

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

LUCIANO PESSOA DE ALMEIDA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO NA
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS
EM DUAS LOCALIDADES NO SUDOESTE PARANAENSE**

TESE

PATO BRANCO

2021

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

LUCIANO PESSOA DE ALMEIDA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO NA
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS
EM DUAS LOCALIDADES NO SUDOESTE PARANAENSE**

TESE

PATO BRANCO

2021

LUCIANO PESSOA DE ALMEIDA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO NA
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM
DUAS LOCALIDADES NO SUDOESTE PARANAENSE**

**Chemical, physical and biological soil attributes under no-till vegetable
system implementation in two locations in Southwestern Paraná**

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área
de Concentração: Produção Vegetal da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Thiago de Oliveira Vargas

Coorientador: Alcir José Modolo

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco**



LUCIANO PESSOA DE ALMEIDA

ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM DUAS LOCALIDADES NO SUDOESTE PARANAENSE

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Produção Vegetal.

Data de aprovação: 23 de Abril de 2021

Prof Thiago De Oliveira Vargas, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Luis Cesar Cassol, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Nuno Rodrigo Madeira, Doutorado - Embrapa

Prof Paulo Cesar Conceicao, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Ricardo Henrique Silva Santos, Doutorado - Fundação Universidade Federal de Viçosa (Ufv)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 09/06/2021.

À minha família, pelo amor, incentivo e apoio em todos os momentos desta caminhada.

Ao grande amor da minha vida, minha querida Silvia, companheira de todas as horas, parceira nos momentos mais decisivos deste trabalho, fonte de inspiração desta tese. Amo você!!!

Aos meus filhos Vitor e Henrique. Vocês são pessoas especiais. O pai ama vocês!!!

Aos meus pais Maria Aparecida, Luiz Alberto e meu irmão Luis Gustavo que mesmo a distância não mediram esforços em emanar as melhores energias para a realização deste sonho.

A minha sogra Nely que sempre esteve pronta para o que fosse necessário e meu sogro Dirceu (*in memorian*) um exemplo de vida a se seguir.

Aos cunhados Alexandra, Sérgio e Josiane, pelo carinho e atenção.

DEDICO.

A todos aqueles que acreditam em uma agricultura sustentável, respeitando sempre o meio ambiente e as dádivas do mesmo.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar aqui meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, desde o preparo do solo, plantios, coletas de campo e análises laboratoriais: acadêmicos, colegas, amigos, família, professores, funcionários da UTFPR, Campus Pato Branco... sem vocês nada disso poderia ter sido feito. Sou muito grato a ajuda de cada um de vocês!

Ao meu orientador Prof. Dr. Thiago de Oliveira Vargas pela paciência e por ter me proporcionado a oportunidade de realizar o doutorado, pela amizade, confiança e pelos valiosos conselhos durante minha orientação. Muito obrigado!

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alcir José Modolo pelo apoio em vários momentos, sugestões na redação desta tese e pela boa convivência.

Aos membros da banca, Dr. Nuno Rodrigo Madeira, Dr. Paulo Cesar Conceição, Dr. Ricardo Henrique Silva Santos e Dr. Luís César Cassol, pela leitura cuidadosa e crítica e pelas importantes sugestões.

À Prof. Dra. Carolina Riviera Duarte Maluche Baretta, por todo apoio e ensinamentos nas análises biológicas do solo.

Ao Prof. Dr. Fernando Perobelli Ferreira pela colaboração e apoio nas análises físicas do solo.

Ao Prof. Siumar Pedro Tironi e aos colegas da Coordenação Adjunta de Áreas Experimentais da UFFS Campus Chapecó (CAAEX-CH), pelo apoio prestado nos momentos em que me afastei das atividades da UFFS para a realização deste trabalho.

Aos colegas do laboratório de solos da Unochapecó, em especial aos colegas Édpool, Alana, Erika, Willian e Eduarda, pela valiosa ajuda nas análises microbiológicas.

A todos os professores do PPGAG, pelos ensinamentos e colaboração no meu desenvolvimento profissional.

Aos colegas do Grupo de Olericultura e do Núcleo de Estudos em Agroecologia e Produção Orgânica do Sudoeste do Paraná (NEA_Sudoeste_PR), pelo apoio em vários momentos durante a condução dos experimentos, em especial aos colegas John, Matheus, Lucas, Juan, Edinéia, Jaqueline e Grasielle.

À família do Sr. José de Quadros (Sr. Juca), que muito gentilmente

cedeu um espaço em sua propriedade para instalação do experimento e nos proporcionou momentos agradáveis durante o convívio nas atividades de campo.

Ao pesquisador e amigo Cristiano Nesi pela grande ajuda nas análises estatísticas, foram vários e-mail e mensagens com dúvidas.

À empresa Raix Sementes, em especial aos amigos André Rech e Ana Maccari que muito gentilmente nos cederam os materiais de plantas de cobertura para a realização dos experimentos.

Aos colegas de pós-graduação, amigos e amigas que conquistei durante a trajetória.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro (434830/2018-6).

Ao LABSOLOS/Unochapecó, pelo apoio na condução das análises biológicas do solo.

Ao LABSOLOS/UTFPR pelo auxílio na construção do conhecimento e nas análises efetuadas para esse trabalho.

A Epagri/CEPAF, pelo apoio na realização de uma parte das análises químicas de solo.

A UFFS, por meio do PLEDUCA (Plano de Educação Formal para os servidores Técnico-Administrativos da UFFS) pela oportunidade para a realização do trabalho.

À minha querida família, que além da compreensão nos momentos em que estive ausente, ajudaram ativamente na construção deste trabalho nas diversas lidas de campo. Foi muito gratificante para todos nós! Amo vocês!

*"O segredo da vida é o solo,
porque do solo dependem as plantas,
a água, o clima e nossa vida.
Tudo está interligado.
Não existe ser humano sadio
se o solo não for sadio
e as plantas bem nutridas"*

Ana Maria Primavesi

RESUMO

ALMEIDA, Luciano Pessoa de. Atributos químicos, físicos e biológicos do solo na implantação do sistema plantio direto de hortaliças em duas localidades no Sudoeste Paranaense. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

O sistema plantio direto de hortaliças (SPDH) é um manejo de solo e água alternativo ao sistema convencional, no qual o plantio é feito sobre os restos culturais do cultivo anterior ou de plantas de cobertura do solo, com revolvimento de solo localizado, restrito às linhas ou berços de plantio. Dentre os benefícios do SPDH destacam-se o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, a redução da necessidade da aplicação de agroquímicos, a proteção do solo contra a erosão, a redução da incidência das plantas invasoras e do consumo de água e o aporte de nutrientes provenientes das plantas de cobertura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da implantação do sistema plantio direto de hortaliças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo na região Sudoeste Paranaense. Para isso, foram conduzidos dois experimentos de implantação de SPDH, sendo um em Coronel Vivida e outro em Pato Branco, ambos no estado do Paraná. Em Coronel Vivida foram testados seis consórcios de cobertura de inverno mais uma testemunha (plantio sem cobertura de solo) no plantio direto de brócolis e couve-flor em sucessão ao milho verde. Já no experimento em Pato Branco foram testados um tratamento com aveia preta solteira, quatro combinações de plantas de cobertura de inverno, denominadas MIX, e uma testemunha sem cobertura do solo e com manejo do solo simulando o sistema de plantio convencional de hortaliças. No experimento de Pato Branco, onde avaliou-se a produção de brócolis em função das coberturas de solo em SPDH, para as variáveis diâmetro de caule, diâmetro de cabeça e matéria fresca de cabeça observou-se diferença significativa apenas para as plantas cultivadas nas parcelas testemunhas (plantio com manejo convencional do solo). Na avaliação dos atributos químicos, a utilização das plantas de cobertura e a deposição de seus resíduos no SPDH proporcionou acréscimo do teor de matéria orgânica no segundo ano de cultivo no experimento em Pato Branco. Observou-se maior porosidade do solo, em Pato Branco, quando comparado com o tempo zero (momento antes da implantação do experimento). Também no experimento em Pato Branco a atividade biológica nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura antecedendo o cultivo de brócolis foi superior quando comparada com a testemunha. Em Coronel Vivida não foram observadas diferenças significativas para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo na implantação do SPDH.

Palavras-chave: Olericultura; Plantio direto; Manejo e conservação do solo; Plantas de cobertura.

ABSTRACT

ALMEIDA, Luciano Pessoa de. Chemical, physical and biological soil attributes under no-till vegetable system implementation in two locations in Southwestern Paraná. 97 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop production), Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

The no-till vegetable system (SPDH) is an alternative soil and water management to the conventional system, in which planting is done on the cultural remains of the previous crop or on ground cover plants, with localized soil tillage, restricted to rows or planting holes. Among the benefits of the SPDH, we highlight the increase in soil organic matter content, reduction in the need for agrochemicals application, protection of the soil against erosion, reduction in the incidence of invasive plants and the consumption of water, and the nutrient input from cover crops. The present work had as objective to evaluate the effect of the implantation of the no-till vegetable system on the chemical, physical and biological attributes of the soil in the Southwest region of Paraná. Regarding this purpose, two SPDH implantation experiments were conducted, one placed in Coronel Vivida and the other in Pato Branco, both in the Paraná state. In Coronel Vivida, six winter cover intercropping plus planting without soil cover were tested in the direct planting of broccoli and cauliflower in succession to green corn. During the experiment in Pato Branco, a treatment with single black oat, four units of winter cover crops, called MIX, and a control without soil cover and with soil management, simulating the conventional vegetable planting system, were tested. In the experiment in Pato Branco, in which the broccoli production was evaluated as a function of soil cover in SPDH, for the stem diameter, head diameter and fresh matter head variables, a difference was observed only for cultivated plants in the controlled checked plots (planting with conventional soil management). In the evaluation of chemical attributes, the cover crops usage and the deposition of their non-SPDH residues provided an increase in the organic matter content in the second year of cultivation in the Pato Branco experiment. Greater soil porosity was observed in Pato Branco, when compared to time zero (the moment before the implementation of the experiment). Also, in the Pato Branco experiment, the biological activity in plots cultivated with cover crops prior to broccoli cultivation was higher when compared with the control. In Coronel Vivida no differences were observed for the chemical, physical and biological attributes of the soil with the SPDH implementation.

Keywords: Vegetable production; Soil management and conservation; Cover crops.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Temperatura mínima, média e máxima do ar e precipitação pluviométrica, referente ao período de condução do experimento (abril 2019 a janeiro 2021). Pato Branco-PR, 2021. 30
- Figura 2 – Temperatura mínima, máxima e média do ar e precipitação pluviométrica, referente ao período de condução do experimento (junho 2017 a fevereiro 2019). Pato Branco-PR, 2021..... 35
- Figura 3 – Temperatura mínima, máxima e média do ar e precipitação pluviométrica, referente ao período de condução do experimento (abril 2019 a janeiro 2021). Pato Branco-PR, 2021. 38
- Figura 4 – Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m do solo e pH em CaCl₂, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V), teor de matéria orgânica (MO), Fluxo de CO₂ do solo aos 24 dias de incubação (Cmin), Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), Quociente metabólico (qCO₂) e Quociente microbiano (Qmic) na camada de 0,00 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). A) Considerando apenas os tratamentos B) Considerando a Mata e o tempo 0. Pato Branco-PR, 2021.....62
- Figura 5 – Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m do solo e pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V), teor de matéria orgânica (MO), Fluxo de CO₂ do solo aos 24 dias de incubação (Cmin), Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), Quociente metabólico (qCO₂) e Quociente microbiano (Qmic) na camada de 0,00 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....63

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Características químicas do solo da área experimental de Pato Branco avaliadas de 0 a 0,20 metros de profundidade. Pato Branco-PR, 2021.....31
- Tabela 2 – Características químicas do solo da área experimental de Coronel Vivida avaliadas de 0 a 0,20 metros de profundidade. Pato Branco-PR, 2021.....35
- Tabela 3 – Plantas de cobertura e suas combinações utilizadas na área experimental em Coronel Vivida. Pato Branco-PR, 2021.....36
- Tabela 4 – Características químicas do solo da área experimental de Pato Branco avaliadas de 0 a 0,20 metros de profundidade. Pato Branco-PR, 2021.....39
- Tabela 5 – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), nitrogênio total (NTotal) e nitrogênio acumulado (NA) das combinações de plantas de cobertura em dois anos agrícolas: aveia preta (AV), mixes RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....45
- Tabela 6 – Médias de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), teor de nitrogênio total (Ntotal) e nitrogênio acumulado (NA) da cobertura de milho + milho em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), mix RAIX210, mix RAIX330, mix RAIX520 e mix RAIX610. Pato Branco-PR, 2021.....47
- Tabela 7 – Médias de altura de planta (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTIE), comprimento de espiga empalhada (CEE), comprimento de espiga despalhada (CED), diâmetro da espiga empalhada (DEE), diâmetro da espiga despalhada (DED) e produção total de espigas empalhadas (ProdT) do milho em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), mix RAIX210, mix RAIX330, mix RAIX520 e mix RAIX610. Pato Branco-PR, 2021.....49
- Tabela 8 – Médias de diâmetro do caule (DCAU), diâmetro da cabeça (DCAB), número de folhas (NF), altura de planta (ALTP), matéria fresca de cabeça (MFCAB) e nitrogênio total (Ntotal) de brócolis em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), mix RAIX210, mix RAIX330, mix RAIX520 e mix RAIX610. Pato Branco-PR, 2021.....50
- Tabela 9 – Valores médios de pH em CaCl₂, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.....52
- Tabela 10 – Valores médios de pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2020 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....53
- Tabela 11 – Valores médios de pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....54
- Tabela 12 – Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF),

tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.....	56
Tabela 13 – Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	57
Tabela 14 – Mineralização acumulada de carbono aos 24 dias de incubação ($C_{min_{0-24d}}$), Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), Quociente metabólico (qCO_2) e Quociente microbiano (Q_{mic}) na camada 0 a 10 cm do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB) e em Pato Branco em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	59

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CEPAF	Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
PR	Unidade da Federação – Paraná
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP	Análise de componentes principais
AE	Área experimental
ALTIE	Altura da inserção da espiga
ALTP	Altura de plantas
C-BMS	Carbono da biomassa microbiana
Ca	Cálcio
CED	Comprimento da espiga despalhada
CEE	Comprimento da espiga empalhada
Cfa	Clima subtropical com verão quente
cm	centímetro
Cmin	Mineralização acumulada de carbono
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAT	Dias após transplântio
DCAB	Diâmetro da cabeça
DCAU	Diâmetro do caule
DED	Diâmetro de espiga despalhada
DEE	Diâmetro da espiga empalhada
dm ³	Decímetro cúbico
DS	Densidade do solo
g	gramas
ha	Hectare
K	Potássio
Kg	Quilograma
M	Molar
m	metro
m/v	massa/volume
MAP	Macroporosidade
MF	Matéria Fresca
MFCAB	Matéria fresca da cabeça
Mg	Magnésio
mg	miligramas
MIP	Microporosidade
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria Orgânica do Solo
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
P	Fósforo
pH-Água	Potencial hidrogeniônico em água
pH-CaCl ₂	Potencial hidrogeniônico em Cloreto de Cálcio
PPR	Plantio com preparo reduzido
ProdT	Produção total de espigas
PT	Porosidade total
qCO ₂	Quociente metabólico
qMic	Quociente microbiano
S	Sul

SPC	Sistema Plantio Convencional
SPD	Sistema Plantio Direto
SPDH	Sistema Plantio Direto Hortaliças
t	tonelada
Trat.	Tratamento
V	Saturação por bases (%)
VPA	Variedade de polinização aberta
W	Oeste

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca registrada
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Sistema Plantio Direto (SPD) e Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)....	21
2.2 Adubação verde e plantas de cobertura no SPDH.....	24
2.3 Plantas de cobertura e sua relação com os atributos físico-químicos e biológicos do solo no SPDH.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Cultivo de brássicas em SPDH sob plantas de cobertura de inverno.....	30
3.2 Atributos químicos, físicos e biológicos em solos sob sistema plantio direto de hortaliças.....	34
3.2.1 Amostragem do solo.....	41
3.2.2 Análises físicas do solo.....	42
3.2.3 Análises químicas do solo.....	43
3.2.4 Análises biológicas do solo.....	43
3.2.5 Análises estatísticas.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1 Cultivo de brássicas em SPDH sob plantas de cobertura de inverno.....	45
4.2 Atributos químicos, físicos e biológicos em solos sob sistema plantio direto de hortaliças em duas localidades.....	52
5 CONCLUSÕES.....	65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE A – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), nitrogênio total (N _{Total}) e nitrogênio acumulado (NA) das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	86
APÊNDICE B – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da matéria fresca (MF), matéria seca (MS), nitrogênio total (N _{total}) e nitrogênio acumulado (NA) da cobertura de milho + milheto em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	87
APÊNDICE C – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da altura de planta (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTIE), comprimento de espiga empalhada (CEE), comprimento de espiga despalhada (CED), diâmetro da espiga empalhada (DEE), diâmetro da espiga despalhada (DED) e produção total de espigas (ProdT) do milho em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	88

APÊNDICE D – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do diâmetro do caule (DCAU), diâmetro da cabeça (DCAB), número de folhas (NF), altura de planta (ALTP), matéria fresca de cabeça (MFCAB) e nitrogênio total (N _{total}) de brócolis em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	89
APÊNDICE E – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do pH em CaCl ₂ , potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.....	90
APÊNDICE F – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2020 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	91
APÊNDICE G - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	92
APÊNDICE H - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.....	93
APÊNDICE I - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	94
APÊNDICE J - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da mineralização acumulada de carbono aos 24 dias de incubação (C _{min} _{24d}), Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), Quociente metabólico (qCO ₂) e Quociente microbiano (Q _{mic}) na camada 0 a 10 cm do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB) e em Pato Branco em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.....	95

1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças no sistema plantio convencional (SPC) tem degradado as características físicas do solo pela utilização intensiva de implementos durante o revolvimento do solo na formação dos canteiros, especialmente pelo uso de rotocultivadores ou enxadas rotativas, causando pulverização da camada superficial e compactação nas camadas mais inferiores do solo. O SPC também promove degradação química e biológica do solo devido à grande utilização de agroquímicos e ao baixo aporte de matéria orgânica no sistema. Estas degradações tornam a produção insustentável do ponto de vista socioeconômico e ambiental, levando o olericultor muitas vezes a abandonar a atividade ou buscar novas áreas.

