura, Moraes et al., (2014) também observaram a redução da RP após a realização de preparos de solo, corroborando com os dados obtidos no presente estudo, com período de persistência dos efeitos inferiores a 12 meses..

Após o fechamento do primeiro ciclo do experimento, em 2018, onde retornou a escarificação nos preparos com intervalo de 3 anos, obtendo assim 4 escarificações nos preparos PDPMa e PDEa, 2 escarificações nos preparos PDPMi e PDEi e nenhuma escarificação no PD (Figura 5b). Os efeitos da frequência e do conjunto de preparos pode ser observado nas avaliações realizadas aos 37, 40 e 48 meses após a implantação do experimento, de forma que para a variável de RP a utilização de 4 ou 2 escarificações não se diferiu de mesma forma que os dois preparos apresentam RP semelhante em ambas as avaliações, sendo que assim não se recomenda a escarificação anual, devido maior custo e efeito nulo em relação à escarificação com intervalo de 3 anos.

Ao compararmos as avaliações de RP realizadas em mesmo momento nos dois anos (Figura 7 a-d) percebe-se o mesmo comportamento do solo, de forma que a escarificação apresenta redução imediata de redução de RP após o preparo quando comparado ao PD e aos tratamentos escarificados com maior intervalo. Posterior ao uso de plantas de cobertura percebe-se o aumento da RP no tratamento de PD em relação aos demais, isso se deve possivelmente ao baixo desenvolvimento radicular das plantas de cobertura devida a RP um pouco elevada no sistema, além de deixar o solo mais suscetível a compactação pelo tráfego de máquinas nesse período.

**Figura 7** – Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) no decorrer nos meses de condução do experimento nos diferentes preparos do solo: PD (a); PDEa (b); PDEi (c); PDPMa (d); PDPMi (e). UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.



Fonte: autora, 2020. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo.

Porém, após a cultura do milho o comportamento do solo para RP no PD reduz a valores próximos aos demais preparos, de forma que se pode afirmar a eficiência da própria cultura do milho para mitigar os processos de compactação, através do desenvolvimento do sistema radicular (figura 7e). Além de que, aos 48 meses, nota-se a redução nos valores de RP de forma mais expressiva quando comparado ao mesmo período

do ano anterior (34 meses), este fato pode estar associado com o uso do trigo mourisco na entre-safra 18/19, sendo que a cultura propiciou maior cobertura do solo em um período que estaria apenas a palhada do milho para cobertura, possivelmente protegendo o solo com maior intensidade das gotas de água da chuva, evitando os processos naturais de adensamento do solo.

Pode-se observar, na RP dos preparos no solo no tempo, o efeito de acréscimo e redução na variável conforme o período de avaliação (Figura 7 a-e). Sendo que a escarificação aos 37 meses, ocorrente nos preparos anuais e com intervalo apresentou baixa variação em comparação com a avaliação antecedendo a escarificação. Esse fato pode ser devido à avaliação ter sido realizada 39 dias após a avaliação associada com solo úmido no momento da escarificação, a qual havia ocorrido precipitação de cerca 2,5 mm 2 dias antecedendo a escarificação, segundo dados da estação meteorológica instalada próxima ao experimento (GEBIOMET, 2018), tendo efeito nulo na variável RP.

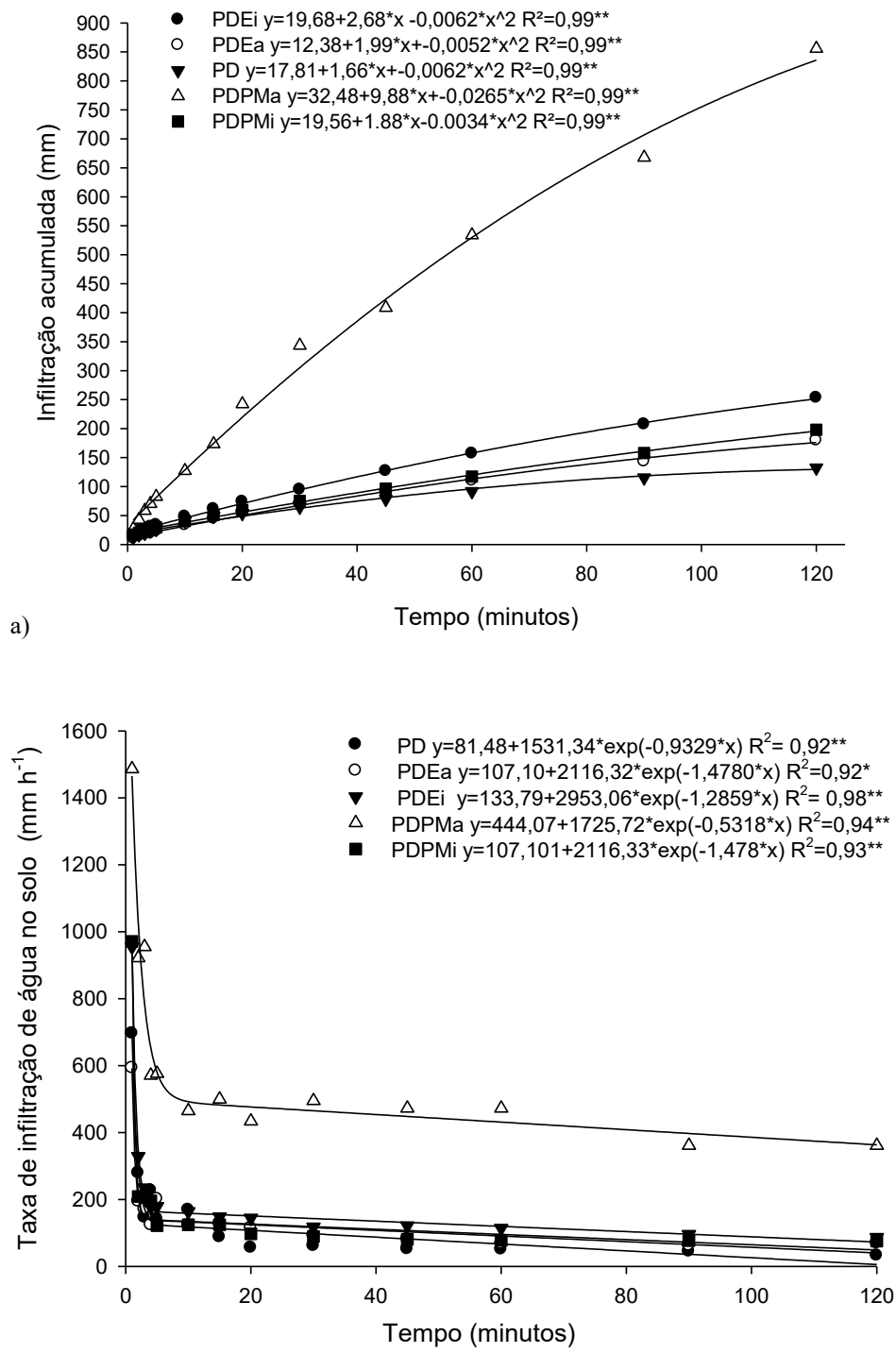
### 3.3.3 Infiltração de água no solo

Os dados de infiltração de água no solo e taxa de infiltração de água no solo pelo tempo são apresentados na figura 8 (a-b), onde observa-se que as médias obtidas apresentaram significância para o ajuste de curva adotados, demonstrando assim consistência de dados.

Entre os preparos do solo o PDPMa obteve maior taxa de infiltração de água acumulada ao longo de 120 minutos, em todos os intervalos de tempo de avaliação, apresentando infiltração acumulada de cerca de 855 mm em 120 minutos avaliados, enquanto o PD, o PDEa, PDEi e o PDPMi obtiveram, respectivamente, infiltração acumulada de 132,3, 179,5, 253,1 e 198 mm. Esse fato se associa com as fendas resultantes do preparo PDPMa, possibilitando a infiltração de água no perfil do solo.

O principal argumento para realização de preparos do solo é o aumento da taxa de infiltração de água no solo, dessa forma o PDPMa foi eficiente, aumentando acima de 10 vezes a taxa de infiltração de água de área conduzida sob PD, corroborando com dados de Girardello et al. (2011), obtidos em Latossolo Vermelho, na qual sistema PDPMa apresentou taxa de infiltração 5 vezes maior do que a obtida pelo PD.

**Figura 8** – Infiltração acumulada de água no solo em mm (a) e taxa de infiltração de água no solo  $\text{mm h}^{-1}$  (b), realizada após 36 meses de implantação do experimento antecedendo os processos mecânicos na área. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2020.



Fonte: autora, 2020. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. \*\*: significância de 1%; \* significância de 5%.

O comportamento da taxa infiltração de água no solo no tratamento PDPMa apresentou-se, desde o início, acima dos demais tratamentos (Figura 8b), evidenciando o efeito positivo do tratamento após 3 anos com escarificações consecutivas, sendo a última escarificação realizada a 12 meses antecedendo a avaliação, a infiltração de água no solo. Porém, o tratamento com mesmo equipamento e com escarificação realizada aos 36 meses antecedendo a avaliação, não apresentou diferença na infiltração de água no solo, sendo assim podemos considerar que o efeito do preparo para a variável ultrapassa 12 meses, porém aos 36 meses não são observados efeitos positivos para aumento da infiltração de água no solo.