É indispensável a busca de sistemas de manejo que contemplem alternativas para os modelos atuais de SPC, com sustentabilidade ambiental e com viabilidade econômica. Faz-se necessário o desenvolvimento e a adaptação de tecnologias que visem reduzir as perdas de solo e água, a recuperação das características físico-químicas e biológicas do solo, num contexto mais amplo de sistema de produção e não em uma visão simplista e imediatista.

Com a intenção de sanar estes problemas no cultivo das hortaliças, o sistema plantio direto de hortaliças surgiu com a premissa de ser um sistema sustentável de manejo de solo e água, com o objetivo de permitir com que as hortaliças expressem todo seu potencial genético.

O sistema plantio direto (SPD), consagrado na produção de grãos, ainda é pouco pesquisado na produção de hortaliças no Brasil. As primeiras experiências foram com o cultivo mínimo de cebola na década de 1980 no estado de Santa Catarina, principalmente motivado pela degradação devido a processos contínuos de erosão do solo desse estado. Apesar de um relativo avanço inicial, já na década seguinte um pequeno percentual de áreas continuava adotando o sistema (MADEIRA, 2009).

Não menos importante que o sistema plantio direto de hortaliças (SPDH) verifica-se também um sistema intermediário, denominado plantio com preparo reduzido (PPR), que consiste na incorporação e uniformização superficial dos resíduos culturais com uma passada de grade niveladora semi fechada (ou semi

aberta) em área total, facilitando o plantio posterior das hortaliças. Esse sistema intermediário começou a ser utilizado por agricultores, especialmente em tomate rasteiro e cebola, nos estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo.

Dentre os benefícios do SPDH destacam-se o aumento dos estoques de carbono no solo, a redução ou até a supressão da necessidade da aplicação de agroquímicos, a proteção do solo contra a erosão, a redução da incidência das plantas invasoras, a redução do consumo de água e o aporte de nutrientes provenientes das plantas de cobertura, o que faz do SPDH um sistema conservacionista na produção de hortaliças.

A estrutura do solo também pode ser afetada pelo sistema de manejo adotado na produção de hortaliças, podendo ter melhoria, manutenção ou perturbações como compactação, problemas na infiltração e na disponibilidade de água para as plantas, além de erosão hídrica. Um solo com estrutura adequada apresenta agregados estáveis e distribuição de poros uniforme, melhorando a infiltração de água no solo. O conhecimento de atributos físicos como a densidade, a macro e a microporosidade, a presença e a estabilidade dos agregados, e a resistência à penetração devem ser mensurados a fim de se diagnosticar as mudanças estruturais que ocorrem no solo ao longo do tempo proporcionadas pela adoção do SPDH.

A matéria orgânica do solo (MOS) é amplamente reconhecida como indicadora de qualidade. O aumento e a manutenção dos teores de MOS são fundamentais para alcançar as melhores produtividades das culturas. O manejo inadequado do solo com arações e gradagens e principalmente pelo uso de enxadas rotativas (muito comum em hortaliças) pode levar a alterações nas características quantitativas e qualitativas da MOS. Sistemas de produção de hortaliças considerados conservacionistas, tais como o plantio direto, o cultivo mínimo ou o plantio com preparo reduzido podem ser estratégias para aumentar os teores e a qualidade da MOS.

A biomassa microbiana do solo é um dos mais diversos e importantes atributos biológicos, atuando como agente da transformação bioquímica dos resíduos adicionados ao solo e compostos orgânicos e como reservatório de nutrientes. Além de ser considerada a parte viva da MOS, a biomassa microbiana é

utilizada como indicador biológico da qualidade do solo, e com a adoção do SPDH pode elevar sua concentração em comparação aos sistemas convencionais de plantio.

Devido à lacuna de informações sobre o SPDH na região Sudoeste do Paraná, o presente trabalho visa responder às seguintes perguntas: A adoção do SPDH melhora os atributos físico-químicos e biológicos do solo? Tal forma de manejo e uso do solo pode estabelecer inter-relações com a qualidade do solo por meio dos atributos físico-químicos e biológicos? Ocorre aumento na produtividade das hortaliças na implantação do SPDH?

Nesse contexto o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da implantação do SPDH na produção de brássicas e nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo na região Sudoeste Paranaense e, para isso, foram conduzidos dois experimentos de implantação de SPDH em duas áreas distintas, com os objetivos específicos de: (1) avaliar a produção das plantas de cobertura de solo de inverno e verão utilizadas na implantação dos experimentos; (2) avaliar a produção das hortaliças na implantação de um SPDH; (3) avaliar as alterações nas características químicas, físicas e biológicas do solo; (4) relacionar os atributos do solo e os diferentes tratamentos utilizados nas implantações do SPDH através de uma análise multivariada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema Plantio Direto (SPD) e Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)

O Sistema Plantio Convencional (SPC) na olericultura é caracterizado por intensiva movimentação do solo, exigindo grande gasto de energia e causando desequilíbrio no ambiente solo-planta, principalmente pela redução da matéria orgânica e da diversidade dos organismos do solo. Uma das principais consequências em áreas de cultivo de hortaliças implantadas no SPC é a perda das características que conferem qualidade do solo (VALARINI et al., 2011). O somatório desses aspectos é um dos grandes responsáveis pelas baixas produtividades das hortaliças causando prejuízos ao agricultor (LIMA; MADEIRA, 2013).

O Sistema Plantio Direto (SPD) consiste em um conjunto integrado de técnicas que tem como fundamentação o revolvimento mínimo do solo restrito a cova ou sulco de plantio, a diversificação de espécies pela rotação, a sucessão e consorciação de culturas mantendo a palhada das plantas de cobertura sobre o solo durante todo o ciclo de cultivo (GIRARDELLO et al., 2017; FREITAS; LANDERS, 2014).

Devido às significativas vantagens do SPD, sua adoção está progressivamente aumentando em todo o mundo, sendo praticado em aproximadamente 180 milhões de hectares, principalmente nos Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e Austrália (KASSAN et al., 2018). No Brasil, a área com plantio direto é de cerca de 33 milhões de hectares (FUENTES-LLANILLO et al., 2021), porém para hortaliças ainda é pouco praticado, talvez devido à escassez de informações este processo.

Segundo Madeira (2009), os primeiros relatos de experiências com Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) no Brasil surgiram em Santa Catarina, na década de 1980, com o cultivo mínimo de cebola. Estas experiências foram motivadas pelo agravamento contínuo dos processos erosivos dos solos desse estado, um dos maiores produtores de cebola do país, chegando a ter metade da área cultivada com a cultura no SPD. Apesar deste grande avanço do SPDH, na

década de 90, a área de plantio direto foi reduzida e em 2009 tinha menos de 5% do total.

O SPDH é responsável pela formação de uma camada de palhada na superfície do solo, oriunda das plantas de cobertura, a qual mantém ou melhora as características físicas, químicas e biológicas dos solos, sendo uma alternativa ambientalmente correta e economicamente viável (FAROOQ et al., 2011; HOBBS et al., 2008; HUGGINS; REGANOLD, 2008).

O plantio intensivo de hortaliças expõe o solo à erosão pela ação da chuva e do vento (SOUZA et al., 2014a; CAIXETA et al., 2009), e também pode levar à formação de uma camada compactada no subsolo resultante da pressão exercida pelo uso da grade, do arado e, especialmente da enxada rotativa para levantamento dos canteiros (LAL et al., 2007). Neste contexto, diversos trabalhos têm mostrado que o SPD é capaz de reduzir as perdas de solo quando comparado com sistemas convencionais de produção agrícola (SOKOLOWSKI et al., 2020; MADEIRA et al., 2019; LOSS et al., 2017; SOUZA et al., 2014a; OLIVEIRA et al., 2012; BAGATINI et al., 2011; PANACHUKI et al., 2011; MARQUES et al., 2010; CAIXETA et al., 2009).

Avaliando as perdas de solo causadas por erosão hídrica em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo, Souza et al. (2014a) observaram que o plantio direto apresentou redução de 66% nas taxas de perda de solo em relação ao SPC. Outros trabalhos com plantio direto de grãos também têm relatado menor perda de solo e água e conseqüentemente redução da erosão hídrica em função da manutenção da cobertura vegetal e do mínimo revolvimento do solo (ALMEIDA et al., 2016; PANACHUKI et al., 2011; BERTOL et al., 2007).

O SPDH pode, além de evitar a erosão do solo, reduzir o consumo de água para irrigação na atividade agrícola, uma vez que a sua adoção melhora a estruturação do solo, aumentando a infiltração e retenção de água (MAROELLI et al. 2006; 2010).

Além de todos os benefícios relacionados às características do solo e do meio ambiente, o SPDH também proporciona aumento da produtividade das hortaliças podendo gerar maior ganho para os agricultores que aderem a esta

técnica de cultivo. Avaliando sistemas de cultivo da cebolinha, Araújo Neto et al. (2010) observaram maior produção quando a cebolinha foi cultivada sob plantio direto na palhada seca em relação ao SPC. Santini; Simões (2017), ao avaliarem o cultivo de brócolis sob o SPD em área de integração lavoura-pecuária, observaram que o SPDH proporciona maior produtividade, desde que manejado adequadamente no sentido de evitar a excessiva compactação do solo, demonstrando ser uma prática conservacionista eficaz.

Comparando o efeito de diferentes sistemas de manejo conservacionista de solo sobre os aspectos produtivos de melão amarelo (*Cucumis melo* L.) em casa de vegetação, Lima et al. (2017) observaram incrementos na produtividade e no número médio de frutos produzidos em SPD (61,5 e 61,2 t ha⁻¹ no primeiro e segundo ciclo, respectivamente) e no cultivo mínimo (59,7 e 57,5 t ha⁻¹ no primeiro e segundo ciclo, respectivamente) em comparação com o SPC (44,2 e 40,1 t ha⁻¹ no primeiro e segundo ciclo, respectivamente). Tavella et al. (2010), ao avaliarem a produção de coentro em plantio direto orgânico com cobertura viva e morta adubado com composto, observaram que o SPDH sob palhada de resteva natural e o SPC proporcionaram os melhores resultados em todas as variáveis avaliadas, comparado com os SPDH sob cobertura viva de amendoim forrageiro e plantas espontâneas.

Avaliando a produção de alface em SPDH, Girardello et al. (2017) relataram maior produção de matéria fresca quando a alface foi cultivada em SPDH utilizando as coberturas de aveia preta + ervilhaca em relação à testemunha (pousio). Oliveira et al. (2006) por outro lado, não observaram diferenças da produtividade de matéria fresca de alface quando cultivada em plantio direto sobre cobertura viva de grama batatais ou amendoim forrageiro em comparação com o SPC.

Na olericultura atual ainda é complexo o estabelecimento de um SPD a longo prazo, semelhante ao que se observa em culturas de grãos. As características intrínsecas à atividade da olericultura como o mercado dinâmico, baixa produção de palhada pelas olerícolas, adaptabilidade restrita ao sistema, uso intensivo da propriedade, têm dificultado a implantação do SPDH. O que se verifica é o plantio de culturas sobre a palhada, sem revolvimento do solo, porém não permanentemente a

ponto de caracterizar-se um SPDH propriamente dito (MELO et al., 2010).

O fato é que há a necessidade da mitigação de processos erosivos, os quais comprometem os aspectos sócio-econômicos e ambientais das propriedades agrícolas. Nesse contexto, a oportunidade da realização de rotação de culturas, melhor aproveitamento de água e o apelo da proteção ao meio ambiente tem gerado interesse de pesquisadores e agricultores na implantação do SPDH, sem revolvimento, ainda que não se atinja um sistema de longo prazo (BULAN et al., 2015; MELO et al., 2010; MADEIRA, 2009).

O SPDH pode trazer um novo modo de produção na olericultura moderna, combinando uma melhor estruturação do solo com uma maior eficiência na utilização da água e melhor controle de plantas daninhas, o que é especialmente relevante para regiões com condições de alta variabilidade de chuvas, baixa oferta de mão de obra, acesso limitado à irrigação e alto risco de erosão do solo (ALLIAUME et al., 2017).

2.2 Adubação verde e plantas de cobertura no SPDH

A adubação verde pode ser definida como uma prática agrícola utilizada para a fertilização do solo utilizando espécies de plantas de cobertura para a produção de biomassa como fonte de nutrientes para culturas subsequentes, proteção e melhoria da qualidade do solo (SOUZA et al., 2012; SOUZA; ALCÂNTARA, 2008). Entre outros benefícios, as plantas de cobertura proporcionam reduções das temperaturas máximas e amplitude térmica, maior conservação de água e nutrientes, proteção contra agentes erosivos e maior controle de plantas espontâneas (MU et al., 2016; THOMAZINI et al., 2015; SILVA et al., 2013).

As plantas de cobertura podem ser utilizadas em sistema de rotação, sucessão ou consórcio com as hortaliças, objetivando manter ou aumentar os teores de matéria orgânica no solo (MOS), deixando-o em melhores condições para o desenvolvimento da cultura de interesse comercial e, principalmente, o fornecimento de N pelo emprego de leguminosas (HE et al., 2009; TORRES et al., 2008; TORRES et al., 2005).

Além de oferecer proteção à superfície do solo devido à manutenção

da palha e do crescimento da raiz, as plantas de cobertura possuem várias características que melhoram o ambiente da cultura, como a incorporação de nitrogênio atmosférico quando da utilização de espécies leguminosas, ciclagem de nutrientes, melhoria de atributos físicos e químicos do solo, entre outros benefícios que ajudam a aumentar a produtividade das culturas (ROBAČER et al. 2016; YAU et al., 2010; ZUAZO; PLEGUEZUELO, 2008).

A adubação verde proporciona inúmeras vantagens ao cultivo de hortaliças. As crotalárias são amplamente conhecidas por reduzir a população de nematoides no solo (WANG et al., 2014). As plantas utilizadas como adubos verdes também atuam na disponibilização de nutrientes ao trazer para camadas superficiais do solo nutrientes que estão em maior profundidade. Além disso, a adubação verde favorece a manutenção da MOS e o “sequestro” de carbono da atmosfera, recupera solos degradados e reduz a infestação por plantas daninhas (ROBAČER et al., 2016; GUEDES FILHO et al., 2013; DONEDA et al., 2012).

Algumas plantas de cobertura têm potencial para reduzir a densidade de plantas daninhas durante e após o seu ciclo, devido à liberação de compostos alelopáticos (CIACCIA et al., 2015). Chen et al. (2017) observaram que o cultivo mínimo associado com resíduos de plantas de cobertura apresentou grande potencial no controle de plantas daninhas nos cultivos de berinjela e milho doce, reduzindo a necessidade da utilização de herbicidas ou do controle manual em sistemas orgânicos. Resultados semelhantes foram observados na cultura de pimenta por Campiglia et al. (2012), onde as coberturas de ervilhaca peluda e da mistura ervilhaca peluda e aveia proporcionaram redução da incidência de plantas daninhas e produtividade semelhante ao SPC.

As plantas da família leguminosa (Fabaceae) são amplamente divulgadas para serem utilizadas na adubação verde, tanto em SPC quanto orgânico (GSELMAN; KRAMBERGER, 2008). Contudo, outras plantas de diferentes famílias botânicas podem ser utilizadas para essa finalidade. Atualmente há uma ênfase no uso de diferentes espécies da antiga família das gramíneas (Poaceae), as quais possuem uma melhor adaptação ao solo e clima das diferentes regiões do Brasil, especialmente para o cultivo convencional em que é permitida a utilização de herbicidas. Como exemplos de plantas desta família: aveia branca e preta,

braquiárias, milho e milho (ROBAČER et al., 2016).

2.3 Plantas de cobertura e sua relação com os atributos físico-químicos e biológicos do solo no SPDH

A utilização de plantas de cobertura de solo é uma alternativa capaz de reduzir as limitações do uso de fertilizantes minerais ou de esterco e compostos orgânicos (DINIZ et al., 2007). Ao estudarem diferentes tipos de plantas de cobertura de inverno em diferentes sistemas de manejo da cobertura na produção de berinjela (*Solanum melanogena* L.), Radicetti et al. (2016) observaram que a quantidade residual de N deixado no solo após o cultivo da berinjela foi maior no tratamento com ervilhaca do que nos tratamentos com colza (*Brassica napus* L.) ou aveia. As espécies de cobertura do solo e o manejo da matéria seca também influenciaram a eficiência no uso do nitrogênio e o rendimento da berinjela, sendo que a estratégia do plantio direto é preferencial com plantas de cobertura leguminosas com o objetivo de reduzir os riscos de perdas de N pelo aporte deste nutriente pelas plantas da família das leguminosas (Fabaceae).

O uso de plantas de cobertura em cultivo solteiro ou consorciado em sistema plantio direto é uma prática eficaz na recuperação e incremento dos conteúdos de carbono orgânico total e nitrogênio total no solo (MADEIRA et al., 2019; COMIN et al., 2018; FERREIRA et al., 2018). Plantas de cobertura melhoram a absorção de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e realizam a complexação de elementos tóxicos como o alumínio, além de aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC) pelo aumento no conteúdo de matéria orgânica no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008; NASCENTE et al., 2015).

Avaliando a influência da palhada das plantas de cobertura aveia-preta e do tremoço branco em plantio solteiro e consorciado sobre os atributos químicos do solo cultivado com milho verde orgânico sob plantio direto, observou-se que as plantas de cobertura proporcionaram incrementos nos valores de pH, P, K e Ca (FAVARATO et al., 2015). Em outro estudo, avaliando a interferência do cultivo de plantas de cobertura sobre a produção de cebola e os atributos químicos do solo em sistema plantio direto (SPD) agroecológico, SOUZA et al. (2013) verificaram que os

atributos químicos do solo, com exceção do K trocável, P disponível e valores de saturação da CTC a pH 7,0 por bases, não foram afetados pelo cultivo das plantas de cobertura. Os mesmos autores reportam que o cultivo e a deposição da matéria seca das plantas de cobertura em SPD contribuíram para o aumento inicial e a manutenção posterior da produção total de cebola.

Na cultura da cebola em SPDH por oito anos, Souza et al. (2021) observaram que o cultivo da hortaliça em SPDH e a deposição de matéria seca de aveia preta, centeio e rabanete consorciados melhoraram e mantiveram as propriedades químicas do solo. As plantas de cobertura combinadas com o preparo do solo limitado às linhas de plantio aumentaram o rendimento total da cebola e a produção de cabeças de cebola de maior diâmetro à medida que o sistema se estabilizou ao longo do tempo.

Os atributos físicos do solo também são modificados pelo aporte e manejo das plantas de cobertura em SPD (LOSS et al., 2017; OLIVEIRA et al. 2015; BETIOLI JÚNIOR et al., 2012; FONTES et al., 2007). Dentre as características físicas, a densidade e o espaço poroso podem ser utilizados como indicadores da qualidade física do solo de acordo com o manejo ao qual o solo está sendo submetido (CARDOSO et al. 2014). Segundo Loss et al. (2017) ao avaliarem os atributos físicos do solo cultivado com cebola em SPDH e SPC do solo por 6 anos, comparados à área de floresta secundária, foi observado que o SPDH aumentou os índices de agregação, a porosidade total e umidade volumétrica em comparação ao SPC, equiparando aos índices de agregação da área de mata. O nabo solteiro ou consorciado com aveia e centeio melhorou os atributos físicos do solo em comparação com o SPC.

Em estudo buscando avaliar a qualidade física do solo em função de sistemas de manejo em propriedades orgânicas e convencionais, observou-se que os manejos com menor revolvimento do solo deixaram este mais denso e estável. Sistemas de cultivo reduzido, tais como plantio direto ou cultivo mínimo, têm a capacidade de melhorar a qualidade física do solo em termos de estrutura e armazenamento de água no solo, tanto em agricultura convencional como em agricultura orgânica. Deve-se ter o cuidado com o aumento da densidade do solo, pois este pode impedir a condução da água sendo prejudicial às culturas sensíveis à

compactação do solo (CRITTENDEN et al., 2015).

A matéria orgânica do solo (MOS) compõe a base fundamental para se obter uma rentabilidade agrônômica sustentável. Através dos seus efeitos diretos, tem condições de modular os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, sendo o seu teor e as frações que a compõe considerados importantes indicadores de qualidade do solo (COSTA et al., 2013).

A utilização de plantas de cobertura no SPD representa uma oferta de resíduos orgânicos (fonte de carbono) que ficam na superfície do solo (CAMPIGLIA et al., 2014). O SPD também pode mitigar as emissões de carbono devido à rotação de culturas e os resíduos orgânicos que ficam na superfície do solo, promovendo uma degradação gradual da MO e favorecendo a incorporação de carbono (CONCEIÇÃO et al., 2013; BAYER et al., 2009). A proteção física da MOS nos agregados estáveis do solo sob SPD reduz a decomposição de MOS e favorece o acúmulo de carbono (SIX et al., 2004).

Diversos são os trabalhos que tem constatado o aumento dos teores de MO com a adoção do SPDH (MELO et al., 2016; SOUZA et al., 2014b; SANTOS et al., 2012; LOSS et al., 2010a; LOSS et al., 2010b). Por outro lado, alguns autores têm reportado resultados contraditórios, não encontrando diferenças estatísticas nos teores de carbono orgânico total (COT) e N no solo após a implantação do SPDH (BIANCHINI, 2013; SOUZA; GUIMARÃES, 2013).

O solo é também um ambiente biológico dinâmico, onde ocorrem estreitas inter-relações dos organismos presentes. Essa relação solo-organismos é essencial para a manutenção do equilíbrio ecológico (COTTA et al., 2015), tornando o solo um sistema complexo de interações fazendo dele um ambiente único e peculiar (CARDOSO; ANDREOTTI, 2016; BERENDSEN et al., 2012; RAAIJMAKERS et al., 2009).

Os microrganismos que habitam o solo possuem funções que são de grande importância, consideradas indispensáveis para a manutenção do agroecossistema. Algumas destas funções são amplamente conhecidas como a degradação de compostos orgânicos e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia (BRANDANI; SANTOS, 2016; MIRANSARI, 2013; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999; WARDLE; GILLER, 1996). A biomassa microbiana do solo é

considerada a parte viva da MOS. Com exceção das raízes e organismos maiores, em média representa 2 a 5% do carbono orgânico e 1 a 5% do nitrogênio total do solo (DE- POLLI e GUERRA, 2008; CERRI et al., 1992).

A microbiota do solo é responsável pela ciclagem de nutrientes do sistema, sendo a biomassa microbiana potencial reservatório de nutrientes às plantas. Neste sentido a busca por sistemas de produção que maximizem a atividade da microbiota no solo são formas de se alcançar a sustentabilidade agrícola e a proteção ao meio ambiente (KLEINA, 2017).

Ao avaliarem o cultivo de melão em ambiente protegido sobre diferentes sistemas de manejo, Lima et al. (2016) encontraram elevados teores de CBM (carbono da biomassa microbiana) e qMIC (quociente microbiano) no cultivo convencional provavelmente ligados ao revolvimento do solo, que promove a quebra dos agregados do solo e, então, disponibiliza substrato (matéria orgânica) antes encapsulado, promovendo o crescimento provisório da biomassa microbiana. Os autores destacam que estes teores elevados de CBM e qMIC encontrados no plantio convencional se devem ao curto prazo do experimento.

A mobilização do solo provocada pelos sistemas convencionais proporciona a incorporação de resíduos orgânicos com a disponibilização imediata de substratos orgânicos em razão da quebra de agregados do solo, podendo elevar a biomassa microbiana no curto prazo. Porém, a longo prazo, este aumento da biomassa microbiana pode ter efeitos negativos como a diminuição dos teores de MOS (RESCK, 1998), redução da biomassa microbiana (SOUZA et al., 2014b; VALARINI et al., 2011) e sua diversidade (SOUZA et al., 2012).

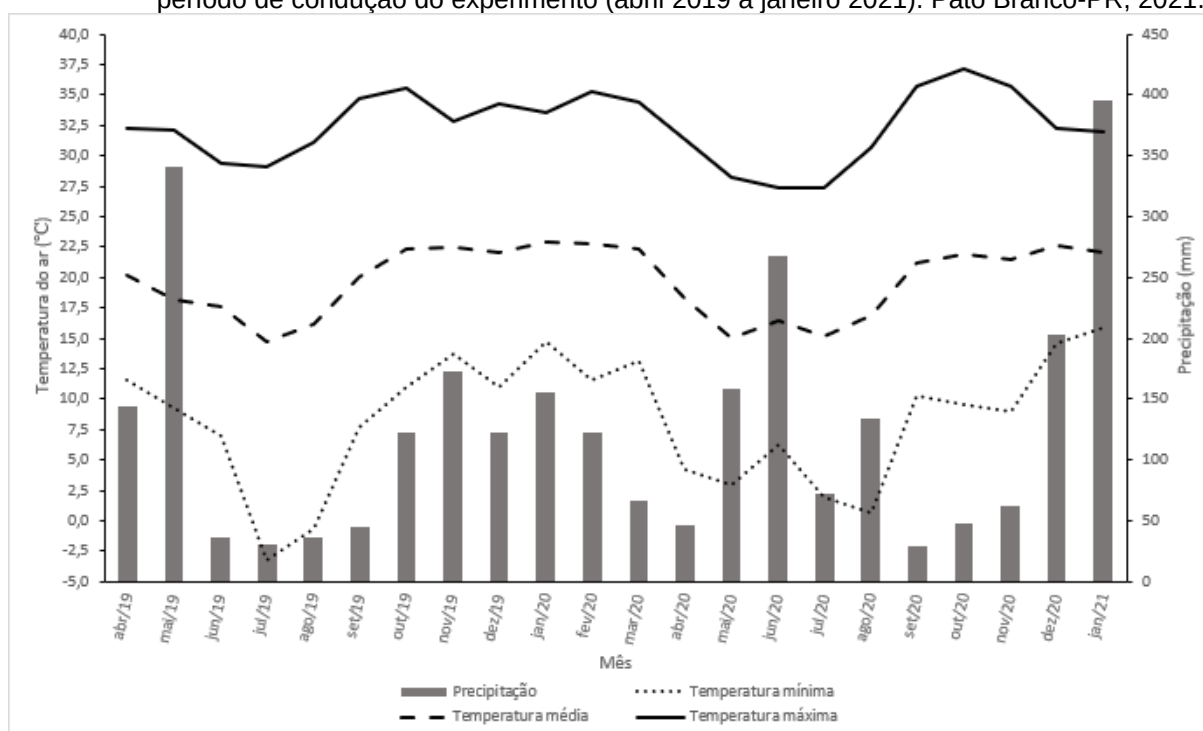
Alguns trabalhos de longo prazo, comparando SPD com sistemas convencionais de produção têm observado aumento dos valores de biomassa microbiana e carbono orgânico total (DADALTO et al., 2015; THOMAZINI et al., 2015; MAZURANA et al., 2013; MATIAS et al., 2009; VENZKE FILHO et al., 2008; BALOTA et al., 2004; D'ANDRÉA et al., 2002). Por outro lado, Vargas (2012) em um estudo com plantio direto de cebola após o cultivo com diferentes plantas de cobertura de inverno, não encontrou diferenças entre os tratamentos para a biomassa microbiana e respiração basal, provavelmente devido ao estudo ter sido de curto prazo com apenas uma sucessão de culturas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Cultivo de brássicas em SPDH sob plantas de cobertura de inverno

O experimento de implantação do SPDH foi conduzido em Pato Branco, na área experimental (AE) da UTFPR Câmpus Pato Branco, localizado na Mesorregião Sudoeste Paranaense sob as coordenadas 26°16'36" S e 52°41'20" W, com altitude média de 760 m. O clima do local é subtropical úmido do tipo (Cfa), conforme classificação de Köppen, com temperatura média abaixo de 18 °C no mês mais frio e acima de 22 °C no mês mais quente, com verões relativamente quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, mas sem estação seca definida (ALVAREZ et al., 2013). Os dados referentes à temperatura e precipitação pluviométrica, ao longo do período de condução do experimento, estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Temperatura mínima, média e máxima do ar e precipitação pluviométrica, referente ao período de condução do experimento (abril 2019 a janeiro 2021). Pato Branco-PR, 2021.



Fonte: SIMPAR, (2021).

Anteriormente à implantação do SPDH a área foi cultivada com milho

em sistema convencional de cultivo, o qual estava com palhada dessecada e acamada. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2018), com textura muito argilosa. Antes da instalação do experimento foram realizadas as análises químicas do solo na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Características químicas do solo da área experimental de Pato Branco avaliadas de 0 a 0,20 metros de profundidade. Pato Branco-PR, 2021.

Prof. (m)	M.O. g dm ⁻³	pH água	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca mg/dm ³	Mg cmolc/dm ³	H+Al cmolc/dm ³	Al cmolc/dm ³	V %
0,0-0,10	43,5	5,4	3,8	136	5,0	2,4	2,90	0,2	72,68
0,10-0,20	37,0	5,3	2,3	44	4,6	2,3	3,16	0,3	69,04

O preparo do solo para implantação das culturas de inverno foi realizado com uma fosfatagem seguida de subsolagem, visto que era o início da implantação do SPDH. Para a fosfatagem corretiva utilizou-se de 1.333 kg ha⁻¹ de termofosfato magnésiano Yoorin®, correspondente a 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos (Trat.) e quatro repetições, sendo um tratamento com aveia preta (Embrapa 139) solteira (AV), quatro combinações de plantas de cobertura de inverno, denominadas MIX e uma testemunha sem cobertura do solo e com manejo do solo simulando o sistema de plantio convencional de hortaliças (utilização do motocultivador). A área foi dividida em quatro blocos, totalizando 24 unidades experimentais, cada uma com área total de 24,5 m² (7,0 x 3,5 m).

As combinações comerciais de plantas de cobertura (MIX) utilizadas foram as misturas denominadas RAIX: RX210 (aveia branca, aveia preta, centeio, nabo forrageiro e nabo pivotante), RX330 (aveia preta, centeio e mix de ervilhacas), RX520 (aveia branca, centeio, ervilha forrageira e nabo), e RX610 (aveia preta, mix de ervilhacas e nabo), as quais são produzidas pela empresa Sematter Sementes.

A implantação das coberturas de inverno ocorreu no dia 21 de maio de 2019 com a semeadura realizada a lanço em área total e posterior incorporação com o implemento rolo-facas da marca Agrimec®, modelo RF1300 com 16 facas e 1,3 m de largura de trabalho, garantindo o contato das sementes com o solo. Para a implantação das plantas de cobertura de inverno foram utilizadas as seguintes

quantidades de sementes: 80 kg ha⁻¹ de aveia preta, 48 kg ha⁻¹ para os mixes RX 330 e RX610 e 60 kg ha⁻¹ para os mixes RX210 e RX520. As quantidades de sementes são aquelas recomendadas pelo fabricante acrescidas de 20% na quantidade para semeadura a lanço e a aveia solteira segue a recomendação utilizada na região.

Aos 129 dias a partir da semeadura das plantas de cobertura de inverno, foi realizada a avaliação da produção de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), e nitrogênio total (N_{total}), conforme Tedesco et al. (1995).

O corte das plantas de cobertura de inverno foi realizado em 09/10/2019 (141 dias após a semeadura), com a utilização do rolo-facas da marca Agrimec®, modelo RF1300 com 16 facas e 1,3 m de largura de trabalho. Na sequência foi efetuada a abertura dos sulcos de plantio com auxílio de uma semeadora-adubadora de verão, equipada com sulcador do tipo disco e a adubação de base realizada manualmente com adubo orgânico Nitrosolo® (à base de cama de aviário – 1,78% N, 1,30% P, 4,66% K) na proporção de 506 g m⁻¹ linear de sulco (equivalente a 5,6 t ha⁻¹ de adubo orgânico).

A brássica escolhida para o experimento foi o brócolis (híbrido BRO68®), o qual foi transplantado no dia 23/10/2019 nos sulcos no espaçamento de 0,90 m entrelinhas e 0,40 m entre plantas, totalizando aproximadamente 70 mudas por parcela. Para as adubações de cobertura, foram utilizados 5,6 t ha⁻¹ e 8,0 t ha⁻¹ de cama aviária, aos 17 e 57 dias após transplante das mudas (DAT), respectivamente. No decorrer do ciclo do brócolis foi realizada a capina manual das ervas espontâneas e utilizada irrigação por aspersão quando necessário. Adotou-se para a condução do experimento com brócolis técnicas de manejo agroecológico de cultivo, tais como a não utilização de agroquímicos (herbicidas, fungicidas e inseticidas), realização de capinas manuais ou mecânicas com roçadeira, controle de formigas cortadeiras com iscas biológicas, adubação orgânica, entre outros.

Os dados de crescimento e produção de brócolis foram coletados quando as inflorescências apresentavam tamanho máximo, compactas e com grânulos bem fechados aos 71 DAT. As avaliações foram realizadas em seis plantas de brócolis da parte central de cada parcela.