A infiltração de água no solo no PDEa, mesmo com escarificação contínua de 3 anos, ao contrário do que ocorrido no PDPMa, não apresentou resultados de aumento na taxa de infiltração de água no solo (Figura a-b), evidenciando a diferença encontrada nos dois equipamentos, em que o PDPMi utiliza equipamento com rompimento de fissuras no solo em profundidade e com menor mobilização de área, e o contrário ocorre no PDEa, em que o equipamento revolve o solo com maior intensidade e em profundidade menor, ocasionando entupimento de fissuras com partículas de solo desagregadas.

A escarificação do solo realizada com intervalo acima de 2 anos pode afetar de forma negativa a geometria de poros no solo, ocasionando instabilidade e afetando a movimentação e percolação de água no perfil do solo (MAZURANA et al., 2011). Tal fato explica a reduzida infiltração de água no solo no PDPMi em relação ao PDPMa, e ainda mais expressivo nos preparos de PDE, em que o processo ocorre em período menor que 2 anos, devido a maior mobilização do solo.

A resposta do PDPMa à infiltração de água no solo já era esperada, devido 3 escarificações consecutivas do equipamento, que possui características que ocasionam aberturas de fissuras no solo em profundidade, tendo estabilizado a infiltração em cerca de  $361 \text{ mm h}^{-1}$ , se diferindo de todos os demais tratamentos, enquanto a infiltração de água apresentada no tratamento conduzido sob PD foi de cerca de 90,9 % abaixo do PDPMa, apresentando o menor valor de TIE (Tabela 3).

Ao relacionar a maior taxa de infiltração de água no solo do PDPMa com a macroporosidade no preparo na sucessão aveia/milho, que apresentou valores elevados quando comparada aos demais preparos do solo, apesar de não se diferir estatisticamente, (Figura 2), pode-se levar em consideração ao favorecimento dos fluxos de água no solo,

justificando o aumento da infiltração (STONE, GUIMARÃES, MOREIRA, 2002; ZWIRTES et al., 2013).

**Tabela 3** – Taxa de infiltração estável (TIE) de água no solo aos 120 minutos de avaliação em 5 preparos do solo. Pato Branco, 2020.

Preparos	Taxa de infiltração estável (mm h <sup>-1</sup> )
PD	32,5 B
PDEa	68,9 B
PDEi	86,4 B
PDPMa	361,1 A
PDPMi	75,7 B
CV%	20,8**

Fonte: autora, 2019. Onde: PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo. Letras minúsculas diferem os tratamentos na coluna. Onde: \*\*= diferença estatística de 1% de probabilidade de erro entre os tratamentos.

Apesar de todos os demais preparos, PDEa, PDEi e PDPMi, não se diferirem estatisticamente do PD, pode-se observar que a menor taxa de infiltração de água no solo absoluta foi apresentada pelo PD, contrapondo resultado obtido por Almeida et al. (2017), em que o PD apresentou maior taxa de infiltração de água no solo em comparação com sistema semelhante ao PDE, de forma que os dois preparos se diferiram significativamente em todas as avaliações ao longo do ciclo da cultura da soja, sendo que na primeira avaliação o PD apresentou taxa de infiltração de água no solo de cerca de 46 mm h<sup>-1</sup>, enquanto o preparo convencional cerca de 23,46 mm h<sup>-1</sup>.

Segundo dados climáticos, a chuva com maior intensidade ocorrente em Dois Vizinhos no ano de 2018, acima da capacidade de infiltração estável de água pelo PD, foi de 41,2 mm h<sup>-1</sup>, ocorrida em 10 de outubro (INMET, 2019). Porém este fato não constata a ocorrência de escoamento superficial de cerca de 9 mm h<sup>-1</sup> nas áreas de PD, visto que é necessário levar em consideração a umidade do solo no início da precipitação, não estando necessariamente já saturado, assim tendo capacidade de infiltração de 32,5 mm h<sup>-1</sup> após sua saturação, além da importância da declividade do terreno e cobertura do solo. Os demais preparos apresentam capacidade superior de infiltração de água no solo do evento citado.

### 3.4 Conclusões sobre o assunto Atributos físicos do solo sob preparos e uso de plantas de cobertura

Os efeitos da escarificação são nulos após 12 meses do preparo para a Ds e porosidade do solo em relação ao plantio direto, de mesma forma que as plantas de cobertura não apresentaram alterações nessas variáveis após 36 meses de condução do experimento.

A escarificação é eficiente na redução da resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,10-0,20 m quando comparada ao PD.

O PD apresenta maior RP após o uso de plantas de cobertura, antecedendo a cultura do milho, porém não apresenta valores limitantes ao desenvolvimento radicular.

A escarificação anual ou com intervalo de 36 meses apresenta mesmos resultados na RP do solo.

As plantas de cobertura em sucessão ao milho não provocaram alterações nos atributos físicos do solo avaliados.

O PDPMa proporciona maior taxa de infiltração de água no solo em relação aos demais preparos.



## **4 ASSUNTO PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE PLANTAS E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DE MILHO**

### **4.1 Introdução ao assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho**

Em áreas conduzidas sob PD, a rotação de culturas se torna fundamental para funcionamento eficiente do sistema. Pela diversidade de plantas pode-se reduzir a pressão de pragas, promover maior exploração do solo pelo sistema radicular diversificado, favorecer aumento da MOS e conseqüentemente sua fertilidade, além da adição de tecido vegetal com relação C:N e teores de nutrientes variados, entre outros fatores.

Na região sudoeste do Paraná à possibilidade de adoção do uso de plantas de cobertura no período de inverno, por não competir com culturas de maior interesse comercial utilizados regionalmente, soja e milho. O uso de plantas de cobertura visa a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, através da adição de matéria seca, agregação do solo e formação de bioporos pelo sistema radicular, promoção de fixação biológica de N por leguminosas, ciclagem de nutrientes, palhada com decomposição mais lenta como o caso de gramíneas, manutenção da umidade do solo, proteção do solo aos impactos de gotas de chuva, supressão de plantas daninhas. Além do uso isolado de plantas, pode-se adotar consórcio favorecendo diversos aspectos por diferentes espécies introduzidas em mesma área.

O milho é o cereal mais produzido mundialmente, sendo destinado a alimentação animal, humana e para indústria de alta tecnologia, desta forma, devido a elevada importância comercial, busca-se métodos de aumentar a produtividade da cultura através de melhorias do solo.

Além de uso de plantas de cobertura, práticas de preparos do solo vêm sendo adotadas para mitigação de processos de compactação do solo. Assim, o estudo objetivou avaliar o efeito dos preparos do solo no desempenho das plantas de cobertura, da cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e do trigo mourisco.

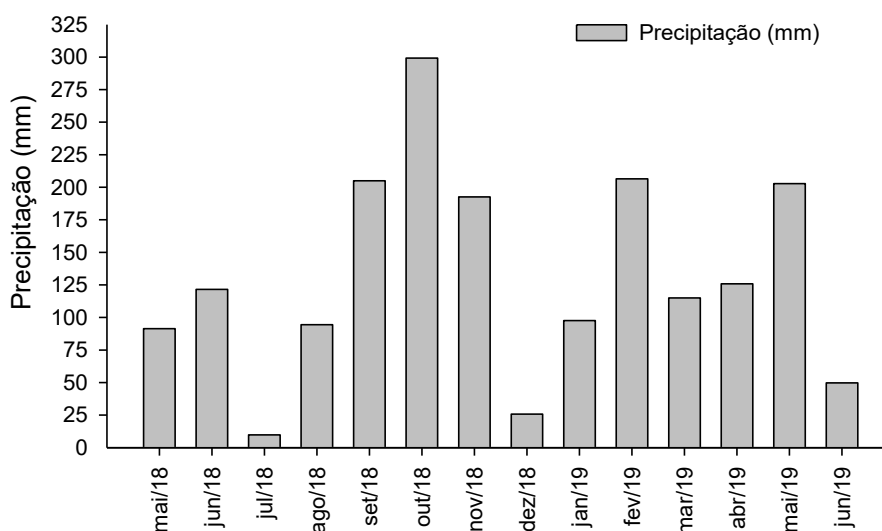
## 4.2 Procedimentos metodológicos do assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho

### 4.2.1 Localização e caracterização da área experimental

Conforme item 3.2.1.

Os dados de precipitação foram obtidos pela estação meteorológica INMET instalada na área experimental, referente ao período de condução do experimento (Figura 9).

**Figura 9** – Precipitação pluvial (mm) mensal durante o período de condução de plantas de cobertura e cultura do milho, referente ao ano de 2018 e 2019, em Dois Vizinhos. UTFPR, Câmpus Pato Branco-PR, 2020.



Fonte: autora, 2020.

### 4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Conforme item 3.2.2.

As culturas de cobertura foram implantadas, em maio de cada ano, desde 2015, sendo que para os anos de avaliação foram implantadas em 22/05/2018 e 20/05/2019, utilizando uma semeadora de parcelas, posterior a realização dos preparos do solo e a cultura do milho implantada em 12/09/2018 e 04/09/2019 em semeadura direta, da cultivar AG 8780 com população recomendada de 75.000 plantas por ha, em espaçamento de 0,45 m entre

linhas. É realizada adubação em base na cultura de milho de 575 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 2-18-18 (N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O). A adubação nitrogenada foi realizada manualmente em dose única, sendo aplicados 180 kg de N ha<sup>-1</sup>, via ureia aos 33 DAS na safra 18/19 e 19/20.

Na entre-safra da cultura do milho e de plantas de cobertura na safra 18/19 utilizou-se implementou-se a cultura de trigo mourisco, semeado em 07/02/2019, em semeadura direta.