Para a análise do teor de N das inflorescências foram coletadas duas

inflorescências de cada parcela, onde as amostras foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e levadas para a estufa de secagem de ar forçado a 65°C até massa constante, e, em seguida, moída em moinho tipo Willey para a determinação do teor de N seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

Após a colheita do brócolis foi então efetuada a trituração dos restos culturais com auxílio de um triturador de culturas da marca Jan®, modelo Tritton 1800, e realizada semeadura de uma cobertura de verão composta por um consórcio de milho + milheto, com o objetivo de promover um maior aporte de palhada nas parcelas destinadas ao SPDH. As parcelas testemunha ficaram com solo em pousio. A semeadura do milho ocorreu no dia 21/01/2020 sendo utilizada a variedade de polinização aberta (VPA) 'Catarina', semeado com densidade populacional de 53.333 mil plantas ha⁻¹. Após 29 dias da implantação do milho, semeou-se o milheto em área total a lanço em cada parcela utilizando 30 kg ha⁻¹ de sementes.

As avaliações dos caracteres morfológicos do milho e do milheto e dos componentes de rendimento do milho foram avaliadas após 101 dias da sua semeadura, onde foi avaliada a fileira central de cada parcela experimental desconsiderando as duas últimas plantas de cada lado da fileira e sendo que as espigas da área útil foram colhidas quando atingiram o ponto de milho-verde.

O milho e o milheto foram cortados aos 121 dias após a semeadura, portanto em 21/05/2020, com o auxílio do rolo-facas e, assim como as plantas de cobertura de inverno, foi realizada a avaliação da produção de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e nitrogênio total (Ntotal). No mesmo dia foi realizada nova semeadura das coberturas de inverno, seguindo a mesma distribuição e quantidades de sementes nas parcelas como realizado no primeiro plantio de inverno.

No dia 25/09/2020 (127 dias após a semeadura), foi realizada a avaliação das plantas de cobertura de inverno, efetuado o manejo com a rolagem da palhada e a adubação de base com adubo orgânico da marca Folhito® (à base de cama de poedeira – 1,45% N, 0,89% P, 1,81% K) para novo ciclo de brócolis, na dose de 6 t ha⁻¹.

O plantio do novo ciclo de brócolis ocorreu em 30/09/2020 seguindo a mesma metodologia do plantio do ciclo passado. Para as adubações de cobertura,

foi utilizada a quantidade de 12 t ha⁻¹ de adubo orgânico da marca Folhito® aos 27 e 42 dias após transplântio das mudas (DAT), respectivamente. No segundo cultivo de brássicas adotou-se a adubação orgânica com cama aviária (1,45% N, 0,89% P, 1,81% K) em área total e não somente na linha de plantio, conforme reportado por Zanella et al. (2019). No decorrer deste ciclo do brócolis também foi realizada a capina manual das plantas espontâneas e utilizada irrigação por aspersão quando necessário.

Para este segundo plantio de brócolis não foi possível a coleta e avaliação do experimento devido a forte estiagem nos meses subsequentes ao plantio (Figura 1) e ao racionamento de água na área experimental, onde a irrigação era realizada em turnos alternados (rodízio), afetando sobremaneira o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a perda deste plantio.

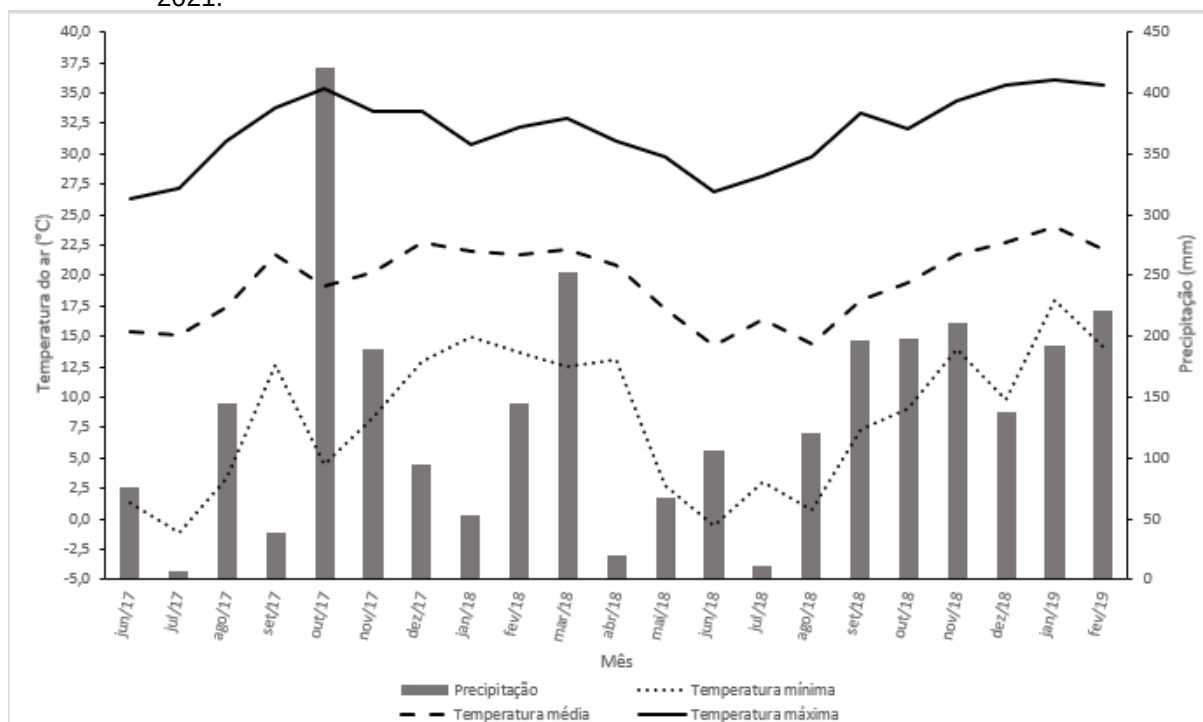
Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2017).

3.2 Atributos químicos, físicos e biológicos em solos sob sistema plantio direto de hortaliças

Para este experimento foram selecionados dois locais em implantação de sistema plantio direto de hortaliças, sendo um local em Coronel Vivida-PR e o outro em Pato Branco-PR. A primeira área de implantação foi em uma propriedade familiar rural do Município de Coronel Vivida, localizado na Mesorregião Sudoeste Paranaense sob as coordenadas de 25° 58' 26.88" S e 52° 24' 49.08" W a 700 m de altitude. O clima é subtropical úmido do tipo Cfa conforme classificação de Köppen, apresentando a temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e no mês mais frio inferior a 18°C (ALVAREZ et al., 2013). Os dados referentes à temperatura e precipitação pluviométrica, ao longo do período de condução do experimento nesta localidade, estão apresentados na Figura 2.

O solo desta área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2018). Antes da instalação do experimento foram realizadas as análises químicas do solo na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade (Tabela 2).

Figura 2 – Temperatura mínima, máxima e média do ar e precipitação pluviométrica, referente ao período de condução do experimento (junho 2017 a fevereiro 2019). Pato Branco-PR, 2021.



Fonte: SIMEPAR, (2021).

Tabela 2 – Características químicas do solo da área experimental de Coronel Vivida avaliadas de 0 a 0,20 metros de profundidade. Pato Branco-PR, 2021.

Prof. (m)	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca mg/dm ³	Mg cmolc/dm ³	H+Al cmolc/dm ³	Al cmolc/dm ³	V %
0,0-0,10	18,76	5,4	5,95	527,8	19,4	6,40	4,28	0,0	86,38
0,10-0,20	18,76	5,3	4,82	500,5	19,2	5,80	4,28	0,0	85,99

O preparo do solo para implantação das culturas de inverno foi realizado com uma aração e uma gradagem, visto que era o início da implantação do SPDH. Foi realizada uma fosfatagem corretiva utilizando 1.371 kg ha⁻¹ de termofosfato magnésiano Yoorin Master® a aproximadamente 15 cm de profundidade.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições, sendo que os tratamentos consistiram em seis combinações de plantas de cobertura e uma testemunha sem cobertura do solo. A área foi dividida em quatro blocos, totalizando 28 unidades experimentais, cada uma

com área total de 31,5 m² (7,0 x 4,5 m).

No dia 20 de junho de 2017 as plantas de cobertura de inverno (Tabela 3) foram semeadas a lanço em área total. Para se chegar às quantidades de sementes em cada combinação de plantas de cobertura de inverno foi utilizado como base para cálculo a quantidade de sementes cultivadas de forma solteira, sendo 80 kg ha⁻¹ para aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), 70 kg ha⁻¹ para centeio (*Secale cereale* L.), 70 kg ha⁻¹ para ervilha forrageira (*Pisum sativum* ssp. arvense), 80 kg ha⁻¹ para ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), 20 kg ha⁻¹ para nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e 70 kg ha⁻¹ para tremoço branco (*Lupinus albus* L.).

Tabela 3 – Plantas de cobertura e suas combinações utilizadas na área experimental em Coronel Vivida. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamento	Combinação	Proporção de sementes (%)					
		AV	EP	NF	EF	TB	CE
AV	Aveia preta solteira	100	0	0	0	0	0
AV+EP+NF	Aveia preta + ervilhaca peluda + nabo forrageiro	34	33	33	0	0	0
AV+EP+EF	Aveia preta + ervilhaca peluda +ervilha forrageira	34	33	0	33	0	0
AV+EP+TB	Aveia preta + ervilhaca peluda + tremoço branco	34	33	0	0	33	0
AV+CE+EP+EF	Aveia preta + centeio + ervilhaca peluda + ervilha forrageira	25	25	0	25	0	25
AV+CE+EP+EF+TB	Aveia preta + centeio + ervilhaca peluda + ervilha forrageira + tremoço branco	20	20	0	20	20	20
Testemunha	Sem plantas de cobertura	0	0	0	0	0	0

Após o corte das plantas de cobertura de inverno, em 06 de novembro de 2017, foi semeado um consórcio de milho + milho na forma de pré-cultivo para as brássicas com intuito de promover um maior aporte de palhada no processo de implantação do SPDH, visto que houve um baixo aporte de matéria seca (MS) advindo das plantas de cobertura de inverno devido à baixa precipitação no período

de desenvolvimento destas (Figura 2). Além disso, a decisão visou oportunizar à família agricultora uma fonte de renda durante o processo de implantação do SPDH, por meio da comercialização do milho-verde nas feiras de produtos orgânicos das quais a família participa semanalmente. O milho utilizado foi a variedade de polinização aberta (VPA) "Fortuna" no qual foi utilizado um semeador manual, semeado com densidade populacional de 53.333 mil plantas ha⁻¹. Após 7 dias da implantação do milho, semeou-se o milheto em área total a lanço em cada parcela utilizando 30 kg ha⁻¹ de sementes.

O milho e o milheto foram cortados aos 97 dias após a semeadura do milho com o auxílio de uma roçadeira costal.

Aos 34 dias após o manejo e o acamamento da palhada da cultura do milho e do milheto, as parcelas foram divididas em 2,25 m de largura nos 7,0 m de comprimento, de modo a efetuar o transplântio de mudas de brócolis (híbrido BRO68®) e couve-flor (híbrido Barcelona®) em sulcos abertos com semeadora-adubadora de verão, equipada com sulcador do tipo haste no espaçamento de 0,75 m. As mudas foram transplantadas entre si a 0,70 m, totalizado 30 plantas por parcela para brócolis e 30 plantas por parcela para couve-flor. Essa divisão das parcelas com duas culturas de brássicas foi um pedido do agricultor, para aumentar a diversidade de culturas e trabalhar na oferta de ambas na entressafra, principalmente no atendimento aos canais de comercialização de que a família participa.

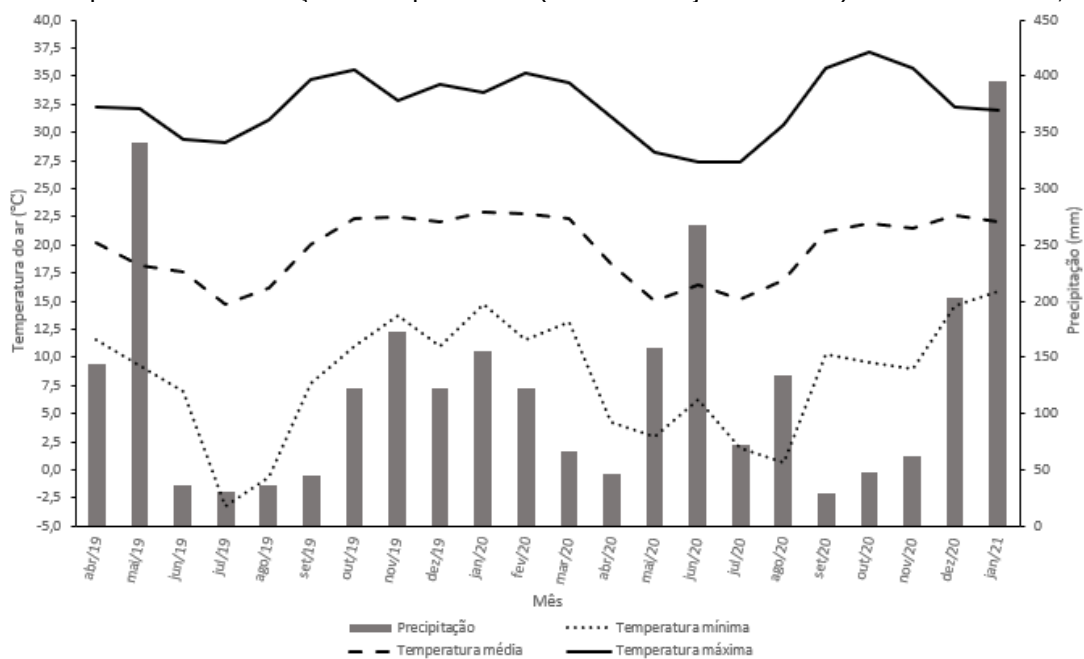
A adubação de pré-plantio para o cultivo das brássicas foi realizada com a dosagem de 2 t ha⁻¹ de cama aviária nas linhas de plantio. Para as adubações de cobertura, foram utilizados 3,6 t ha⁻¹ e 7,2 t ha⁻¹ de cama aviária, aos 15 e 30 dias após transplântio (DAT), respectivamente. Foi realizada uma pulverização com biofertilizante supermagro aos 9 DAT e uma capina manual das ervas espontâneas aos 30 DAT. Foi utilizada irrigação por aspersão quando necessária. Na condução das brássicas adotaram-se técnicas de manejo agroecológico, tais como a não utilização de agroquímicos (herbicidas, fungicidas e inseticidas), realização de capinas manuais ou mecânicas com roçadeira, controle de formigas cortadeiras com iscas biológicas, adubação orgânica, uso de biofertilizantes, entre outras.

Após a colheita das brássicas foi realizada nova semeadura do

consórcio milho+milheto, nas mesmas proporções e manejo citados anteriormente, visando manter o solo sempre coberto e proporcionar um retorno financeiro para a família com a comercialização das espigas de milho verde.

A segunda área de implantação do SPDH foi instalada em Pato Branco na área experimental (AE) da UTFPR Câmpus Pato Branco, localizado na Mesorregião Sudoeste Paranaense sob as coordenadas 26°16'36" S e 52°41'20" W, com altitude média de 760 m. O clima do local é subtropical úmido do tipo (Cfa), conforme classificação de Köppen, com temperatura média abaixo de 18 °C no mês mais frio e acima de 22 °C no mês mais quente, com verões relativamente quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, mas sem estação seca definida (ALVAREZ et al., 2013). Os dados referentes à temperatura e precipitação pluviométrica, ao longo do período de condução do experimento, estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Temperatura mínima, máxima e média do ar e precipitação pluviométrica, referente ao período de condução do experimento (abril 2019 a janeiro 2021). Pato Branco-PR, 2021.



Fonte: SIMEPAR, (2021).

Anteriormente à implantação do SPDH a área estava sendo cultivada com milheto, o qual estava com palhada dessecada e rolada. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2018), com textura muito argilosa. Antes da instalação do experimento foram realizadas as

análises químicas do solo na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade (Tabela 4).

Tabela 4 – Características químicas do solo da área experimental de Pato Branco avaliadas de 0 a 0,20 metros de profundidade. Pato Branco-PR, 2021.

Prof. (m)	M.O. g dm ⁻³	pH água	P mg/dm ³	K	Ca	Mg cmolc/dm ³	H+Al	Al	V %
0,0-0,10	44	5,4	3,8	136	5	2,4	2,9	0,2	72,68
0,10-0,20	50	5,3	2,3	44	4,6	2,3	3,16	0,3	69,04

O preparo do solo para implantação das culturas de inverno foi realizado com uma fosfatagem seguida de subsolagem, visto era o início da implantação do SPDH. Para a fosfatagem corretiva utilizamos 1.333 kg ha⁻¹ de termofosfato magnésiano Yoorin®, com o objetivo de chegar no teor de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos (Trat.) e quatro repetições, sendo um tratamento com aveia preta solteira (AV), quatro combinações comerciais de plantas de cobertura de inverno, denominadas MIX e uma testemunha sem cobertura do solo e com manejo do solo simulando o sistema de plantio convencional de hortaliças (utilização do motocultivador). A área foi dividida em quatro blocos, totalizando 24 unidades experimentais, cada uma com área total de 24,5 m² (7,0 x 3,5 m).

As combinações comerciais de plantas de cobertura (MIX) utilizadas foram as misturas denominadas RAIX: RX210 (aveia branca, aveia preta, centeio, nabo forrageiro e nabo pivotante), RX330 (aveia preta, centeio e mix de ervilhacas), RX520 (aveia branca, centeio, ervilha forrageira e nabo), e RX610 (aveia preta, mix de ervilhacas e nabo), as quais são produzidas pela empresa Sematter Sementes.

A implantação das coberturas de inverno ocorreu no dia 21 de maio de 2019 com a semeadura realizada a lanço em área total e posterior incorporação com o implemento rolo-facas da marca Agrimec®, modelo RF1300 com 16 facas e 1,3 m de largura de trabalho, garantindo o contato das sementes com o solo. Para a implantação das plantas de cobertura de inverno foram utilizadas as seguintes quantidades de sementes: 80 kg ha⁻¹ para aveia preta, 40 kg ha⁻¹ para os mixes RX330 e RX610 e 50 kg ha⁻¹ para os mixes RX210 e RX520. As quantidades de sementes são aquelas recomendadas pelo fabricante e a aveia solteira segue a

recomendação utilizada na região.

O manejo das plantas de cobertura de inverno foi realizado em 09/10/2019 (141 dias após a semeadura), com a utilização do rolo-facas da marca Agrimec®, modelo RF1300 com 16 facas e 1,3 m de largura de trabalho. Na sequência foi efetuada a abertura dos sulcos de plantio com auxílio de uma semeadora-adubadora de verão, equipada com sulcador do tipo disco e a adubação de base realizada manualmente com adubo orgânico Nitrosolo® (à base de cama de aviário - 1,78% N, 1,30% P, 4,66% K) na proporção de 506 g m⁻¹ linear de sulco (equivalente a 5,6 t ha⁻¹ de adubo orgânico).

A brássica escolhida para o experimento foi o brócolis (híbrido BRO68®), o qual foi transplantado no dia 23/10/2019 nos sulcos respeitando um espaçamento de 0,90 m entrelinhas e 0,40 m entre plantas, totalizando aproximadamente 70 mudas por parcela. Para as adubações de cobertura, foram utilizados 5,6 t ha⁻¹ e 8,0 t ha⁻¹ de cama aviária, aos 17 e 57 dias após transplante das mudas (DAT), respectivamente. No decorrer do ciclo do brócolis foi realizada a capina manual das ervas espontâneas e utilizada irrigação por aspersão quando necessário. Adotou-se para a condução do experimento com brócolis técnicas de manejo agroecológico de cultivo, tais como a não utilização de agroquímicos (herbicidas, fungicidas e inseticidas), realização de capinas manuais ou mecânicas com roçadeira, controle de formigas cortadeiras com iscas biológicas, adubação orgânica, entre outras.

Após a colheita do brócolis foi então efetuada a trituração dos restos culturais com auxílio de um triturador de culturas da marca Jan®, modelo Tritton 1800, acoplado ao trator e realizada semeadura de uma cobertura de verão composta por um consórcio de milho + milheto, com o objetivo de promover um maior aporte de palhada nas parcelas destinadas ao SPDH. As parcelas testemunhas ficaram com solo em pousio. A semeadura do milho ocorreu no dia 21/01/2020 sendo utilizada a variedade de polinização aberta (VPA) 'Catarina', semeado com densidade populacional de 53.333 mil plantas ha⁻¹. Após 29 dias da implantação do milho, semeou-se o milheto em área total a lanço em cada parcela utilizando 30 kg ha⁻¹ de sementes.

O milho e o milheto foram manejados aos 121 dias após a semeadura

com o auxílio do rolo-facas acoplado ao trator. No mesmo dia foi realizada nova semeadura das coberturas de inverno, seguindo a mesma distribuição e quantidades de sementes nas parcelas que ocorreu no primeiro plantio destas coberturas de inverno.

No dia 25/09/2020 (127 dias após a semeadura), foi efetuado o manejo com a rolagem da palhada e a adubação de base com adubo orgânico da marca Folhito® (à base de cama de poedeira – 1,45% N, 0,89% P, 1,81% K) para novo ciclo de brócolis. Utilizou-se a quantidade de 6 t ha⁻¹ de adubo orgânico na ocasião.

O plantio do novo ciclo de brócolis ocorreu em 30/09/2020 seguindo a mesma metodologia do plantio do ciclo passado (plantio em sulcos e espaçamento de 0,90 x 0,40 m). Para as adubações de cobertura, foi utilizada a quantidade de 12 t ha⁻¹ de adubo orgânico da marca Folhito® aos 27 e 42 dias após transplante das mudas (DAT), respectivamente. No segundo cultivo de brássicas adotou-se a adubação orgânica com cama aviária em área total e não somente na linha de plantio, conforme reportado por Zanella et al. (2019). No decorrer deste ciclo do brócolis também foi realizada a capina manual das plantas espontâneas e utilizada irrigação por aspersão quando necessário.

Para este segundo plantio de brássicas não foi possível a coleta e avaliação do experimento devido à forte estiagem nos meses subsequentes ao plantio (Figura 3) e ao racionamento de água na área experimental, onde a irrigação era realizada em turnos alternados (rodízio), afetando sobremaneira o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente a perda deste plantio.

3.2.1 Amostragem do solo

As amostragens de solo foram realizadas no decorrer dos ciclos de implantação dos SPDHs. Em Coronel Vivida foi realizada uma amostragem antes do plantio das brássicas, após o ciclo de plantas de cobertura de inverno e verão. No caso do experimento em Pato Branco foram realizadas duas amostragens, uma após o primeiro ciclo de brócolis e outra após o segundo ciclo de cultivo de brócolis, no final do experimento.

Para as avaliações químicas e biológicas foram retiradas duas

subamostras aleatórias dentro de cada parcela, perfazendo uma amostra composta, nas profundidades de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Já para as análises físicas, foram coletadas duas amostras indeformadas, aleatoriamente, dentro de cada parcela, nas profundidades de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, com auxílio de anéis com volume conhecido, totalizando 02 repetições por parcela, sendo essas imediatamente acondicionadas em papel-alumínio e sacos plásticos e, posteriormente, colocadas em caixas térmicas, para evitar a perda da estrutura do solo.

Parte das amostras destinadas para as análises químicas e biológicas foi seca ao ar, e depois passada em peneira de 2 mm de abertura, para determinação dos atributos químicos, e outra parte foi peneirada, imediatamente após a coleta, e armazenada em refrigeração a 4 °C até a realização das análises biológicas.

3.2.2 Análises físicas do solo

Foram determinadas a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (EMBRAPA, 1997) em duas profundidades. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, pelo qual é determinado o volume do anel, onde este foi pesado e seco em estufa a 105 °C. Após 24 horas o material foi retirado e pesado sendo estimada a densidade do solo (EMBRAPA, 1997).

A macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram determinados pelo método da mesa de tensão, cujo princípio baseia-se em saturar amostras indeformadas de solo em bandejas com água por um período de 24 - 48 horas. Após o período de saturação as amostras foram pesadas e colocadas sob a mesa de tensão e submetidas à sucção de 0,6 m de coluna de água até estabilização, retirando assim, a água dos macroporos. Após pesagem, as amostras foram colocadas na estufa a 105 °C por 48 horas, para obter o volume de macroporos e microporos contidos na amostra. A microporosidade foi obtida pela subtração do valor da porosidade total menos a macroporosidade.

3.2.3 Análises químicas do solo

Para a caracterização e comparação dos atributos químicos dos solos após a implantação dos SPDHs, foram realizadas análises dos seguintes parâmetros: pH-CaCl₂, pH-água, P, K, Ca, Mg, V, MO (EMBRAPA, 1997, 2009). As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UTFPR, Pato Branco – Paraná e no Laboratório de Solos da Epagri/CEPAF, Chapecó – Santa Catarina.

3.2.4 Análises biológicas do solo

As análises biológicas do solo foram realizadas nas amostras coletadas na profundidade de 0 a 0,10 m, por ser esta a camada de maior atividade biológica no solo.

Para a avaliação da atividade biológica do solo como indicador da qualidade deste em função da implantação do SPDH foram avaliados os seguintes parâmetros: Mineralização acumulada de carbono aos 24 dias de incubação (Cmin_{0-24d}), carbono da biomassa microbiana (C-BMS), o quociente metabólico (qCO₂) e o quociente microbiano (qMic).

Determinou-se a atividade microbiana do solo a partir de análises de Fluxo de CO₂ conforme procedimentos descritos por Franzluebbbers et al. (2000). Foram utilizadas amostras de 50 gramas de solo seco reumedecidas para 50% da capacidade máxima de retenção de água e incubadas a 25 ± 1°C em frascos herméticos. Cada frasco possuía uma armadilha alcalina contendo 10 mL de NaOH (1,0 M), a qual absorve o CO₂ liberado, e um frasco contendo água para manutenção da umidade do solo ao longo da análise. O CO₂ liberado foi determinado por titulação com HCl (1 M) em intervalos de 3; 7; 10 e 24 dias após início da incubação. A mineralização acumulada de carbono foi calculada pelo somatório dos fluxos de C-CO₂. A mineralização cumulativa de C ao longo de várias semanas é considerada uma estimativa robusta da atividade biológica potencial do solo (FRANZLUEBBERS, 2018; ZIBILSKÉ, 1994).

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi avaliado pelo método

da fumigação-incubação, adotando-se o coeficiente de correção de 0,41, proposto para solos tropicais (ANDERSON; DOMSCH, 1978). O q_{Mic} foi determinado pela relação entre C_{mic}/COT e o qCO_2 determinado pela relação entre a biomassa microbiana e o CO_2 liberado pelos microrganismos em determinado período de tempo (SPARLING, 1992).

3.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2017). As médias foram avaliadas pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Como análise complementar, foi utilizada a técnica multivariada por meio da análise de componentes principais (ACP), envolvendo todas as variáveis em estudo, com o intuito de verificar a associação entre os atributos do solo e os diferentes tratamentos utilizados nas implantações dos SPDHs.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cultivo de brássicas em SPDH sob plantas de cobertura de inverno

Observou-se variação significativa na produção de matéria fresca (MF) nas plantas de cobertura de inverno entre os tratamentos no ano agrícola de 2019 sendo os maiores valores encontrados no mix RX210. A maior diversidade de espécies na composição deste mix pode justificar esta produção superior de MF. Para a matéria seca (MS) não houve diferença estatística entre os tratamentos ficando a média em 8,21 t ha⁻¹ sendo aportada no primeiro ano de implantação do sistema. No ano de 2020 não houve diferenças nas variáveis MF e MS nos diferentes tratamentos, com médias de 27,81 t ha⁻¹ de MF e 8,23 t ha⁻¹ de MS aportadas ao solo (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), nitrogênio total (NTotal) e nitrogênio acumulado (NA) das combinações de plantas de cobertura em dois anos agrícolas: aveia preta (AV), mixes RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	MF	MS	NTotal	NA
	t ha ⁻¹		(%)	kg ha ⁻¹
2019				
AV	17,41 b	9,12 ^{n.s.}	0,91 ^{n.s.}	83,28 ^{n.s.}
RX210	27,89 a	9,80	1,17	112,90
RX330	13,98 b	6,67	1,10	72,82
RX520	18,34 b	7,07	1,31	95,73
RX610	14,55 b	8,40	1,08	91,40
Média	18,43	8,21	1,11	91,23
CV (%)	24,68	18,32	24,17	28,61
2020				
AV	29,74 ^{n.s.}	8,98 ^{n.s.}	0,94 ^{n.s.}	85,23 ^{n.s.}
RX210	31,83	8,52	1,07	91,09
RX330	28,16	8,34	1,03	86,65
RX520	28,02	8,36	1,22	101,68
RX610	21,31	6,97	1,06	75,28
Média	27,81	8,23	1,06	87,99
CV (%)	24,24	20,41	14,25	25,15

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (P≤0,05). CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo.

Os resultados de produção de massa das plantas invernais foram semelhantes aos encontrados em sistemas similares. Experimentos com plantas de cobertura em sistemas de plantio direto com rotação de culturas tem alcançado médias entre 6 e 15 t ha⁻¹ de matéria seca (PISSINATI et al., 2016; BASSEGIO et al., 2015). Em estudo de longo período com plantio direto de cebola sob plantas de cobertura de inverno em cultivo solteiro ou em consórcio, Souza et al. (2021) reportaram médias entre 4 e 5 t ha⁻¹ de MS para as plantas de cobertura ao longo de 8 anos de experimento.

Avaliando a produção de matéria fresca de plantas de cobertura de inverno utilizadas em um sistema plantio direto de alface em uma propriedade rural familiar, no município de Alpestre, Rio Grande do Sul, Girardello et. al (2017), observaram variação entre 14,44 a 24,58 t ha⁻¹ entre os tratamentos, sendo o consórcio de aveia + tremoço o mais produtivo.

A produção de MS para a cobertura de aveia preta (AV) em plantio solteiro está de acordo com os valores encontrados por Forte et al. (2018) em Erechim no Rio Grande do Sul e Wolschick et al. (2016) em Lages, Santa Catarina, os quais relatam produção de 7,1 t ha⁻¹ e 9,1 t ha⁻¹, respectivamente.

Nas combinações de plantas de cobertura os resultados de produção de MS também são semelhantes aos encontrados no município de Lages, planalto sul de Santa Catarina por Wolschick et al. (2016), onde a produção de MS foi de 9,68 t ha⁻¹ quando utilizado o consórcio de aveia + nabo forrageiro + ervilhaca comum, assim como para os resultados observados por Balbinot et al. (2007) no município de Canoinhas, Santa Catarina, com rendimento de 9,3 t ha⁻¹ para aveia + nabo forrageiro + azevém + centeio + ervilhaca.

Em sistema plantio direto, conforme ocorre sua consolidação ao longo do tempo, a tendência é de um aumento gradual na produção de matéria seca das plantas de cobertura devido à mineralização gradual de nutrientes para o solo (ALTIERI et al., 2011).

Conforme preconizado no processo de transição para o SPDH, tem-se sugerido a rotação de culturas com a inclusão de plantas de cobertura visando a atingir o aporte mínimo de 10 t ha⁻¹ de MS ao longo do ano (NICHOLS et al., 2019). Essa quantidade não foi atingida neste início de implantação de SPDH somente com

as coberturas de inverno. Porém, ela pode ser alcançada tranquilamente com o aporte de MS proporcionado pelas coberturas de verão após a colheita dos brócolis.

As combinações de plantas de cobertura não apresentaram diferenças nos teores de nitrogênio total e acumulado, resultando uma reciclagem de cerca de 91 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Observou-se um menor teor de nitrogênio na cobertura com aveia em plantio solteiro, porém não diferindo estatisticamente das demais coberturas. Madeira et al. (2019) citam a importância da utilização de palhadas de plantas de cobertura com fabáceas (leguminosas) na sua composição promovendo a fixação biológica de nitrogênio, aumentando a disponibilização deste nutriente para os cultivos de hortaliças e diminuindo o risco de imobilização de N em SPDH.

Com relação às plantas de cobertura de verão (milho + milheto), as quais foram semeadas após a colheita do brócolis, não houve diferença significativa para as variáveis MF, MS, Ntotal e NA em função das combinações de plantas de cobertura de inverno (Tabela 6). Heinrichs et al. (2005) reportaram o acúmulo médio de 23 kg de N ha⁻¹ na parte aérea de adubos verdes consorciados com milho plantados simultaneamente ou 30 dias após o plantio do milho.

Tabela 6 – Médias de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), teor de nitrogênio total (Ntotal) e nitrogênio acumulado (NA) da cobertura de milho + milheto em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), mix RAIX210, mix RAIX330, mix RAIX520 e mix RAIX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	MF	MS	NTotal	NA
	t ha ⁻¹		(%)	kg ha ⁻¹
AV	13,07 ^{n.s.}	3,54 ^{n.s.}	0,75 ^{n.s.}	26,38 ^{n.s.}
RX210	9,85	2,72	0,75	20,42
RX330	12,98	3,56	0,73	25,55
RX520	13,47	3,68	0,78	29,55
RX610	14,28	3,97	0,84	32,83
Média	13,27	3,68	0,79	29,33
CV (%)	29,84	31,27	19,76	31,20

CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo (P≤0,05).

A baixa produção de matéria fresca e matéria seca da parte aérea observados nestas coberturas de verão provavelmente decorreram do plantio tardio destas culturas, a qual ocorreu em 21/01/2020 (safrinha), aliado a uma baixa germinação e emergência do milheto que foi semeado 30 dias após a semeadura do

milho e à baixa precipitação que ocorreu durante o cultivo desta cobertura de solo. Destaque também que o cultivo dessa cobertura de verão foi realizado sem adubação, apenas com o residual do cultivo anterior de brócolis.

Em um estudo avaliando a produção de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes épocas de semeadura, em Seropédica, Rio de Janeiro, Chieza et al. (2017) observaram produção de matéria seca de 5,32 t ha⁻¹ para o híbrido AG1051 quando em monocultivo sem adubação nitrogenada de cobertura na época primavera/verão de 2010/2011 e 3,99 t ha⁻¹ na época outono/inverno do ano agrícola 2011.

Poucos são os estudos que avaliam a produção de matéria seca de variedades de polinização aberta (VPA) de milho. Patzlaff et al. (2020) avaliando variedades de milho de polinização aberta sob diferentes espaçamentos entre linhas encontraram produtividade de 7,5 t ha⁻¹ de massa seca para a variedade SCS-155 Catarina cultivada em outubro de 2017.

Para a cobertura de milheto alguns trabalhos citam a produção de matéria seca variando entre 4,4 a 7,8 t ha⁻¹ (BRANCO et al., 2017; ROCHA et al., 2017; ORTH et al., 2012; PERIN et al., 2004).