O manejo de plantas daninhas e controle de insetos, quando necessária na cultura do milho, foi realizada com aplicação de herbicida (Glifosato 576 g ha<sup>-1</sup> de i.a) e inseticida (Deltametrina 37,5 g ha<sup>-1</sup> de i.a).

#### 4.2.3 Parâmetros avaliados

Nas plantas de cobertura foi avaliada a taxa de cobertura do solo pelas plantas no ano de 2019, a produção de matéria seca (MS) durante o ano de 2018 e 2019 e com o tecido vegetal da MS das plantas de cobertura foi determinado do teor de C e N de tecido. Na cultura do milho foi avaliado a MS e a produtividade durante a safra 2018/2019 e 2019/2020.

Para a determinação da taxa de cobertura do solo foi-se utilizada a metodologia proposta por Laflen et al. (1981), o qual consiste na utilização de um trena com espaçamento entre pontos de 0,10 m, colocada em diagonal na parcela, transversal a linha de semeadura, assim realizada a contagem dos pontos que tocaram a palhada de cultura anterior, as plantas de cobertura e o solo exposto. A avaliação foi realizada aos 15, 30, 53 e 67 dias após a semeadura (DAS) das plantas de cobertura.

A avaliação de matéria seca foi realizada quando as plantas de cobertura atingiram pleno estágio de florescimento, utilizando um quadro metálico de área conhecida (0,25 m<sup>2</sup>), coletando a parte aérea das plantas de cobertura, após levadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de, aproximadamente, 55°C, por 72 horas, até atingirem peso constante, sendo pesadas posteriormente para obtenção da matéria seca.

Após a determinação de MS, o material vegetal da parte aérea das plantas de cobertura foi triturado em moinho de facas tipo *willey*, com peneira de 20 mesh para realização da determinação do teor de C, em 2018 e 2019, e o teor de N total, no ano de 2019, de tecido vegetal das plantas de cobertura. O N total foi determinado seguindo

metodologia da Embrapa (2011). O cálculo do acúmulo de N foi realizado levando em consideração a produção de MS de plantas de cobertura no ano de 2019.

A determinação de C orgânico do tecido vegetal seguiu metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988), com algumas adaptações. Foi utilizado 0,1 g de tecido vegetal em tubo de ensaio, pipetado 10 mL de solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,334 M e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ). Os tubos de ensaio foram levados ao bloco digestor pré-aquecido a 150°C, permanecendo por 40 minutos em mesma temperatura. Após digeridas e a temperatura ambiente, as amostras foram transferidas para elermeyers de 250 mL, adicionado 2 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) e 5 gotas de solução indicadora de difenilamina 1% (diluída em ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ )) e as amostras tituladas com sulfato ferroso (0,5 M).

Para determinação da matéria seca do trigo mourisco foi seguida metodologia citada para plantas de cobertura, com utilização de um quadro metálico, com área de 0,25 m<sup>2</sup>, a coleta realizada aos 49 dias após a semeadura (DAS), o mesmo sendo utilizado para a coleta do material para determinação da produtividade da cultura, a qual foi coletado plantas na área de 0,25 m<sup>2</sup>, levados a estufa e posteriormente realizado a debulha manual dos grãos.

A avaliação de produção de MS da cultura do milho foi realizada em estágio de enchimento de grãos, realizada aos 90 DAS para as safras de 18/19, na qual foi-se coletado 5 plantas por parcela, determinado seu peso total, sendo posteriormente moídas em forrageiro estacionário e subamostrado uma quantia de cerca de 0,6 Kg por parcela para submeter a secagem em estufa de circulação forçada de ar, a temperatura de 55°C até atingir peso constante. Posteriormente a pesagem das amostras secas, foi realizada a correção da umidade do peso total das plantas coletadas e extrapoladas para área total pelo estande de plantas final, determinado no momento da colheita.

Para avaliação de produtividade do milho da safra 18/19 e 19/20 foi realizada a colheita de forma manual, em cada parcela colhida as espigas de plantas em 6 m lineares, após, as amostras foram debulhadas com auxílio de máquinas estacionária, determinado a umidade através de um determinador digital de caneca, e os rendimentos ajustados com umidade de referência de 13%. A população de plantas foi determinada no final do ciclo da cultura do milho.

#### 4.2.4 Análises estatísticas

Conforme item 3.2.4.

### 4.3 Resultados e discussões referentes ao assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho

#### 4.3.1 Taxa de cobertura do solo

A taxa de cobertura do solo por palhada apresentou interação significativa entre os fatores preparos do solo e plantas de cobertura em todas as avaliações realizadas (Tabela 4).

Aos 15 DAS o sistema de PD e PDPMi, apresentaram maior cobertura do solo por palhada, tendo assim menor quantidade de solo exposto devido o menor revolvimento ocasionado pelo manejo adotado. Ainda nesses sistemas pode-se verificar uma maior porcentagem de cobertura do solo por palhada nas parcelas com uso de ervilhaca e nabo forrageiro, o que pode ser justificado pelo desenvolvimento inicial mais lento característico dessas espécies plantas de cobertura, tendo assim menor cobertura por planta e conseqüentemente maior percentual principalmente quando comparado ao sistema de consórcio,

Os maiores valores de cobertura do solo por palhada foram apresentados nas parcelas de ervilhaca e nabo forrageiro conduzidos sob PD, e nas parcelas de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro conduzidos sob PDPMi, sendo os valores de cerca de 82, 84, 71, 77 e 77 %, respectivamente, se diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os menores valores de cobertura do solo por palhada foram obtidos nos preparos realizados anualmente, tendo média de cobertura do solo com palhada de 15,6 % no sistema de PDEa, seguido do PDPMa com cerca de 34,7 % de palhada aos 15 DAS, tendo comportamento dos sistemas semelhante aos 30 DAS quando comparados aos demais, apresentando menor percentual de cobertura do solo com palhada.

Ao passar dos dias após a semeadura, devido ao desenvolvimento das plantas a taxa de cobertura pela palhada foi reduzindo pelo aumento da cobertura do solo pelas plantas, exceto para as parcelas com nabo forrageiro, a qual apresentaram desenvolvimento limitado devido a utilização das mesmas em mesmo local em sucessão desde o ano de 2015,

tendo ataque inicial de pragas, posteriormente a ocorrência de mofo branco, devido a contaminação das sementes com escleródios, tendo ocasionado redução da população de plantas e baixo desenvolvimento.

**Tabela 4**– Taxa de cobertura do solo por palhada (%) em área com preparos do solo e plantas de cobertura, aos 15, 30, 53 e 67 DAS de plantas de cobertura em 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.

	PD		PDEa		PDEi		PDPMa		PDPMi		Média
15 DAS											
Aveia	75,85	bA	11,49	aD	57,17	bB	30,55	bC	71,04	aA	49,22
Consórcio	66,90	cA	17,02	aD	59,05	bB	30,40	bC	56,35	bB	4,594
Ervilhaca	82,90	aA	18,25	aD	71,01	aB	35,83	bC	77,41	aA	57,08
Nabo forrageiro	84,32	aA	16,01	aD	66,59	aB	42,26	aC	76,92	aA	57,22
Média	77,49		15,69		63,45		34,76		70,43		
CV %	9,8*										
30 DAS											
Aveia	59,23	bA	17,94	aC	57,32	bA	20,70	aB	58,99	bA	46,16
Consórcio	54,99	bA	21,55	aC	52,61	bA	20,23	aB	56,25	bA	46,99
Ervilhaca	76,68	aA	19,68	aC	63,75	aA	24,73	aB	68,38	aA	48,95
Nabo forrageiro	82,13	aA	20,95	aD	59,22	aB	23,89	aC	64,04	aB	48,10
Média	68,26		20,03		58,22		22,39		61,91		
CV %	13,21*										
53 DAS											
Aveia	19,62	bA	5,25	aA	12,51	bA	14,47	bA	24,85	cA	15,34
Consórcio	17,55	bA	7,61	aA	19,86	bA	12,75	bA	20,09	cA	15,57
Ervilhaca	63,08	aA	10,18	aC	57,63	aA	24,11	aB	51,53	bA	41,31
Nabo forrageiro	75,02	aA	15,31	aD	56,49	aB	32,33	aC	65,36	aB	48,90
Média	43,92		9,59		36,62		20,91		40,46		
CV %	19,89**										
67 DAS											
Aveia	10,28	cB	2,14	aB	11,41	bB	4,30	aB	20,94	cA	9,82
Consórcio	9,91	cA	4,24	aA	11,40	bA	6,02	aA	6,14	bA	7,54
Ervilhaca	31,14	bA	7,94	aB	41,61	aA	12,09	aB	33,50	dA	25,26
Nabo forrageiro	73,53	aA	6,06	aE	43,93	aC	16,27	aD	58,27	aB	39,61
Média	31,21		5,09		27,08		9,67		29,71		
CV %	29,39**										

Fonte: autora 2019. Letras minúsculas diferentes na linha diferem as plantas de cobertura; letras maiúsculas diferentes na coluna, diferem os preparos; Onde: \*\*: significativo a 1 % de probabilidade de erro; \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

A cobertura do solo por plantas não foi influenciada pelos preparos do solo na fase inicial das plantas, se diferindo estatisticamente entre as espécies utilizadas nas avaliações realizadas aos 15, 30 e 53 DAS, porém na avaliação realizada aos 67 dias houve interação significativa entre os fatores avaliados para a variável taxa de cobertura do solo por plantas (Tabela 5). A aveia e o consórcio obtiveram comportamento semelhante em todas as avaliações, apresentando maior cobertura do solo por plantas, isso devido ao elevado perfilhamento da gramínea (aveia), se diferindo estatisticamente da cultura do nabo forrageiro e da ervilhaca.