Ressalta-se que neste trabalho de implantação de SPDH, a cobertura de verão constituiu-se da mistura de milho consorciado com milheto e, nesse sentido os resultados apresentados referem-se ao consórcio destas plantas e não somente ao plantio solteiro destas culturas.

A decisão em utilizar a cobertura de verão composta pelo consórcio milho e milheto é proporcionar renda ao olericultor que adere ao SPDH por meio da comercialização de espigas de milho verde e aproveitar a cobertura do solo e a palhada proporcionada no final do ciclo destas plantas.

Os resultados das análises dos componentes de produção do milho verde não apresentaram variação estatística significativa em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 7). Os resultados de altura de plantas (ALTP) e altura de inserção da espiga (ALTIE) foram inferiores aos obtidos por Patzlaff et al. (2020) e Bermudez et al. (2016), os quais encontraram valores médios de 3,10 m e 2,61 m para altura de plantas e 1,50 m a 1,34 m para inserção da espiga com a cultivar Catarina (SCS-155) cultivada no período de safra normal (primavera/verão).

Favarato et al. (2016), avaliando o crescimento e produtividade de milho verde de cultivares híbridas sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto em uma população de 50.000 plantas ha⁻¹, obtiveram um valor médio de 1,59 m de ALTIE para o milho cultivado após o consórcio entre aveia + tremoço branco.

Uma menor ALTIE é uma característica importante, pois permite diminuir o acamamento e a quebra do colmo das plantas, uma vez que pode afetar a estrutura anatômica que é primordial para o deslocamento de água e nutrientes, podendo provocar impacto no rendimento e na qualidade das espigas (GOMES et al., 2010). Observou-se neste estudo que, apesar de ser instalado em uma área com ventos fortes e constantes, não houve o acamamento de plantas e a quebra de colmos, mesmo nas plantas mais altas.

Tabela 7 – Médias de altura de planta (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTIE), comprimento de espiga empalhada (CEE), comprimento de espiga despalhada (CED), diâmetro da espiga empalhada (DEE), diâmetro da espiga despalhada (DED) e produção total de espigas empalhadas (ProdT) do milho em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), mix RAIX210, mix RAIX330, mix RAIX520 e mix RAIX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	ALTP	ALTIE	CEE	CED	DEE	DED	ProdT
	(m)			(cm)			t ha ⁻¹
AV	2,07 ^{n.s.}	1,05 ^{n.s.}	25,47 ^{n.s.}	19,10 ^{n.s.}	5,25 ^{n.s.}	4,10 ^{n.s.}	13,1 ^{n.s.}
RX210	2,04	1,08	26,35	18,67	5,49	4,41	14,7
RX330	2,01	1,00	26,30	17,10	5,23	4,18	14,3
RX520	1,98	0,97	25,48	17,57	5,06	4,16	12,6
RX610	2,09	1,00	28,06	18,20	5,64	4,11	17,6
Média	2,04	1,02	26,33	18,13	5,34	4,19	14,46
CV(%)	11,79	16,79	7,67	13,37	5,26	7,73	2,38

CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo ($p \leq 0,05$). Obs.: Para a análise de ProdT os dados foram transformados em escala logarítmica, sendo que na tabela os dados são apresentados em escala original.

Apesar de não haver diferença estatística nas demais variáveis dos componentes de produção do milho, cabe ressaltar que as espigas de milho verde ficaram dentro do padrão comercial exigido pelo mercado, que é de no mínimo 3 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento de espiga despalhada (ALBUQUERQUE et al., 2008). Cabe destacar também a boa produtividade total de milho verde empalhado, que ficou em média 14,46 t ha⁻¹, o que corrobora com alguns resultados de pesquisa com produção de milho verde que alcançam produtividades semelhantes tanto para variedades de polinização aberta como para cultivares híbridas (SILVA et al., 2020;

NASCIMENTO et al., 2017; SILVA et al., 2014).

Com relação à produção de brássicas, não houve diferença significativa para a variável altura de plantas e teor de N (Tabela 8). Para as demais variáveis, os maiores valores foram obtidos para as plantas cultivadas nas parcelas testemunhas (plantio com manejo convencional do solo). Os menores valores de diâmetro de caule, diâmetro de cabeça e matéria fresca de cabeça de brócolis nas parcelas que receberam a matéria seca das plantas de cobertura pode ser explicado pelo processo de imobilização do nitrogênio pelos microrganismos do solo, que utilizam este nutriente como suporte para o seu metabolismo (YANSHENG et al., 2020; MARZI et al., 2019; LI et al., 2018; TAIZ et al., 2017; MORENO-CORNEJO et al., 2014.; VARGAS et al., 2005).

Tabela 8 – Médias de diâmetro do caule (DCAU), diâmetro da cabeça (DCAB), número de folhas (NF), altura de planta (ALTP), matéria fresca de cabeça (MFCAB) e nitrogênio total (Ntotal) de brócolis em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), mix RAIX210, mix RAIX330, mix RAIX520 e mix RAIX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	DCAU	DCAB	ALTP	MFCAB	N total
	mm	cm		g planta ⁻¹	%
AV	40,05 b	20,45 b	25,75 ^{n.s.}	635,42 b	3,48 ^{n.s.}
RX210	40,87 b	21,54 b	25,58	648,71 b	3,29
RX330	43,28 b	22,70 b	25,16	829,83 b	3,81
RX520	41,87 b	21,37 b	26,21	702,79 b	3,71
RX610	39,81 b	22,29 b	25,25	744,54 b	3,85
Testemunha	49,52 a	25,54 a	26,87	1287,21 a	3,67
Média	42,57	22,32	25,80	808,08	3,635
CV(%)	4,39	6,09	5,92	21,22	14,02

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). CV: coeficiente de variação.

O teor de N nas inflorescências de brócolis não variou significativamente entre os diferentes tratamentos com plantas de cobertura de inverno e a testemunha. Isso se explica provavelmente pelo local estar em início de conversão para o SPDH e a adubação com cama aviária nos sulcos de plantio das brássicas e em duas aplicações em cobertura mascarando em parte esse efeito do aporte de N pelas plantas de cobertura de inverno.

A utilização de consórcios compostos por fabáceas e poáceas de elevada produção de MS pode aliar a cobertura vegetal do solo com uma maior fixação biológica ou reciclagem de nutrientes, destacando-se o N e K, que são de

fundamental importância no cultivo de brássicas (FERRARI NETO et al., 2011). O elemento N é essencial para o desenvolvimento das culturas, sendo este o responsável por favorecer o desenvolvimento vegetativo, rápido e vigoroso, participando de processos de absorção iônica, da fotossíntese e da respiração, o que está diretamente relacionado ao crescimento da inflorescência (MAY et al., 2007; MELO, 2015).

Comparando o comportamento de seis variedades de brócolis no primeiro ano de implantação do sistema plantio direto, cultivadas durante o verão, Melo et al. (2010) não observaram diferenças significativas na média das cultivares em relação às plantas de cobertura analisadas e ao plantio convencional. Por outro lado, em um trabalho visando avaliar a produção de cebola em SPDH por um período de 8 anos, Souza et al. (2021) encontram maiores produções nos tratamentos com plantas de cobertura de inverno, exceto no primeiro ano de implantação onde não houve diferença com o controle (plantio convencional).

Ressalta-se também a temporalidade deste trabalho, tratando-se de um estudo inicial, voltado ao processo de conversão e implantação de uma área de SPDH, a qual era cultivada com pastagens e grãos em SPC. Nichols et al. (2019) citam que os benefícios do SPDH começam a surgir no decorrer do tempo de implantação do sistema à medida que os agricultores iniciam a transição, observando a diminuição da necessidade do uso de adubos altamente solúveis e agrotóxicos. Também se observa que, com a adoção do SPDH, é possível obter-se aumento e estabilização da produção de hortaliças ao longo dos anos (SOUZA et al., 2021).

O SPDH também pode proporcionar redução de riscos no caso de intempéries climáticas como eventos extremos de precipitação, estiagens ou picos de temperatura (LIMA; MADEIRA, 2013). Infelizmente na condução deste trabalho ocorreram períodos de estiagens que afetaram a produção do segundo ciclo de brócolis e a produção da cobertura de verão. Ainda não foi possível detectar os já reportados efeitos do SPDH na mitigação destes eventos climáticos extremos, pelo fato da fase inicial de implantação do SPDH na área, onde ainda não se observa os efeitos que seriam observados em estudos de longo prazo em áreas em estágios mais avançados de desenvolvimento do SPDH.

4.2 Atributos químicos, físicos e biológicos em solos sob sistema plantio direto de hortaliças em duas localidades

Os resultados de pH em CaCl₂, P, K, Ca, Mg, V e MO após o cultivo das plantas de cobertura de inverno e verão no experimento de SPDH em Coronel Vivida-PR, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores médios de pH em CaCl₂, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	V	MO
	CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		(%)	g dm ⁻³
Coronel Vivida – 0 a 0,10 m							
AV	5,28 ^{n.s.}	15,55 ^{n.s.}	460,40 ^{n.s.}	10,10 ^{n.s.}	4,08 ^{n.s.}	75,91 ^{n.s.}	35,18 ^{n.s.}
AV+EP+NF	5,38	14,59	529,81	9,98	4,10	77,22	31,49
AV+EP+EF	5,28	15,42	602,14	9,68	4,07	76,33	30,16
AV+EP+TB	5,30	13,19	539,58	10,23	4,28	77,43	35,52
AV+CE+EP+EF	5,35	11,45	511,23	9,60	4,13	76,48	33,84
AV+CE+EP+EF+TB	5,38	19,21	523,94	10,32	4,33	77,91	35,51
Testemunha	5,35	10,65	435,97	9,85	4,18	77,29	31,72
Média	5,33	14,29	514,72	9,97	4,16	76,94	33,35
CV (%)	1,26	50,44	31,33	5,42	8,57	1,90	4,92
Coronel Vivida – 0,10 a 0,20 m							
AV	5,28 ^{n.s.}	8,51 ^{n.s.}	466,27 ^{n.s.}	9,65 ^{n.s.}	4,17 ^{n.s.}	76,79 ^{n.s.}	27,47 ^{n.s.}
AV+EP+NF	5,33	9,59	515,14	9,95	3,93	77,86	25,80
AV+EP+EF	5,33	9,37	589,43	9,55	3,93	75,79	28,14
AV+EP+TB	5,30	7,27	490,71	9,58	4,08	76,63	31,16
AV+CE+EP+EF	5,30	6,63	497,55	9,25	4,35	77,17	27,14
AV+CE+EP+EF+TB	5,38	9,75	522,96	9,55	4,18	76,78	27,14
Testemunha	5,33	5,03	388,07	9,78	3,83	77,30	22,11
Média	5,32	8,02	495,73	9,62	4,07	76,90	26,99
CV (%)	2,05	25,04	30,08	5,29	7,24	1,9	10,71

CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo ($P \leq 0,05$). Obs.: Para a análise de MO (0 a 10 cm), P e Mg (10 a 20 cm) os dados foram transformados em escala logarítmica, sendo que na tabela os dados são apresentados em escala original.

No experimento de implantação de SPDH conduzido em Pato Branco-PR também não foram observadas diferenças nas variáveis químicas do solo na camada de 0 a 0,10 m na coleta de solo realizada após o primeiro ciclo de brássicas (2020) (Tabela 10). Porém na camada de 0,10 a 0,20 m tem-se maior concentração de fósforo (P) no mix de plantas de cobertura RX520, o qual é composto por aveia branca, centeio, ervilha forrageira e nabo.

Tabela 10 – Valores médios de pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2020 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	V	MO
	CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³		(%)	g dm ⁻³
AE UTFPR – 0 a 0,10 m							
AV	5,53 ^{n.s.}	14,64 ^{n.s.}	260,02 ^{n.s.}	5,70 ^{n.s.}	4,03 ^{n.s.}	72,18 ^{n.s.}	53,27 ^{n.s.}
RX210	5,33	15,53	214,07	5,18	3,83	70,94	56,96
RX330	5,38	15,64	198,43	5,45	3,53	70,48	51,27
RX520	5,50	20,05	182,79	5,73	3,98	73,12	54,28
RX610	5,58	17,16	327,46	6,08	4,35	76,61	56,29
Testemunha	5,53	12,93	214,07	5,65	4,00	74,36	54,61
Média	5,48	15,99	232,81	5,63	3,95	72,95	54,45
CV (%)	3,64	32,33	35,59	8,37	13,05	5,30	6,98
AE UTFPR – 0,10 a 0,20 m							
AV	5,25 ^{n.s.}	2,69 b	66,47 ^{n.s.}	4,25 ^{n.s.}	2,98 ^{n.s.}	64,90 ^{n.s.}	45,24 ^{n.s.}
RX210	5,05	4,44 b	53,76	3,60	2,38	56,42	40,88
RX330	5,15	2,75 b	67,45	3,78	2,55	62,58	43,56
RX520	5,38	7,67 a	86,02	4,63	3,35	67,58	47,58
RX610	5,38	3,95 b	54,74	4,55	3,10	68,88	42,56
Testemunha	5,30	3,55 b	84,06	4,08	3,05	66,98	45,24
Média	5,25	4,18	68,75	4,15	2,90	64,56	44,18
CV (%)	4,43	46,51	58,4	12,63	15,33	10,69	11,73

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (P≤0,05). CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo.

Na coleta de solo realizada após o segundo ciclo de brássicas (2021), no experimento em Pato Branco-PR, houve diferença significativa na variável matéria orgânica na camada de 0 a 0,10 m, com maiores teores nos tratamentos com plantas de cobertura de inverno (Tabela 11).

O maior teor de matéria orgânica nas parcelas com plantas de cobertura é um indicativo da superioridade do SPDH em relação ao SPC que pode proporcionar com o passar do tempo na adoção do SPDH todos os benefícios do sistema em termos de melhorias na qualidade do solo para a atividade olerícola.

Tabela 11 – Valores médios de pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	V	MO
	água	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³		(%)
AE UTFPR – 0 a 0,10 m							
AV	6,20 ^{n.s.}	47,72 ^{n.s.}	585,00 ^{n.s.}	12,88 ^{n.s.}	3,60 ^{n.s.}	90,22 ^{n.s.}	46,33 a
RX210	6,18	31,35	547,20	11,30	3,38	87,46	46,50 a
RX330	6,10	47,35	585,00	12,03	3,45	89,18	46,75 a
RX520	6,50	49,28	567,90	12,68	3,75	89,15	48,25 a
RX610	6,55	44,00	529,65	13,43	3,78	90,12	47,00 a
Testemunha	6,63	39,05	546,30	14,55	3,60	90,56	44,33 b
Média	6,36	43,13	560,18	12,81	3,59	89,45	46,53
CV (%)	8,84	41,51	6,76	8,27	7,70	2,67	2,70
AE UTFPR – 0,10 a 0,20 m							
AV	5,88 ^{n.s.}	6,68 ^{n.s.}	217,80 ^{n.s.}	11,25 ^{n.s.}	3,25 ^{n.s.}	86,14 ^{n.s.}	42,75 ^{n.s.}
RX210	5,63	4,78	156,60	9,98	2,78	82,56	40,50
RX330	5,68	6,95	231,30	10,85	2,90	84,43	40,50
RX520	5,63	5,05	188,10	10,48	2,88	83,34	40,75
RX610	5,73	6,48	189,00	10,83	3,10	79,03	40,75
Testemunha	6,03	7,17	177,30	11,78	3,25	81,00	42,00
Média	5,76	6,19	193,35	10,86	3,02	82,75	41,21
CV (%)	4,85	22,96	32,72	6,35	9,95	8,91	4,18

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo.

A diferença nos teores de nutrientes entre os anos agrícolas de 2020 e 2021 no experimento conduzido na AE UTFPR pode ser explicada pela mudança no sistema de adubação dos brócolis. No primeiro cultivo a adubação foi realizada nas linhas de plantio, já no segundo plantio a adubação foi realizada em área total, conforme descrito no material e métodos. A amostragem de solo para as análises seguiu a mesma metodologia nos dois anos, sendo realizada nas entrelinhas de

brócolis, portanto podendo esta mudança explicar as diferenças verificadas nos teores dos nutrientes nos diferentes anos agrícolas.

Resultados semelhantes são reportados na literatura em trabalhos com plantio direto tanto em grãos como em hortaliças. Cunha et al. (2011) não observaram diferenças nos atributos químicos do solo quando cultivados por quatro anos com coberturas de crotalária, guandu, mucuna e sorgo antecedendo o cultivo orgânico de feijão e milho; no entanto, verificaram elevação do teor de MO em relação à condição inicial, seja sob plantio direto ou convencional.

Em um estudo avaliando as propriedades químicas do solo e a produção de cebola em SPDH por oito anos, Souza et al. (2021) não encontraram diferenças entre os períodos de avaliação para as variáveis MO, pH, Ca, Mg, Al e CTC. Segundo os autores o crescimento e a deposição de restos das plantas de cobertura e resíduos de plantas daninhas durante o curso dos oito anos de cultivo promoveram a ciclagem de nutrientes e a manutenção das características do solo. Por outro lado houve aumento no P e K disponíveis e na saturação de bases (V) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, que segundo os autores pode também ser atribuída à deposição de palhadas das plantas de cobertura.

Alguns autores têm reportado resultados semelhantes de acúmulo de matéria orgânica em sistema plantio direto. Assim como observado em Pato Branco, o acúmulo de matéria orgânica pode ocorrer na camada superficial (LIMA et al., 2018; GARCÍA-FRANCO et al., 2015; LOSS et al., 2015; NASCENTE et al., 2015; CONCEIÇÃO et al., 2013; DOMÍNGUEZ et al., 2009; BOEM et al., 2008); ou nas camadas abaixo de 10 cm como observado no experimento de Coronel Vivida (VARVEL; WILHEM, 2011).

Com relação ao pH do solo não houve diferenças significativas entre os tratamentos nos dois experimentos de SPDH e nas profundidades avaliadas. Outros estudos têm relatado acidificação na camada superficial do solo sob sistemas conservacionistas e atribuem isso à retenção de resíduos na superfície do solo (ENSINAS et al., 2016; HOUX et al., 2011; LÓPEZ-FANDO; PARDO, 2009; HICKMAN; 2002).

O uso do plantio direto ou apenas a abertura dos sulcos para plantio sem a incorporação dos resíduos das plantas de cobertura contribui para uma

melhor infiltração de água, melhoria nas trocas gasosas, desenvolvimento do sistema radicular e estabilidade das propriedades químicas do solo (KOCHHANN; DENARDIN, 2000). Além disso, os nutrientes são disponibilizados lentamente para as plantas em sistema de plantio direto devido à presença dos resíduos das plantas de cobertura na superfície do solo (OLIVEIRA et al., 2016).

Os resultados dos atributos físicos do solo nos experimentos em Coronel Vivida e Pato Branco são apresentados nas Tabelas 12 e 13. Nas duas localidades não houve diferenças significativas nas camadas de 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m nas variáveis densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade em comparação com a testemunha.

Tabela 12 – Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	DS	PT	MIP	MAP
	g cm ⁻³		%	
Coronel Vivida – 0 a 0,05 m				
AV	1,27 ^{ns}	55,48 ^{ns}	44,39 ^{ns}	11,08 ^{ns}
AV+EP+NF	1,27	55,65	42,94	12,11
AV+EP+EF	1,32	52,34	41,83	10,51
AV+EP+TB	1,33	52,69	40,81	11,88
AV+CE+EP+EF	1,30	54,39	43,46	10,92
AV+CE+EP+EF+TB	1,33	53,69	44,00	9,68
Testemunha	1,33	53,93	42,38	11,55
Média	1,31	54,02	42,83	11,10
CV (%)	5,01	5,27	8,75	24,28
Coronel Vivida – 0,05 a 0,10 m				
AV	1,34 ^{ns}	52,07 ^{ns}	37,96 ^{ns}	14,11 ^{ns}
AV+EP+NF	1,39	51,37	40,62	10,74
AV+EP+EF	1,47	47,14	38,39	8,74
AV+EP+TB	1,44	48,63	38,93	9,68
AV+CE+EP+EF	1,45	49,14	39,75	9,38
AV+CE+EP+EF+TB	1,42	50,30	41,28	9,01
Testemunha	1,40	51,99	41,86	10,13
Média	1,42	50,09	39,83	10,26
CV (%)	5,06	6,54	10,19	22,45

CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo ($P \leq 0,05$).

Tabela 13 – Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	DS	PT	MIP	MAP
	g cm ⁻³		%	
UTFPR – 0 a 0,05 m				
AV	0,98 ^{ns}	68,24 a	44,39 a	21,76 ^{ns}
RX210	0,99	68,08 a	47,96 a	20,12
RX330	1,06	68,56 a	41,83 a	19,23
RX520	1,04	66,54 a	47,05 a	19,30
RX610	1,00	66,36 a	46,53 a	20,03
Testemunha	1,00	65,29 a	44,11 a	22,43
Tempo 0	1,09	52,48 b	31,72 b	20,75
Média	1,09	67,18	45,31	20,52
CV (%)	9	6,32	5,58	27,14
UTFPR – 0,05 a 0,10 m				
AV	1,07 b	64,18 a	46,02 a	18,16 ^{ns}
RX210	1,11 b	63,64 a	46,75 a	16,89
RX330	1,08 b	65,28 a	47,68 a	17,61
RX520	1,08 b	63,79 a	46,33 a	17,46
RX610	1,07 b	64,72 a	47,08 a	17,64
Testemunha	1,05 b	63,56 a	44,80 a	18,75
Tempo 0	1,21 a	50,55 b	35,51 b	16,16
Média	1,21	64,19	46,44	17,52
CV (%)	4,15	3,62	3,35	15,43

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo.

No experimento conduzido em Pato Branco ao comparar os resultados de atributos físicos do solo com o tempo zero (0), o qual foi uma coleta realizada antes da instalação do experimento, observou-se diferenças significativas nas variáveis porosidade total (PT) e microporosidade (MIP), nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm as quais apresentaram maiores valores em relação ao tempo 0. A variável densidade do solo (DS) foi maior no tempo 0 na profundidade de 5 a 10 cm em relação aos demais tratamentos e a testemunha.

Os resultados no experimento em Pato Branco refletem os benefícios da adoção do SPDH com relação ao aumento da porosidade do solo e diminuição

da densidade comparando com o tempo zero. No caso da testemunha os resultados refletem a ação mecânica do motocultivador na pulverização do solo, indicando um considerável grau de compactação do solo.

Diversos autores têm considerado valores de macroporosidade na ordem de 10% como críticos para a aeração do solo, abaixo do qual a difusão de oxigênio torna-se limitante ao funcionamento das raízes (CENTURION et al., 2007; MELO FILHO et al., 2007; DREWRY et al., 2004; XU et al., 1992; DEXTER, 1988). Em Coronel Vivida valores abaixo deste limite foram encontrados nas camadas 5 a 10 cm, podendo sinalizar algum problema de compactação nestas camadas do solo. Em Pato Branco os valores de MAP ficaram acima do nível crítico.

Avaliando os atributos físicos do solo no cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional, Loss et al. (2017) verificaram que a densidade do solo não variou entre o SPDH e o SPC nas camadas mais superficiais do solo (0 a 5 cm e 5 a 10 cm), porém nas camadas de 10 a 15 cm e 15 a 20 cm o SPC apresentou menores valores de densidade do solo, decorrentes das práticas de aração e gradagem. Já a porosidade total (PT) foi maior no SPDH na camada de 0 a 5 cm, sendo a cobertura de aveia a que proporcionou os maiores valores de PT. Quanto a macro e microporosidade, os mesmos autores verificaram diferenças apenas na macroporosidade na profundidade 10 a 15 cm, onde os maiores valores ocorreram no SPC.

Em trabalhos com sistemas de plantio direto para grãos tem-se evidenciado a melhoria dos atributos físicos do solo pela adoção do sistema e pela matéria orgânica aportada através da rotação com plantas de cobertura (BLANCO-CANQUI; RUIZ, 2018). Podemos citar Cunha et al. (2011) na produção orgânica de feijão e milho, Torres et al. (2015) com o uso de diferentes plantas de cobertura após 12 anos de semeadura direta, Sebben Junior et al. (2016) e Silva et al. (2021) em estudos de 6 e 10 anos, respectivamente, com rotações de grãos e plantas de cobertura, entre outros. Por outro lado, Wolschick et al. (2018) não observaram influência nos atributos físicos do solo avaliando a produção de massa de plantas de cobertura e seus reflexos nos atributos de rendimento de milho e soja.

Com relação aos atributos biológicos do solo, houve alteração significativa no fluxo acumulado de CO₂ após 24 dias de incubação (C_{min0-24d}) no

experimento instalado em Pato Branco, onde as parcelas com plantas de cobertura apresentaram maiores valores em relação à testemunha, indicando alta atividade microbiológica nestas parcelas. No experimento instalado em Coronel Vivida não houve diferença nesta variável sendo que a média ficou em 527,6 mg C-CO₂ Kg⁻¹ de solo (Tabela 14).

Tabela 14 – Mineralização acumulada de carbono aos 24 dias de incubação (C_{min0-24d}), Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), Quociente metabólico (qCO₂) e Quociente microbiano (Q_{mic}) na camada 0 a 10 cm do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB) e em Pato Branco em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	C _{min0-24d}	C-BMS	qCO ₂	Q _{mic}
	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo	mg C-mic Kg ⁻¹ solo	mg C-CO ₂ g ⁻¹ BMS-C h ⁻¹	%
Coronel Vivida – 0 a 0,10 m				
AV	560,4 ^{n.s.}	179,09 ^{n.s.}	5,48 ^{n.s.}	0,89 ^{n.s.}
AV+EP+NF	631,2	162,91	6,70	0,92
AV+EP+EF	484,4	211,56	4,14	1,14
AV+EP+TB	565,5	194,17	5,54	0,97
AV+CE+EP+EF	606,3	176,14	6,11	0,93
AV+CE+EP+EF+TB	356,7	184,37	3,41	1,00
Testemunha	488,4	188,60	4,56	0,92
Média	527,6	185,3	5,13	0,97
CV (%)	36,79	12,98	37,18	19,36
AE UTFPR – 0 a 0,10 m				
AV	2118,6 a	49,53 ^{n.s.}	75,69 ^{n.s.}	0,18 ^{n.s.}
RX210	1574,1 a	54,49	54,19	0,20
RX330	2164,8 a	49,94	84,11	0,18
RX520	2337,9 a	36,90	109,25	0,13
RX610	1892,4 a	51,66	73,42	0,19
Testemunha	1218,6 b	35,26	70,54	0,14
Média	1884,4	46,3	77,87	0,17
CV (%)	21,9	38,99	36,97	38,06

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (P≤0,05). CV: coeficiente de variação. n.s.: não significativo.

O fluxo de CO₂ representa a capacidade funcional do solo em ciclar nutrientes, decompor resíduos orgânicos e catalisar e estabilizar os processos do ecossistema por meio da interação dos diversos organismos (FRANZLUEBBERS,

2016). Altos valores de fluxo de CO_2 podem estar ligados ao processo excessivo de mineralização de carbono podendo provocar uma imobilização significativa de nitrogênio, característico de ambientes com adição de matéria orgânica com alta taxa de decomposição (MARQUES et al. 2000; FRANZLUEBBERS; BROCK, 2007).

Os teores de carbono da biomassa microbiana (C-BMS) variaram na média entre os experimentos instalados em Coronel Vivida e em Pato Branco, sendo maiores no SPDH de Coronel Vivida. Não houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos e a testemunha para ambos os locais.

Avaliando os atributos microbianos no cultivo de melão em ambiente protegido sob diferentes sistemas de manejo, Fontenelle et al. (2016) observaram valores de C-BMS semelhantes aos encontrados no experimento de Coronel Vivida, não encontrando diferenças entre os sistemas de plantio convencional e plantio direto. Embora o C-BMS possa ser uma variável de diferenciação entre sistemas de manejo de curto prazo, a resposta é mais clara em estudos de longo prazo (SILVA et al., 2010).

Os baixos valores de CBM-S encontrados no experimento de implantação do SPDH em Pato Branco, aliados a um alto valor de QCO_2 e baixos valores de Qmic podem estar relacionados à fase inicial de implantação do experimento neste local, o qual era utilizado para experimentos em sistemas convencionais de plantio. Um incremento nos teores de carbono microbiano é esperado com o decorrer do tempo de conversão para o SPDH, o que vai favorecer subsequentemente o acúmulo de carbono orgânico neste solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Em Coronel Vivida observou-se uma situação de solo tendendo ao equilíbrio, apesar de valores ainda elevados de qCO_2 .

Elevados valores de quociente metabólico são indicativos de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com organismos colonizadores de rápido crescimento (R-estrategistas) (SANTOS; MAIA, 2013; BRADY; WEIL, 2013), as quais apresentam maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, podendo também ser indicativo de ecossistemas jovens submetidos a algum tipo de estresse metabólico (ANDERSON; DOMSCH, 1993; MALUCHE-BARETTA et al., 2006).

Segundo Anderson (2003), valores acima de $2 \text{ g C-CO}_2 \text{ Kg CBM}^{-1} \text{ h}^{-1}$

são comumente supostos para indicar um limiar crítico para o desempenho de comunidades microbianas, ou seja, quanto menor for o qCO_2 mais eficiente é a comunidade microbiana do solo em acumular C, sendo menos C perdido na forma de CO_2 , demonstrando um maior estado de equilíbrio.

A relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total, expressa pelo quociente microbiano (Q_{mic}), foi reduzida em ambos os experimentos de implantação de SPDH (Tabela 14). Essa relação reflete processos importantes relacionados às adições e transformações da matéria orgânica do solo, assim como quanto do C orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva deste elemento no solo (ANDERSON; DOMSH, 2010; SPARLING, 1992; ANDERSON, 1994; SALTON et al., 2014).

Áreas com maiores valores de quociente microbiano indicam condições mais estáveis, como áreas de mata nativa, com imobilização do carbono na biomassa microbiana do solo. Por outro lado, áreas com baixos valores de quociente microbiano representam ambientes instáveis e condições de estresse ambiental indicando menor reserva de compostos orgânicos no solo (WARDLE, 1994; CARNEIRO et al., 2009; DADALTO et al., 2015) Alguns autores citam valores de Q_{mic} acima de 2,2% indicando acúmulo de C (ANDERSON; DOMSCH, 1990; BARETTA et al., 2005; POWLSON et al., 1987). Para condições tropicais, Balota (2017) sugere valores de referência de aproximadamente 1,5 %.

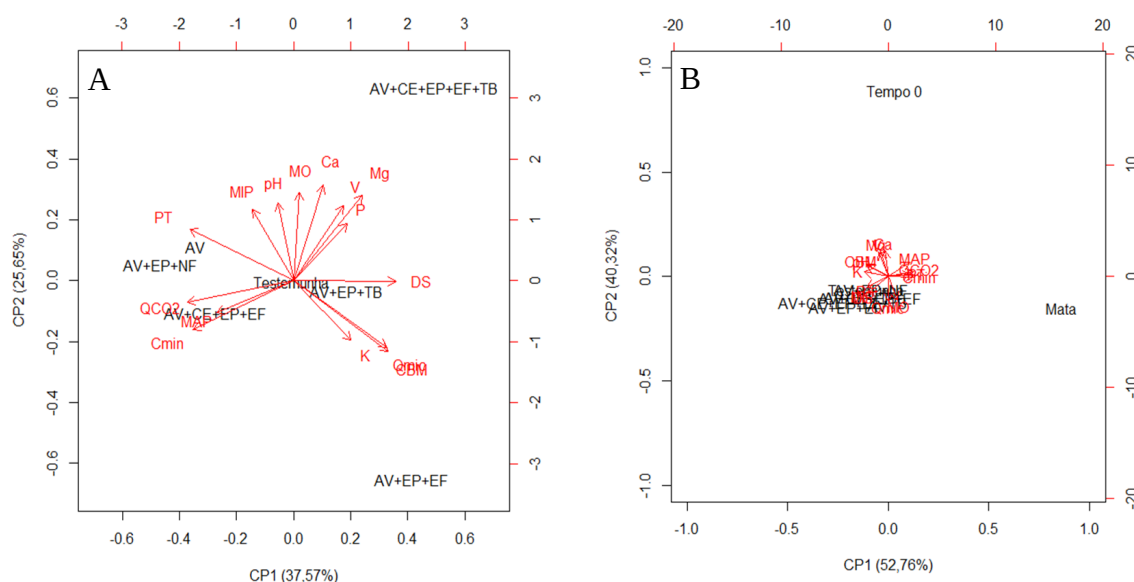
É possível que a falta de efeito das diferentes composições das plantas de cobertura em relação à testemunha, valores elevados de qCO_2 e baixos de Q_{mic} além do baixo acúmulo de C-BMS no experimento de Pato Branco estejam relacionados ao curto tempo de condução do experimento em ambos os locais.

Nas Figuras 4a e 4b são apresentados os diagramas de ordenação da análise de componentes principais (ACP) das variáveis resposta atributos do solo em função dos diferentes tratamentos com plantas de cobertura no experimento em Coronel Vivida. Considerando o solo de mata e o tempo 0 (zero) (Figura 4a), pode-se observar um distanciamento entre estes e destes em relação aos tratamentos e à testemunha, sugerindo a necessidade de um maior tempo de implantação do SPDH para a percepção de melhorias nos atributos do solo.

Solos de mata são caracterizados por maiores porcentagens de argila

dispersa em água, macro e microporosidade, maiores teores de matéria orgânica e maior diâmetro médio de agregados na camada superficial, sendo também mais profundos e com maior capacidade de retenção de água do que solos de cultivo (SPERA et al., 1996).

Figura 4 – Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m do solo e pH em CaCl₂, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V), teor de matéria orgânica (MO), Fluxo de CO₂ do solo aos 24 dias de incubação (Cmin), Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), Quociente metabólico (qCO₂) e Quociente microbiano (Qmic) na camada de 0,00 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). A) Considerando apenas os tratamentos B) Considerando a Mata e o tempo 0. Pato Branco-PR, 2021.