**Tabela 5** – Taxa de cobertura do solo por planta (%) em área com preparos do solo e plantas de cobertura, aos 15, 30, 53 e 67 DAS de plantas de cobertura em 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.

	PD	PDEa	PDEi	PDPMa	PDPMi	Média					
15 DAS											
Aveia	17,23	17,81	17,82	18,54	16,98	17,68	a*				
Consórcio	24,87	21,09	18,59	18,92	25,68	21,83	a				
Ervilhaca	10,67	8,97	7,83	11,55	8,65	9,53	b				
Nabo forrageiro	6,78	6,03	5,34	6,29	8,53	6,59	b				
Média	14,89 <sup>ns</sup>	13,48	12,40	13,83	14,96						
CV %	26,36										
30 DAS											
Aveia	34,18	26,31	24,31	29,90	31,03	34,18	a**				
Consórcio	41,65	26,63	24,25	29,15	31,79	41,65	a				
Ervilhaca	16,78	15,57	22,39	23,84	22,84	16,78	b				
Nabo forrageiro	7,39	16,75	16,15	21,66	22,74	7,39	b				
Média	25,0 <sup>ns</sup>	21,29	21,77	26,13	27,10						
CV %	23,91										
53 DAS											
Aveia	76,81	68,79	80,03	64,69	71,42	72,35	a**				
Consórcio	79,88	66,23	73,57	69,42	71,78	72,18	a				
Ervilhaca	33,33	18,67	24,36	36,19	37,55	30,02	b				
Nabo forrageiro	14,89	20,25	21,89	27,95	21,33	21,26	b				
Média	51,23 <sup>ns</sup>	43,49	49,96	49,56	50,52						
CV %	17,65										
67 DAS											
Aveia	88,02	aA	73,10	Aa	81,09	aA	81,63	aA	76,92	aA	80,15
Consórcio	88,43	aA	80,40	aA	81,10	aA	85,85	aA	85,70	aA	84,30
Ervilhaca	62,55	bA	32,36	bB	45,77	bB	63,89	bA	59,48	bA	52,81
Nabo forrageiro	17,85	cB	32,47	bA	38,38	bA	50,97	bA	37,24	cA	35,38
Média	64,21		54,58		61,58		70,59		64,84		
CV %	16,6*										

Fonte: autora 2019. Letras minúsculas diferentes na linha, diferem as plantas de cobertura; letras maiúsculas diferentes na coluna, diferem os preparos; Onde: \*\*: significativo a 1 % de probabilidade de erro; \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

Ao avaliar a cobertura do solo por aveia, consórcio, nabo forrageiro, ervilhaca e demais espécies de plantas de cobertura hibernais, aos 30 DAS, Krenchinski et al. (2018) observou maior cobertura do solo nos tratamentos contendo aveia solteira e em consórcio.

Corroborando com o presente trabalho, ao avaliar a cobertura do solo aos 57 DAS, Dahlem (2013) obteve nos tratamentos de aveia preta e consórcio triplo, com aveia+ervilhaca+ nabo forrageiro, cobertura do solo por plantas de cerca de 83 e 85%, respectivamente, sendo obtido no presente trabalho média da cultura da aveia e consórcio de 80 e 84 % de cobertura por plantas aos 67 DAS.

Aos 67 DAS pode-se perceber o efeito dos preparos do solo na cobertura por plantas, de forma que as parcelas de ervilhaca apresentaram menor cobertura do solo quando conduzidas sob PDEa e PDEi, com taxa de cobertura do solo por plantas de 32,4 e 45,8 %, de forma que no PD, PDPMa e PDPMi apresentou cerca de 62,6, 63,9 e 59,5 % respectivamente.

O percentual de solo exposto é percebido nitidamente após a realização dos preparos e a semeadura, aos 15 DAS, de forma que houve diferença significativa entre todos os preparos do solo. Nas demais avaliações houve interação significativa entre os preparos do solo e as plantas de cobertura (Tabela 6).

O PDEa apresentou maior percentual de solo exposto devido intensidade do revolvimento realizado recentemente, com cerca de 70,8 % do solo exposto, seguido do PDPMa, com cerca de 51,5 % de solo exposto. Este resultado corrobora com Girardello et al. (2011), os quais observaram que a utilização de equipamentos semelhantes ao PDEa e PDPMa promoveram uma exposição do solo de cerca de 75 e 40% após a realização dos preparos, respectivamente.

Os menores valores de solo exposto foram observados no PD e no PDPMi, com exposição do solo de 7,63 e 14,61 %, respectivamente. O PDEi, apesar de 12 meses após a escarificação, se diferiu do PD e PDPMi, com valor superior de exposição do solo, com cerca de 25%, esse fato se deve a maior intensidade desse preparo, influenciando na dinâmica da palhada sobre o solo a longo período.

O PD apresentou os menores valores de exposição do solo em todas as avaliações, isto devido a exposição do solo ser localizada somente na linha de semeadura das plantas de cobertura, sendo que a exposição do solo reduziu de 7,6 %, na primeira avaliação para 4,5% na avaliação realizada aos 67 DAS.



De forma geral, os preparos do solo realizados anualmente apresentaram maior taxa de exposição de solo, sendo que ao passar do tempo, após os 30 DAS, pela cobertura do solo pelas plantas, foram mais nítidos nos sistemas cultivados com ervilhaca e nabo forrageiro, que obtiverem menor desenvolvimento assim consequentemente mantendo elevada exposição do solo em relação aos demais preparos e aos sistemas com uso de aveia e consórcio.

**Tabela 6**– Percentual de solo exposto em área com preparos do solo e plantas de cobertura, aos 15, 30, 53 e 67 DAS de plantas de cobertura em 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.

	PD		PDEa		PDEi		PDPMa		PDPMi		Média
15 DAS											
Aveia	6,95		70,70		25,01		50,9		11,97		33,11 <sup>ns</sup>
Consórcio	8,23		61,90		22,36		50,69		17,97		32,23
Ervilhaca	6,42		72,78		21,16		52,73		13,94		33,41
Nabo forrageiro	8,9		77,95		28,07		51,44		14,55		36,18
Média	7,63	D**	70,83	A	25,01	C	51,44	B	14,61	D	
CV %	17,12										
30 DAS											
Aveia	6,59	aD	55,74	bA	18,37	aC	49,40	bB	9,98	aD	28,02
Consórcio	3,37	aD	51,83	bA	23,14	aC	50,62	bB	11,96	aC	28,18
Ervilhaca	6,54	aD	64,85	aA	13,86	aC	51,43	aB	8,78	aC	29,09
Nabo forrageiro	10,48	aD	62,30	aA	24,64	aC	54,45	aB	13,22	aD	33,02
Média	6,74		58,68		20,0		51,48		10,99		
CV %	17,14**										
53 DAS											
Aveia	3,58	aB	25,96	bA	7,46	bB	20,84	bA	3,73	aB	12,31
Consórcio	2,57	aB	26,15	bA	6,57	bB	17,83	bA	8,13	aB	12,25
Ervilhaca	3,58	aD	71,15	aA	18,00	aC	39,70	aB	10,93	aC	28,67
Nabo forrageiro	10,09	aC	64,43	aA	21,62	aC	39,72	aB	13,32	aC	29,84
Média	4,96		46,92		13,41		29,35		9,03		
CV %	23,02**										
67 DAS											
Aveia	1,70	aB	24,75	bA	7,50	aB	14,06	bA	2,14	aB	10,03
Consórcio	1,67	aA	15,36	bA	7,50	aA	8,13	bA	8,16	aA	8,16
Ervilhaca	6,31	aC	59,71	aA	12,62	aC	24,02	aB	7,02	aC	21,94
Nabo forrageiro	8,62	aC	61,74	aA	17,71	aC	32,76	aB	4,49	aC	25,01
Média	4,58		40,32		11,33		19,75		5,45		
CV %	40,71**										

Fonte: autora 2019. Letras minúsculas diferentes na linha, diferem as plantas de cobertura; letras maiúsculas diferentes na coluna, diferem os preparos; Onde: \*\*: significativo a 1 % de probabilidade de erro; \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

### 3.3.2 Matéria seca (MS) de plantas de cobertura

O desenvolvimento de plantas de cobertura apresentou comportamento distinto, expresso pela variável MS de plantas de cobertura, as quais se diferiram entre si nas duas avaliações realizadas, não ocorrendo interação significativa entre os preparos do solo e as plantas de cobertura (Tabela 7).

No ano de 2018 a menor produção de MS foi apresentada pela ervilhaca, com 1,51 Mg ha<sup>-1</sup> de MS de parte aérea, se diferenciando das demais plantas utilizadas, enquanto a aveia, o consórcio e o nabo forrageiro, respectivamente, apresentaram produção de MS de cerca de 160, 146 e 216 % acima do tratamento de ervilhaca, sendo que estas não se diferiram entre si. Porém a maior produção de MS foi apresentada no tratamento de consórcio, em ambos os anos avaliados, isso devido a associação de aveia, nabo forrageiro e ervilhaca, sendo que, além da maior uso de sementes, apresentam competição por luz, favorecendo o maior crescimento das plantas. Ziech et al. (2015) destaca que o uso de plantas de cobertura em consórcio é recomendado em áreas conduzidas em PD, sendo o mesmo favorecido devido aos benefícios isolados proporcionados pelas distintas características das espécies.

**Tabela 7**– Produção de matéria seca (MS) (Mg ha<sup>-1</sup>) de plantas de cobertura de inverno, conduzidas em sucessão a cultura do milho e sob diferentes preparos do solo, no ano de 2018 e 2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2020.

	MS 2018		MS 2019
	Mg ha <sup>-1</sup>		
	Plantas de cobertura		
Aveia	*3,72	a	*6,33 a
Consórcio	4,78	a	6,75 a
Ervilhaca	1,51	b	2,47 b
Nabo forrageiro	3,93	a	3,62 b
	Preparos do solo		
PD	3,44	ns	5,05 ns
PDEa	3,48		5,00
PDEi	3,43		4,39
PDPMa	3,67		5,07
PDPMi	3,39		4,45
Média	3,48		4,79
CV%	21,25		22,8

Fonte: autora 2019. Letras minúsculas diferem os tratamentos nas linhas; Onde: \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro; ns=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

A consorciação de plantas de cobertura possibilita aproveitamento de luminosidade, pelo extrato diferenciado das espécies, uso efetivo do solo pelo sistema

radicular, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de N, rápida cobertura do solo, propiciando controle de plantas daninhas, maior equilíbrio de umidade e menor impacto em estresse hídrico (AMADO et al., 2014).

Produção semelhante de MS de plantas de cobertura em consórcio (aveia preta + ervilhaca + nabo forrageiro) foram obtidas em estudo realizado por Michelon et al., (2019), atingindo produção de MS de cerca de 5,0 e 4,3 Mg ha<sup>-1</sup> no ano de 2012 e 2013 respectivamente, apresentando valores maiores em relação as mesmas espécies de plantas de cobertura utilizadas de forma isolada.

A maior produção de MS encontradas nos tratamento de aveia, consórcio e nabo forrageiro em relação à ervilhaca se deve possivelmente a maior rusticidade, tolerância as condições climáticas adversas, baixa demanda de nutrientes e características de estatura de plantas apresentadas pela aveia e nabo forrageiro quando comparados com a ervilhaca (CREMONEZ et al., 2013).

As menores produção de MS do ano de 2019 foram encontradas nos tratamentos de ervilhaca e do nabo, com produção de 2,47 e 3,62 Mg ha<sup>-1</sup>, se diferindo estatisticamente da aveia e do consórcio, com produção de 6,33 e 6,75 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, de forma que no ano anterior o nabo forrageiro apresentou a segunda maior produção de MS entre as plantas de cobertura.

Amado et al. (2002) ressalta a normalidade na ocorrência de variações de produção entre anos e locais, devido à alta dependência a fatores edafoclimáticos, fitossanitários e demais alterações ocorrentes em cada ano safra, conforme ocorreu variação para a produção de MS da aveia, consórcio e ervilhaca, os quais apresentaram produção de MS elevada na avaliação de 2019 em comparação com o ano anterior, podendo observar que a precipitação do mês de julho de 2018 foi de apenas cerca de 10 mm, podendo ter limitado o desenvolvimento das plantas a partir dos 40 DAS (Figura 9).

Já o nabo forrageiro apresentou redução na produção de MS no mesmo período, possivelmente se deve à baixa emergência de plântulas e desenvolvimento comprometido da cultura, fato este que ocorre pelo uso contínuo da cultura no período de inverno na área, sendo o 5º ano de condução. Observou-se a ocorrência de mofo branco na área conduzida com nabo forrageiro, ocasionado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, devido a contaminação das sementes com escleródios, estrutura de resistência do fungo. A contaminação de sementes de nabo forrageiro se deve a elevada suscetibilidade da cultura a

doença, e posterior dificuldade na separação de sementes e escleródios, sendo que os mesmos possuem tamanho similar e o beneficiamento de culturas de cobertura serem desenvolvidos com pouca eficiência (NERY et al., 2009).

Andreotti et al. (2008) destacam que a MS requerida para funcionamento adequado do PD durante o ano safra é de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada sobre o solo. Desta forma, no ano de 2019 somente os tratamentos com aveia e consórcio supriram os valores a adição de palhada considerada ideal para o sistema, sem considerar com a palhada adicionada pela cultura de verão implantada.

Os preparos do solo não influenciaram na variável produção de MS de plantas de cobertura, nos dois anos avaliados. A produção de MS de 2019 teve maior variação entre os preparos que a anterior, sendo que as menores médias de produção de MS das plantas foram observadas nos preparos do solo com intervalo de escarificação, PDEi e PDPMi, com valores de 4,39 e 4,45 Mg ha<sup>-1</sup>, de forma que demais preparos apresentaram média de MS de plantas de cobertura acima de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup>, podendo estar relacionado aos processos de reconsolidação do solo após a escarificação, já que esses tratamentos foram escarificados duas vezes, enquanto os anuais haviam cinco escarificações na área, e o PD sem revolvimento do solo.

#### 4.3.3 Carbono (C) e Nitrogênio (N) de tecido de plantas de cobertura

Não houve interação significativa entre os preparos do solo e as plantas de cobertura a 5% de probabilidade de erro, porém as plantas de cobertura se diferiram entre si para as variáveis C no ano de 2018, N no ano de 2019, relação C:N e acúmulo de N da palhada, de tecido vegetal se diferiu estatisticamente entre as plantas de cobertura do solo para o ano de 2018, de forma que os preparos não influenciaram na elevação ou redução de todas as variáveis analisadas nas plantas de cobertura plantas de cobertura (Tabela 8).

O teor de C em plantas durante o ano de 2018 e 2019 apresentou valores semelhantes, porém no ano de 2019, devido à heterogeneidade entre as parcelas de mesmo tratamento, não se diferiram estatisticamente. A aveia apresentou maior teor de C em tecido vegetal, com cerca de 412 e 400 g de C por kg de tecido vegetal para os anos de 2018 e 2019 respectivamente, com cerca de 10,9, 22,8 e 24,9 g.kg<sup>-1</sup> superiores ao consórcio, a ervilhaca e ao nabo forrageiro no ano de 2018, respectivamente, e cerca de 6,3, 10,9 e 14,6 g.kg<sup>-1</sup>,

respectivamente no ano de 2019.

**Tabela 8** – Quantidade de Carbono orgânico (C), referente ao ano de 2018 e 2019, Nitrogênio total (N), relação C:N e acúmulo de N referente ao ano de 2019, de plantas de cobertura conduzidas em preparos do solo e em sucessão a cultura do milho. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020.

	C 2018		C 2019		N 2019		Relação C:N		Acúmulo N
	-----		g. kg <sup>-1</sup>	-----					kg. ha <sup>-1</sup>
Plantas de cobertura									
Aveia	412,3	a	400,0		12,9	b	33,3	a	82,6
Consórcio	401,4	b	393,7		15,4	b	27,0	a	106,0
Ervilhaca	389,5	c	389,1		26,9	a	15,6	b	67,2
Nabo forrageiro	387,4	c	375,6		18,2	b	21,6	a	63,0
Média	397,7		389,6		18,1		27,4		78,8
CV%	4,48*		6,84 <sup>ns</sup>		27,16*		33,05*		37,01 <sup>ns</sup>
Preparos do solo									
PD	403,9		402,5		17,3		37,8		86,6
PDEa	398,5		381,8		18,8		22,6		82,1
PDEi	385,1		396,3		18,1		24,0		73,2
PDPMa	398,1		385,8		17,7		27,8		79,7
PDPMi	402,6		381,6		18,3		24,7		72,6

Fonte: autora 2020. Letras minúsculas diferem os tratamentos nas linhas; Onde: \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro ns=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

Sagrilo et al. (2014) destacam que a adição de C anual no sistema, requerida para manutenção do estoque original de C orgânico no solo, varia entre 3,9 a 4,05 Mg ha<sup>-1</sup> para região Sul do Brasil. A adição de C por plantas de cobertura no ano de 2018 variou de 0,6 Mg C ha<sup>-1</sup>, pela ervilhaca, à 1,9 Mg C ha<sup>-1</sup>, pelo consórcio de plantas, em 2019, a ervilhaca apresentou menor adição, 1 Mg C ha<sup>-1</sup>, e o consórcio novamente proporcionou a maior adição 2,7 Mg C ha<sup>-1</sup>. De forma geral a maior adição de C no ano de 2019 se deve a maior produção de MS das plantas de cobertura. Além da adição de C via plantas de cobertura esse aporte também é realizado pela cultura do milho e, em 2019, pelo trigo mourisco.

O maior teor de N foi observado na cultura da ervilhaca, conforme já esperado, por ser uma fabácea, com capacidade de fixação biológica de nitrogênio, enquanto o tecido vegetal de aveia, consórcio e nabo forrageiro apresentaram cerca de 14, 11,5 e 8,7 g.kg<sup>-1</sup> inferior a ervilhaca.

A ervilhaca apresenta baixos valores de C e elevado valor de N em seu material vegetal, conseqüentemente tornando a cultura com a menor relação C:N, o que justifica sua acelerada decomposição e liberação de N em relação as demais culturas. A relação C:N de 15,6 da ervilhaca se diferiu estatisticamente das demais espécies utilizadas.

A relação C:N das plantas determina a velocidade de decomposição da palhada por microrganismos do solo, pela sua mobilização ou imobilização de N, de forma que a relação C:N que as bactérias e fungos de solo, responsáveis pelo processo de decomposição do material, apresentam é em média 8:1, devido a utilização de 2/3 de C para respiração, na forma de CO<sub>2</sub>, e apenas 1/3 metabolizado. Desta forma Brady; Weil (2013) determinam que os microrganismos incorporam cerca de 24 g de C para 1g de N, de forma que a relação C:N de equilíbrio de plantas recomendada é próximo ao 25.

Levando em consideração a relação C:N de equilíbrio da palhada para imobilização e mineralização pelos microrganismos, o consórcio de plantas de cobertura seria indicado, pois além de maior cobertura do solo pela produção de MS, teria durabilidade superior sob o solo, e fornecimento de N as plantas sucessoras. Doneda et al. (2012) destacam que o uso de plantas de cobertura em forma de consórcio gera relação C:N da palhada intermediária, quando comparadas com o uso isolado das culturas.

Ziech et al. (2015) observou resultados semelhantes em trabalho desenvolvido no sudoeste do Paraná, com uso de plantas de cobertura hibernais em sucessão a cultura do milho, de forma que a ervilhaca apresentou menor concentração de C em tecido vegetal, 347 g kg<sup>-1</sup>, quando comparado com a aveia, nabo forrageiro e consórcio (aveia+nabo forrageiro+ ervilhaca) que obtiveram teores de C de 420, 399 e 389 g kg<sup>-1</sup>. De mesmo modo que a ervilhaca apresentou o maior teor de N em tecido, quando comparado com as demais espécies utilizadas, e conseqüentemente a menor relação C:N da palhada.

Apesar do maior teor de N ser observado no tecido vegetal de ervilhaca, quando o relacionamos com a produção de MS, apresenta um dos menores acúmulos de N, 67,2 kg ha<sup>-1</sup>, de mesma forma que o nabo forrageiro apresenta acúmulo semelhante, 63 kg ha<sup>-1</sup>. O maior valor de acúmulo de N ocorreu no consórcio de plantas de cobertura, com disponibilização de 106 kg ha<sup>-1</sup> de N via palhada, isto devido a maior produção de MS associada com a junção de materiais de gramínea, brássica e fabácea.

Wolschick et al. (2016) obtiveram maior teor de N na MS de parte aérea de ervilhaca, cerca de 2,86 %, quando comparada com aveia, nabo forrageiro e consórcio, que apresentaram teores respectivos de 1,51, 1,74 e 2,20%. Porém os resultados de acúmulo de N contrapõem o presente trabalho, sendo que os maiores acúmulos de N foram obtidos nos tratamentos de ervilhaca e consórcio, com acúmulo de 261,6 e 211,2 kg. ha<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto a aveia e o nabo forrageiro apresentam acúmulo de cerca de 92 e

75 kg. ha<sup>-1</sup> de N. Isto se deve a maior produção de MS associada aos maiores teores de N do tecido quando comparados com o nabo forrageiro e a aveia.

Os preparos do solo não influenciaram significativamente na composição do tecido vegetal de plantas de cobertura e no acúmulo de N. Contrapondo o presente trabalho, Ferreira et al. (2011) observaram diferença significativa no acúmulo de N em plantas de cobertura, em que em área conduzida sob PD o acúmulo de N do tecido vegetal foi superior a áreas conduzidas em preparo convencional, com diferença entre os dois preparos de cerca de 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, isto devido alterações na produção de MS de plantas de cobertura. Apesar de não apresentar diferença significativa e diferença inferior entre os preparos de solo do acúmulo de N, o PD apresentou a maior média de acúmulo, quando comparada com os demais preparos.

#### 4.3.4 Trigo mourisco na entre-safra milho e plantas de cobertura

A produção de MS e produtividade do trigo mourisco não foram influenciadas pelos manejos do solo e o uso de plantas de cobertura, estatisticamente a 5% de probabilidade de erro (Tabela 9). Com ciclo curto, aproximadamente 62 dias, a produção de MS atingiu média geral de 1807,37 kg ha<sup>-1</sup> de palhada, apesar de ser uma planta precoce, possui característica de maturação desuniforme e degrane natural, dessa forma apresenta incremento de MS até o final do ciclo, outro fator relacionado à baixa produção de MS e de produtividade pode estar relacionado à ausência de adubação na cultura e ao déficit nutricional de nitrogênio, ocasionado pela alta relação C:N da palha do milho (KLIEMANN et al., 2003).

O trigo mourisco vem sendo difundido pelo ciclo rápido, com capacidade de ser inserido em janelas de curto período entre-safras principais, sendo que além de cobertura de solo de solo possui mercado para comercialização de grãos, ainda pouco explorado na região sudoeste do Paraná. Produtividade de grãos de trigo mourisco de cerca de 2300 kg ha<sup>-1</sup> foram obtidas por Silva et al. (2002) em região de cerrado, com irrigação durante o ciclo da cultura, enquanto presente trabalho apresentou média de 929,6 kg ha<sup>-1</sup> de produtividade de grãos.

**Tabela 9** – Produção de matéria seca (MS) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e produtividade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de trigo mourisco na entre-safra milho e plantas de cobertura na safra 2018/2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020.

Tratamento	Aveia	Consórcio	Ervilhaca	Nabo forrageiro	Média
Matéria seca ( $\text{Mg,ha}^{-1}$ )					
PD	1,71	1,96	2,00	2,05	1,93
PDEa	1,44	1,72	1,54	2,10	1,70
PDEi	1,45	1,69	1,62	1,63	1,60
PDPMa	1,88	1,84	2,21	1,47	1,85
PDPMi	1,43	1,82	2,29	2,29	1,96
Média	1,58	1,81	1,93	1,91	1,81
CV%	29,7 <sup>ns</sup>				
Produtividade ( $\text{Mg,ha}^{-1}$ )					
PD	0,62	1,08	1,19	0,83	0,93
PDEa	0,71	0,81	0,87	0,98	0,84
PDEi	0,94	0,91	1,13	1,02	1,00
PDPMa	1,03	0,71	0,79	0,99	0,88
PDPMi	0,83	1,13	1,01	1,01	1,00
Média	0,83	0,93	1,00	0,97	0,93
CV%	33,2 <sup>ns</sup>				

Fonte: autora 2020. Onde: ns=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

#### 4.3.5 Cultura do milho

O efeito dos preparos do solo e das plantas de cobertura sobre a população de plantas, produção de MS e produtividade da cultura do milho encontram-se na Tabela 10 e na Tabela 11 para as safras 18/19 e 19/20, respectivamente. Os componentes avaliados na cultura do milho não apresentaram interação significativa para os preparos do solo e plantas de cobertura, do mesmo modo que os fatores avaliados isoladamente não apresentaram respostas na safra 18/19 e 19/20, exceto para a variável MS na safra 19/20, que foi alterada pelas plantas de cobertura.

A população de plantas final foi inferior à recomendada pela cultivar, de 75000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , sendo que o experimento apresentou média de 66419,75 e 54691,35 plantas  $\text{ha}^{-1}$  para safra 18/19 e 19/20, respectivamente, porém não se diferiu estatisticamente entre os tratamentos, podendo ter influenciado nos resultados de produção de MS e produtividade da cultura do milho de forma geral, devido não ter atingido seu maior potencial produtivo, de forma que o milho apresenta plasticidade baixa para compensar a população como pode ocorrer em outras culturas comerciais como soja e trigo.

A produção de MS de milho em sucessão a plantas de cobertura, conduzidas sobre os diferentes preparos do solo, foi em média de 14,2  $\text{Mg ha}^{-1}$  para safra 18/19



(Tabela 10). De forma geral a cultura do milho apresenta elevada adição de palhada sobre o solo, além da palhada da gramínea ser de alta relação C:N, permanecendo sobre o solo em um maior período de tempo, quando não incorporada por processos de escarificação do solo.

Apesar da baixa produção de MS da ervilhaca durante o período de inverno, a produtividade da cultura do milho em sucessão não foi alterada em relação às áreas cultivadas com outras espécies de cobertura, com maior produção de MS. Esse fato se deve a disponibilidade de N da ervilhaca para a cultura do milho. COOMS et al. (2017) destacam o potencial de espécies de fabáceas na disponibilidade de N e, conseqüente, aumento na produtividade da cultura do milho, associada a utilização de N via cobertura em dose considerável a cultura. A média geral de produtividade de grãos, 10,3 Mg ha<sup>-1</sup>, foi superior a média de produtividade do estado do Paraná, que na safra 18/19, foi de cerca de 8,8 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019). Isto se deve a utilização de adubação mineral, já que os tratamentos não refletiram na produtividade da cultura.

**Tabela 10** – Desdobramento dos dados (população de plantas, matéria seca de milho em estágio de pendoamento (MS) e produtividade de grãos com umidade ajustada a 13%) da cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura e preparos do solo na safra 2018/2019. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020.

	População de plantas	MS Mg ha <sup>-1</sup>	Produtividade Mg ha <sup>-1</sup>
		Plantas de cobertura	
Aveia	67654,31 <sup>ns</sup>	13,53 <sup>ns</sup>	10,35 <sup>ns</sup>
Consórcio	64938,27	15,03	10,16
Ervilhaca	68395,06	14,29	10,56
Nabo forrageiro	64691,35	13,96	10,07
		Preparos do solo	
PD	62654,32 <sup>ns</sup>	14,51 <sup>ns</sup>	9,29 <sup>ns</sup>
PDEa	68209,87	13,47	10,65
PDEi	66666,66	13,49	10,26
PDPMa	66975,30	14,54	10,49
PDPMi	67592,59	14,99	10,75
Média	66419,75	14,2	10,29
CV %	12,95	19,54	12,81

Fonte: autora, 2020. Onde <sup>ns</sup>= não significativo a 5% de probabilidade. PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

O bom desempenho do milho na safra 18/19 se deve as condições hídricas favoráveis de forma geral, onde a precipitação mensal dos meses de setembro, outubro e novembro foram superiores a 190 mm (Figura 9), coincidindo com fase de germinação, estabelecimento da cultura, estágio V4, onde é realizada a aplicação de N via ureia, devido a fase de diferenciação de células e formação de componentes de rendimento. Apenas no mês de dezembro, em que o milho se encontrava em fase de enchimento de grãos, houve

redução da precipitação mensal, com cerca de 30 mm precipitados.

Porém na safra 19/20 houve uma redução de cerca de 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> na produtividade da cultura do milho (Tabela 11) quando comparada a safra anterior. A redução na produtividade da segunda safra avaliada pode ser justificada pela ocorrência de estiagem na fase inicial da cultura ocasionando estabelecimento desuniforme e redução da população. A produtividade da safra 19/20 foi semelhante a média do estado do Paraná para safra 18/19.

Contrapondo o presente trabalho, Michelon et al. (2019) obteve acréscimo na produtividade da cultura do milho nas áreas de utilização de consórcio (aveia preta+ ervilhaca + nabo forrageiro) e ervilhaca solteira em relação ao uso isolado das demais espécies de cobertura em sucessão a cultura do milho, apresentando produtividade de 9,0 e 6,8 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho na safra 2012/2013, respectivamente, enquanto as culturas isoladas apresentaram cerca de 3,0 e 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> nas áreas em sucessão a aveia preta e nabo forrageiro, respectivamente.

**Tabela 11** – Desdobramento dos dados (população de plantas, matéria seca de milho em estágio de pendoamento (MS) e produtividade de grãos com umidade ajustada a 13%) da cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura e preparos do solo na safra 2019/2020. UTFPR, Câmpus Pato Branco -PR, 2020.

	População de plantas	MS Mg ha <sup>-1</sup>	Produtividade Mg ha <sup>-1</sup>
Plantas de cobertura			
Aveia	55555,55 <sup>ns</sup>	9,57* a	8,93 <sup>ns</sup>
Consórcio	47407,40	8,15 b	8,05
Ervilhaca	56296,29	7,13 b	9,03
Nabo forrageiro	59506,17	10,12 a	8,78
Preparos do solo			
PD	54938,27 <sup>ns</sup>	8,70 <sup>ns</sup>	8,82 <sup>ns</sup>
PDEa	58333,33	9,26	8,69
PDEi	55555,55	8,56	8,81
PDPMa	53086,41	9,22	8,24
PDPMi	51543,20	7,96	8,91
Média	54691,35	8,74	8,70
CV %	17,62	27,36	20,59

Fonte: autora 2020. Letras minúsculas diferem os tratamentos nas linhas; Onde: \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro ns=não significativo a 5% de probabilidade; PD=Plantio direto; PDEa= Plantio direto escarificado anualmente; PDEi= Plantio direto escarificado com intervalo; PDPMa= Plantio direto preparo mínimo anualmente; PDPMi= Plantio direto com preparo mínimo com intervalo;

Em estudo realizado sob Argissolo Vermelho distrófico típico, no Rio Grande do Sul, em sistema de plantio direto contínuo e escarificado, com uso de plantas de cobertura, Debiasi et al. (2010) relatam que a escarificação do solo possui efeito negativo ao longo dos anos na produtividade da cultura do milho, em relação a áreas conduzidas em PD contínuo.

A produção de MS da cultura de milho na safra 19/20 foi alterada conforme

a planta de cobertura implantada anteriormente, na qual os tratamentos com ervilhaca e consórcio reduziram a produção de MS do milho. Isso devido à estiagem ocorrente no final do ciclo das plantas de cobertura e estabelecimento inicial da cultura do milho, na qual a dessecação das plantas de cobertura não foi eficiente na ervilhaca, assim competindo posteriormente por água com as plântulas de milho, de forma que o efeito da ervilhaca foi evidente quando utilizada isoladamente provocou produção de MS de milho de  $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  e quando utilizada consorciada com nabo e aveia  $8,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  sendo as menores produções de MS quando comparadas com a sucessão aveia e nabo forrageiro isolado, com produção de MS de milho de  $9,6$  e  $10,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente.

Os preparos do solo não influenciaram na produtividade do milho nas safras 18/19 e 19/20, sendo que mesmo com ocorrência de déficit hídrico para a cultura do milho na última safra avaliada não houve diferenças significativas para a produtividade de grãos. Deste modo deve-se avaliar a viabilidade econômica da realização de preparos do solo, sendo que a terceirização da escarificação na região sudoeste do Paraná possui custo de cerca de R\$ 180,00 a hora de trabalho, sendo que para escarificação de 1 ha, utiliza de 1-2 horas, dependendo da compactação e umidade do solo no momento do preparo, variando até R\$360,00 por ha de custo adicional a produção, sendo esse nulo em área conduzida sob plantio direto.

#### 4.4 Conclusões sobre o assunto Produção de matéria seca de plantas e produtividade da cultura de milho

A taxa de cobertura do solo foi influenciada pelos preparos do solo e o uso de plantas de cobertura, sendo os maiores valores de solo exposto encontrados nos tratamentos escarificados anualmente.

A Ervilhaca apresentou menor produção de MS no ano de 2018, quando comparada com as demais espécies, porém no ano de 2019 o nabo também apresentou menor produção de MS, similar a ervilhaca, quando comparada ao consórcio e aveia.

A menor relação C:N foi obtida no tecido vegetal da ervilhaca, em função de seu maior teor de N em tecido.

O Consórcio de plantas de cobertura proporciona maior acúmulo de N via

palhada.

O trigo mourisco não foi influenciado pelas plantas de cobertura e pelos preparos do solo para as variáveis MS e produtividade.

A cultura do milho apresentou maior produção de MS quando conduzida em sucessão a aveia e ao nabo forrageiro na safra 19/20.

A produtividade da cultura do milho não foi alterada em função dos preparos do solo e do uso de plantas de cobertura na safra 18/19 e 19/20.

## 5 CONCLUSÕES

A persistência dos efeitos de escarificação são inferiores a 12 meses após escarificação para as variáveis Ds, Ma, Mi e Pt.

O PD não apresenta restrição ao desenvolvimento radicular de plantas quando comparado aos demais preparos.

O PDPMa é eficiente para aumentar a taxa de infiltração de água no solo.

As plantas de cobertura não influenciaram nos atributos físicos do solo avaliados após 36 meses de condução do experimento.

O PDEa apresenta elevado percentual de solo exposto após preparo quando comparado com o PDPMa e ainda maior quando comparado com o PD.

Os preparos do solo não influenciaram na produção de matéria seca e produtividade de plantas.

O consórcio de plantas e a aveia possuem elevado potencial de adição de MS quando comparado com a ervilhaca e o nabo isolados.

A cultura do milho não foi alterada pelo uso de plantas de cobertura e preparos do solo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de solo apresentados se referem à realização de quatro escarificações realizadas no PDEa e PDPMa, duas no PDEi e PDPMi e solo não escarificado no PD. Este fato demonstra os efeitos nulos da escarificação para Ds, Ma, Mi, Pt e atributos de plantas de cobertura e cultura do milho e do trigo mourisco avaliados.

Os preparos de solo não influenciaram na produção de MS das plantas de cobertura e os parâmetros avaliados na cultura do milho. Apesar de encontrado valores elevados de resistência do solo à penetração de raízes (RP) aos 40 meses de condução do experimento no PD, não refletiu no desenvolvimento de plantas, possivelmente devido as condições hídricas ideais para desenvolvimento das culturas, sendo que esta é diretamente ligada a umidade do solo, quanto maior a umidade do solo menor será a RP e vice e versa.

Os preparos do solo não influenciaram na produção de MS e produtividade da cultura do milho, sendo recomendado assim o uso do PD como forma de maior viabilidade econômica de produção, devido este não possuir custo adicional de produção pelo uso de preparo do solo.

Apesar das alterações na resistência do solo a penetração e na infiltração de água no solo, a cultura de interesse comercial utilizada, milho, não apresentou estatisticamente acréscimo de produtividade em relação ao PD, desta forma tendo um maior custo de produção nas áreas com preparo do solo, ainda mais nos preparos anuais.

Em caso de redução na adubação de base e nitrogenada, possivelmente as plantas de cobertura poderiam influenciar na produtividade da cultura do milho.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. S. S. A.; DA SILVA SOUZA, L.; DA SILVA PAZ, V. P.; DOS SANTOS SILVA, F. T.; SANTOS, D. N.; PEREIRA, J. D. S. L. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Amarelo Distrocóeso, no município de Cruz das Almas. **Irriga, Botucatu**, v. 22, n. 2, p. 259, abr/jun. 2017.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.
- AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R. da S.; & FERREIRA, A. de O. **Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto**. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 83 p, 2014.
- AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J.; AITA, C.. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241-248, 2002.
- ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V.F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, p.109-115, 2008. DOI:10.4025/actasciagron.v30i1.1158.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 425-435, 2005.
- BERISSO, F.E.; SCHJONNING, P.; KELLER, T.; LAMANDE, M.; ETANA, A.; DE JONGE, L.W.; IVERSEN, B.V.; ARVIDSSON, J.; FORKMAN, J. Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. **Soil Tillage Research**, v. 122, p.42-51, 2012.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.28, p.155-163, 2004.
- BOLLIGER, A BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T.J.C.; NETO, F.S.; SANTOS RIBEIRO, M.F.; CALEGARI, A.; RALISCH, R. & NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian "Zero Till Revolution". **Advances in Agronomy**, 91:47-110, 2006.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 685 p. 2013.
- BURLE, M.L.; CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F.; PEREIRA, J. **Caracterização das espécies de adubo verde**. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.71-142. 2006.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J. & FREDERICK, J.R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil Tillage Research**, v.68, p. 49-57, 2002.

CABREIRA, M. A.F. **Levantamento das classes de solos da Área Experimental Da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos**. 2015. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, 2015.

CAMARA, R K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. Faculdade de agronomia e medicina veterinária, universidade de passo fundo – FAMV/UPF, Passo Fundo, RS, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2005.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, T. F. Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: **IAPAR**, 2012.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T. ; MENEGOL, D. R.; ROS, C. O da.; PIAS, O. H. de C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**. v.44, p.425-432, 2014.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento, Acompanhamento safra brasileira de grãos, v. 6 - **Safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento**, Brasília, p. 1-47 setembro 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Séries históricas, Brasília: Conab 2018. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos). (Acessado em 23 Out. 18), 2018.

COOMBS, C. LAUZON, J.D.; DEEN, B.; VAN EERD, L.L. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Field Crops Research** 201: 75-85. 2017.

CREMONEZ, P.A.; FEIDEN, A.; CREMONEZ, F.E.; ROSSI, E. de; ANTONELLI, J.; NADALETI, W.C.; TOMASSONI, F. Nabo forrageiro: do cultivo a produção de biodiesel. **Acta Iguazu**, v.2, p.64-72, 2013.

CRUZ, C.D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v.38, n.4, p.547-552, 2016.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas: **SBCS**, 90 p, 1993.

DAHLEM, A R. **Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob plantio direto no sudoeste do Paraná**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N.. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de**



**pesquisas na Embrapa Soja**, Londrina, PR. 2013.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREINADOR, C. R.; CONTE, O; KAMIMURA, K. M.; Rendimento de soja e milho depois de coberturas de inverno do solo e mecânica do solo afrouxando. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.2010; 45 (6): 603-612.Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100204X201000060001011>.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 80p. (Circular, 73). 1992.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A.. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), 96p. (Documentos IAPAR, 9). 1985.

DONEDA, A .; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R.. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2012, vol.36, n.6, pp.1714-1723. ISSN 1806-9657. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600005>.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2011, vol.35, n.5, pp.1713-1722. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500026>.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa agropecuária brasileira** [online]. 2016, vol.51, n.2, pp.159-168. ISSN 0100-204X. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>.

DUARTE JUNIOR, J.B.; COELHO, F. C.. **Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto**. Bragantia, Campinas, v.67, n.3, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2011.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.

FEBRAPDP – Área do sistema plantio direto no Brasil. Disponível em:

FERREIRA, Daniel Barcelos. **Efeito de diferentes densidades populacionais em características agrônômicas de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench)**. 2012.

FERREIRA, E. P. de B.; STONE, L. F.; PARTELLI, F. L.; DIDONET, A. D.. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2011, vol.15, n.7, pp.695-701. ISSN 1415-4366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000700007>.

FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria

orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, 24:24-30, 2008.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N. de; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v.137, p.178-185, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.003.

FRASIER, I.; QUIROGA, A.; NOELLEMEYER, E. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. **Science of The Total Environment**, 562, 628-639, 2016.

GATIBONI, L.C.; COIMBRA, J.L.M.; WILDNER, L.P. & DENARDIN, R.B.N. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. **Revista Biotemas**, v. 22, n. 2, 2009.

GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.S.; HORBE, T.A.N.; FERREIRA, A.O.; TABALDI, F.M. & LANZANOVA, M.E. Alterações nos atributos físicos de um latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. v.35, p. 2115-2126, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011.

GORGEN, Angela Valentini. **Produtividade e qualidade da forragem de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR) e de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*. Moench) cultivado no cerrado**. 2013.

<https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf> Acessado em: 02 Nov. 2019.

KLIEMANN, H.J.; MAGALHÃES, R.T.; OLIVEIRA, I.P.; MORAES, M.F. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com os índices de disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema barreira de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, p.49-56, 2003.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; ALBRECHT, L. P.; WOBETO, K. S.; ALBRECHT, A. J. P. Desempenho agrônomico de soja cultivada em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesq. agropec. bras. [online]**. 2018, vol.53, n.8, pp.909-917. ISSN 0100-204X. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000800005>.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*. Ankeny, v. 36, p. 341-3, 1981.

LANDERS, J. N. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS). Brasília, DF: Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 113 p. (ABEAS. Curso Plantio Direto. Módulo 1), 2005.

LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LOPES, E.S.; SAMPIETRO, J.A.; LOMBARDI, K.C.; DIAS, A.N. Avaliação da umidade na compactação do solo submetido ao tráfego de máquinas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 35, p.659-667, 2011.

MAHL, D.; SILVA, R. B. da; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A.. Resistência do solo à

penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.30, p. 741-747. 2008.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1197-1206, 2011.

MELLO, N. A. de; CONCEIÇÃO, P. C. **Evolução de sistema de manejo do solo e produtividade agropecuária no estado do Paraná.** IN: MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F. *Sistemas de Produção Agropecuária*, 336 p., Dois Vizinhos, 2008.

MICHELON, J. C.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; NETO, L. R.; OLIVEIRA, Z. B.; Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Fev. 2019.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. *Rev Bras. Ciênc. Solo [online]*. 2014, vol.38, n.1, pp.288-298. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>.

NERY, M. C.; CARVALHO, M. L. M. D.; OLIVEIRA, J. A.; KATAOKA, V. Y. Beneficiamento de sementes de nabo forrageiro. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(4), 36-42, 2009.

NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 1735-1742. 2008.

NUNES, M.R.; DENARDIN, J.E. FAGANELO, A.; PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S. Efeito de semeadora equipada com haste sulcadora para ação profunda em solo com plantio direto., *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.38, p.627-638, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000200027.

PIETERS, A. J. Green manuring. Principles and practices. New York: John Wiley, p.10-16, 1927 Apud NEGRINI, Ana C. A. **Desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) consorciada com diferentes adubos verdes.** Dissertação (Mestrado em Agronomia). 2007. 113.f Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41, 2015.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; GUBIANI, P.I.; KAISER, D.R.; MINELLA, J.P.G. & REINERT, D.J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: FILHO, O.K.; MAFRA, A.L. & GATIBONI, L.C., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, p.1-54. 2011.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência e Ambiente*, 27:29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S.; HORN, R. Mecânica do solo. In:

van LIER, Q.J., ed. Física do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 29-102, 2010.

SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Leguminosas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R.S; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S. (Ed.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2.ed. Brasília: Embrapa, p.305-320. 2012.

SEAB/DERAL. **Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural**. 2014. Disponível em : <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho\\_2013\\_14.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2013_14.pdf)> Acessado em: 22 jul. 2017.

SEIDEL, E.P.; SCHNEIDER, A.P.H.; SUSTAKOWSKI, M.C.; MATTÉ, L.M.; MOTTIN, M.C.; SILVA, J.H. Soybean yield, soil porosity and soil penetration resistance under mechanical scarification in no-tillage system. **J. Agric Sci**, 278, 2018.

SILVA, D. B. et al. SILVA, D.B.; GUERRA, A.F.; SILVA, A.C.; PÓVOA, J.S.R. **Avaliação de genótipos de mourisco 7. na região do cerrado**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa, Brasília, v. 21, p. 8-11, 2002.

SILVA, S.G.C.; SILVA, A.P. da; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A. SÁ, J.C.M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.36, p.547-555, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000200024.

SILVEIRA JUNIOR, S.D. da; SILVA, A.P. da FIGUEIREDO, G.C.; TORMENA, C.A. GIAROLA, N.F.B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, p.1854-1867, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000600020.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STRECK, C.A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do Sul do Brasil**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 95p. (Tese de Doutorado), 2007.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**. v.34, p.755-760, 2004.

TRABUCO, M. **Produção de milho em plantio direto após plantas de cobertura**. 2008. 54f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

USDA - **United States Department of Agriculture**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. (Acessado em 19 Out. 19), 2018.

VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. de S.; POSSENTI, J. C. Probability distributions of frequency analysis of rainfall at the southwest region of Paraná State, Brazil.

**Revista de Ciências Agroveterinárias.** Mai 2018.

WOLSCHICK, N.H.; BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; SANTOS, K.F. DOS; WERNER, R. DE S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, n.2, p.134–143, 2016. <https://doi.org/10.5965/223811711522016134>.

XU, C. H.; WANG, C. Z.; CHAN, C. T.; HO, K. M. A transferable tight-binding potential for carbono. **Journal of physics: Condensed Matter**. 1992.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; & GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

ZWIRTES, A.L; SPOHR, R.B.; BARONIO, C.A.; MENEGO, D.R.; ROSA, G.M.;MORAES, M.T.Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3489-3500, 2013.

**APÊNDICES**

APÊNDICE A – Equipamento e solo após a escarificação com Jumbo na UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



APÊNDICE B – Equipamento e solo após a escarificação com Terrus na UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.