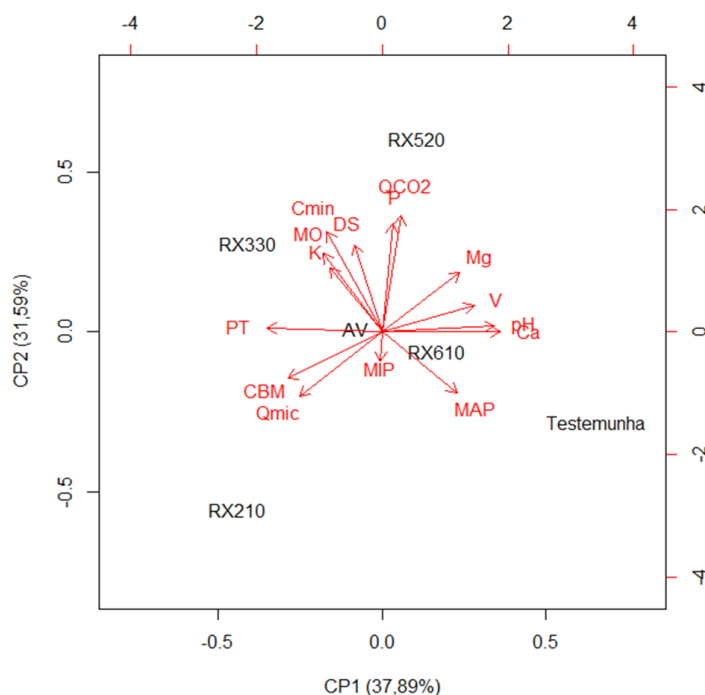
Fonte: O autor (2021).

Em relação aos tratamentos com plantas de cobertura em relação à testemunha, isolando-se a mata e o tempo zero (0) (Figura 4b), pode-se verificar que os componentes explicam 63,22% da variância total. Observa-se a testemunha em uma posição centralizada e os tratamentos com plantas de cobertura dispersos no gráfico conforme seus scores em relação às variáveis de atributos do solo. Destaque para as combinações AV+EP+EF, a qual relaciona-se positivamente com o CBM e o Qmic e a combinação AV+CE+EP+EF+TB, que se relaciona com as variáveis químicas do solo MO, Ca, V, Mg, P. Os tratamentos com aveia solteira e a combinação AV+EP+NF apresentam forte relação com a variável porosidade total

(PT), possivelmente devido ao sistema radicular destas coberturas.

No experimento de implantação do SPDH conduzido em Pato Branco, pode-se observar pelo diagrama de ordenação gerado que 69,48 % da variabilidade entre os tratamentos é explicada pelos dois primeiros componentes principais (Figura 5).

Figura 5 – Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m do solo e pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V), teor de matéria orgânica (MO), Fluxo de CO₂ do solo aos 24 dias de incubação (Cmin), Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), Quociente metabólico (qCO₂) e Quociente microbiano (Qmic) na camada de 0,00 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.



Fonte: O autor (2021).

Observa-se também que o mix de plantas de cobertura denominado RX210, o qual é composto por aveia branca, aveia preta, centeio, nabo forrageiro e nabo pivotante, diferencia dos demais tratamentos e tem relação positiva com os atributos biológicos do solo CBM e Qmic, possivelmente devido a maior diversidade de espécies neste mix. O mix RX330, composto por aveia preta, centeio e mix de ervilhacas, relaciona-se com as variáveis matéria orgânica, K, Cmin e DS. A testemunha, devido ao revolvimento do solo realizado, apresentou afinidade com a

macroporosidade (MAP), o mesmo comportamento ocorrendo com o mix RX610 provavelmente pela presença do nabo na composição deste mix.

Avaliando os componentes principais nos atributos edáficos em sistema de plantio direto agroecológico de cebola, Koucher et al. (2014), observaram a formação de três grupos distintos, sendo um relacionado ao SPDH, outro ao SPC e outro à área de mata. Os autores destacaram a disposição dos grupos formados, sendo que o SPDH ficou em oposição ao SPC; e a área de mata numa condição intermediária aos dois sistemas de plantio.

Cabe destacar mais uma vez que o presente estudo se ateve ao processo inicial de adoção de um SPDH em duas áreas no sudoeste do Paraná. Sabemos que o SPDH é um processo de construção contínua que busca uma transição para o sistema agroecológico de produção, por meio de sistemas mais diversificados e complexos de produção e que podem levar algum tempo para expressar na totalidade todos os benefícios proporcionados pelo SPDH.

5 CONCLUSÕES

- O uso das plantas de cobertura de inverno e verão não aumentou a produtividade dos brócolis nesta fase inicial do SPDH, sendo esta superior no tratamento testemunha (plantio com manejo convencional do solo);
- Quanto aos atributos químicos do solo, a utilização das plantas de cobertura e a deposição de seus resíduos no SPDH proporcionou acréscimo do teor de matéria orgânica no segundo ano de cultivo no experimento em Pato Branco-PR. Em Coronel Vivida não foram observadas diferenças significativas para estes atributos.
- Quanto aos atributos físicos do solo, em especial porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e densidade do solo (DS), observou-se efeito positivo dos tratamentos com coberturas do solo reduzindo a compactação do solo em relação ao tempo 0 no experimento realizado em Pato Branco. Em Coronel Vivida não foram observadas diferenças significativas para estes atributos.
- Com relação aos atributos biológicos do solo verificou-se no experimento em Pato Branco-PR maior atividade biológica nas parcelas com plantas de cobertura. Em Coronel Vivida-PR não houve diferença nos atributos biológicos nesta fase inicial de implantação do SPDH.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de plantio direto de hortaliças se insere no contexto da sustentabilidade ambiental. Precisamos buscar sistemas produtivos sustentáveis, que contemplem a redução de insumos químicos, a adoção de sistemas que mantenham ou melhorem a qualidade do solo e ao mesmo tempo proporcionem elevados índices de produtividade no sistema agrícola, viabilizando a permanência do olericultor na atividade.

Neste sentido, podemos considerar com este trabalho de implantação de dois sistemas de plantio direto de hortaliças, que, apesar do curto espaço de tempo de avaliação, já conseguimos visualizar alguns aspectos no sentido da sustentabilidade do sistema proposto, principalmente pelo aporte de matéria orgânica no solo e pela intensa atividade microbiana, nos mostrando a presença da vida no solo realizando as transformações necessárias para o equilíbrio do sistema.

Fica a sugestão para a continuação deste estudo por um período de tempo maior para que se possa acompanhar a evolução da dinâmica produtiva e das características do solo ao longo do tempo de consolidação do sistema.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Carlos Juliano Brant; VON PINHO, Renzo Garcia; SILVA, Renata da. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2., p. 69-76, 2008.

ALLIAUME, Florencia; ROSSING, Walter A. H.; TITTONELL, Pablo; DOGLIOTTI, Santiago. Modelling soil tillage and mulching effects on soil water dynamics in raised-bed vegetable rotations. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 268–281, 2017.

ALMEIDA, Wilk Sampaio de; CARVALHO, Daniel Fonseca de; PANACHUKI, Elói; VALIM, Wander Cardoso; RODRIGUES, Sonia Armbrust; VARELLA, Carlos Alberto Alves. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110–1119. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900010

ALTIERI, Miguel A.; LANA, Marcos A.; BITTENCOURT, Henrique V.; KIELING, Andre S.; COMIN, Jucinei J.; LOVATO, Paulo E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, **Brazil. J. Sustain. Agric.** 35, 1–15. 2011. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.588998>

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDERSON, Traute-Heidi. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 285-293, 2003.

ANDERSON, Traute-Heidi; DOMSCH, Klaus Heinz. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, p. 215–221, 1978.

ANDERSON, Traute-Heidi; DOMSCH, Klaus Heinz. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, Traute-Heidi; DOMSCH, Klaus Heinz. The metabolic quotient (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, Traute-Heidi. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: Ritz K.D, Giller K.E, editors. **Beyond the biomass**. London: British Society of Soil Science, p. 67-76. 1994.

ANDERSON, Traute-Heidi; DOMSCH, Klaus Heinz. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 42, p. 2039-2043, 2010.

ARAÚJO NETO, Sebastião Elviro de; GALVÃO, Robson de Oliveira; FERREIRA, Regina Lúcia Félix; PARMEJANI, Renan Suaiden; NEGREIROS, Jacson Rondinelle da Silva. Plantio direto de cebolinha sobre cobertura vegetal com efeito residual da aplicação de composto orgânico. **Ciência Rural**, v. 40, n.5, p. 1206–1209. 2010.

BAGATINI, Tatiane.; COGO, Neroli Pedro; GILLES, Luciléia; PORTELA, Jeane Cruz; PORTZ, Gustavo; QUEIROZ, Henrique Thomas. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo de solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p.999–1011, 2011.

BALBINOT Jr., Alvadi Antonio; MORAES, Anibal de; BACKES, Rogerio Luiz. Efeito de coberturas de inverno e sua época de manejo sobre a infestação de plantas daninhas na cultura de milho. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 473-480, 2007.

BALOTA, Elcio Liborio. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Ed. rev. Editora Midiograf. Londrina. 2017.

BALOTA, Elcio Liborio; COLOZZI FILHO, Arnaldo; ANDRADE, Diva S.; DICK, Richard P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil Tillage Research**. v. 77, n.2, p. 137–145. 2004.

BARRETA, Dilmar; SANTOS, Julio Cesar Pires; FIGUEIREDO, Samuel Ribeiro; KLAUBERG-FILHO, Osmar. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, vol. 29, p. 715–724, 2005.

BASSEGIO, Doglas; SANTOS, Reginaldo Ferreira; SECCO, Deonir; ZANÃO JUNIOR, Luiz Antonio; WERNCKE, Ivan; SARTO, Marcos Vinícius Mansano. Short-term effects of crop rotations on soil chemical properties under no- tillage condition. **Aust. J. Crop Sci.** v.9, p.49–54. 2015.

BAYER, Cimélio; DIECKOW, Jeferson; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; ELTZ, Flávio Luiz Folleto; VIEIRA, Frederico Costa Beber. Cover Crop Effects Increasing Carbon Storage in a Subtropical No-Till Sandy Acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 9–10, p. 1499–1511, 2009.

BERENDSEN, Roeland L.; PIETERSE, Corné. M. J.; BAKKER, Peter A. H. M. The rhizosphere microbiome and plant health. **Trends in Plant Science**. v.17, p. 478–486. 2012.

BERMUDEZ, Felipe.; HÖFS, Alberto.; NESI, Cristiano Nunes; VOGT, Gilcimar Adriano; PARIZOTTO, Cirio. Desempenho de variedades de milho em Santa Catarina. In: XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo: Inovações, mercado e segurança alimentar. 1., 2016, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, ABMS. 2016. Disponível em: <http://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/1079.pdf>.

BERTOL, Oromar João.; RIZZI, Nivaldo Eduardo; BERTOL, Ildgardis; ROLOFF, Gláucio. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas a erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida as

adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 781–792, 2007.

BETIOLI JÚNIOR, Edner.; MOREIRA, Wagner Henrique; TORMENA, Cássio Antonio; FERREIRA, Camila Jorge Bernabé; SILVA, Alvaro Pires da; GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.971–982, 2012.

BIANCHINI, Cristiano. **Sistemas de manejo do solo para a produção de abobrinha de tronco (*Curcubita pepo*)**. 2013. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

BLANCO-CANQUI, Humberto; RUIS, Sabrina J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164–200, 2018. DOI 10.1016/j.geoderma.2018.03.011.

BOEM, Flavio H. Gutiérrez; ALVAREZ, Carina R.; CABELLO, Maria J.; FERNÁNDEZ, Patricia L. Phosphorus Retention on Soil Surface of Tilled and No-tilled Soils. **Nutrient Management & Soil & Plant Analysis**. v. 72, n. 4, 2008. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0189>.

BRADY, Nyle. C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.

BRANCO, Roberto B. F.; BLAT, Sally F.; GIMENES, Tais G. S.; NOWAKI, Rodrigo H. D.; ARAÚJO, Humberto S.; SALLES, Fernando A. Nitrogen fertilization of vegetables cultivated under no-tillage after cover crops. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 103–110, 2017. DOI 10.1590/s0102-053620170116.

BRANDANI, Carolina Braga; SANTOS, Danielle Gonçalves. **Microbiologia do solo: Transformações do carbono no solo**. 2. ed. Piracicaba-SP: Esalq, 2016.

BULAN, Mary T Saunders; STOLTENBERG, David E.; POSNER, Joshua L. Buckwheat Species as Summer Cover Crops for Weed Suppression in No-Tillage Vegetable Cropping Systems. **Weed Science**, v. 63, n. 3, p. 690–702, 2015.

CAIXETA, Robson Pereira; ALCÂNTARA, Flávia Aparecida de; MADEIRA, Nuno Rodrigo; ABDALLA, Rômulo Pitangui. **Perdas de água, solo, nutrientes e matéria orgânica em área cultivada com cebola sob diferentes sistemas de manejo do solo**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 51).

CAMPIGLIA, Enio; RADICETTI, Emanuele; BRUNETTI, Paola; MANCINELLI, Roberto. Do cover crop species and residue management play a leading role in pepper productivity? **Scientia Horticulturae**, v. 166, p. 97–104, 2014. DOI 10.1016/j.scienta.2013.12.018

CAMPIGLIA, Enio; RADICETTI, Emanuele; MANCINELLI, Roberto. Weed control strategies and yield response in a pepper crop (*Capsicum annuum* L.) mulched with hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) and oat (*Avena sativa* L.) residues. **Crop Protection**, v. 33, p. 65–73, 2012. DOI 10.1016/j.cropro.2011.09.016

CARDOSO, Ricardo Alves; BENTO, Anderson Soares; MORESKI, Humberto Misdei; GASPAROTTO, Francieli. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 35, n. 2, p. 51–60, 2014. DOI:

<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0367.2014v35n2p51>

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; ANDREOTE, Fernando Dini.

MICROBIOLOGIA DO SOLO. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

<https://doi.org/10.3738/1982.2278.1700>.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; SOUZA, Edicarlos Damacena de; REIS, Edésio Fialho dos; PEREIRA, Hamilton Seron; AZEVEDO, Watson Rogério de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 147-157, 2009.

CENTURION, José Frederico; FREDDI, Onã da Silva; ARATANI, Ricardo Garcia; METNER, Ana Flávia Mangeti; BEUTLER, Amauri Nelson; ANDRIOLI, Itamar. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 31, p. 199–209, 2007. .

CERRI, Carlos C.; ANDREUX, Francis; EDUARDO, Brigitte P.; O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Siu M.; NEVES, Maria Cristina P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992, p. 73-90.

CIACCIA, Corrado; TESTANI, Elena; CAMPANELLI, Gabrielle; SESTILI, Sara; LETEO, Frabrizio; TITTARELLI, Fabio; RIVA, Francesco; CANALI, Stefano; TRINCHERA, Alessandra. Ecological service providing crops effect on melon-weed competition and allelopathic interactions. **Organic Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 199–207, 2015. DOI 10.1007/s13165-014-0088-9

CHEN, Guihua; KOLB, Lauren; LESLIE, Alan; HOOKS, Cerruti R. R. Using Reduced Tillage and Cover Crop Residue to Manage Weeds in Organic Vegetable Production. **Weed Technology**, p. 557–573, 2017. DOI: 10.1017/wet.2017.24

CHIEZA, Emerson Dalla; GUERRA, José Guilherme Marinho; ARAÚJO, Ednaldo da Silva; ESPÍNDOLA, José Antônio; FERNANDES, Rodolfo Condé. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, vol. 64, n. 2, p. 189–196, 2017. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764020012>.

COMIN, Jucinei José; FERREIRA, Lucas Borges; SANTOS, Luiz Henrique dos; KOUCHER, Leôncio de Paula; MACHADO, Ludmila Nascimento; SANTOS JUNIOR, Elano dos; MAFRA, Alvaro Luiz; KURTZ, Claudinei; SOUZA, Monique; BRUNETTO, Gustavo; LOSS, Arcângelo. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil and Tillage Research**. v.184, p.195–202. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.002>

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; DIECKOW, Jeferson; BAYER, Cimélio. Combined role

of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, v. 129, p. 40–47, 2013.

COSTA, Elaine Martins da; SILVA, Helane França; RIBEIRO, Paula Rose de Almeida. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p. 18–42, 2013.

COTTA, Jussara Aparecida de Oliveira; CARVALHO, Nayhana Lara Chaves; BRUM, Túlio da Silva; REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65–78, 2015. DOI 10.1590/S1413-41522015020000111864

CUNHA, Eurâimi de Q.; STONE, Luís F.; DIDONET, Agostinho D.; FERREIRA, Enderson P. de B.; MOREIRA, José A. A.; LEANDRO, Wilson M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1021–1029, 2011. DOI 10.1590/S1415-43662011001000005.

CRITTENDEN, Stephen J.; POOT, N.; HEINEN, Marius; VAN BALEN, D. J.M.; PULLEMAN, Mirjam M. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. **Soil and Tillage Research**, vol. 154, p. 136–144, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.018>

DADALTO, Juliana P.; FERNANDES, Haroldo C.; TEIXEIRA, Mauri M.; CECON, Paulo R.; MATOS, Antonio T. de. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p. 506–513, 2015.

D'ANDRÉA, Alexandre Fonseca; SILVA, Marx Leandro Naves; CURI, Nilton; SIQUEIRA, José Oswaldo; CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 913–923, 2002.

DE-POLLI, Helvécio; GUERRA, José Guilherme Marinho. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, Gabriel de A.; SILVA, Leandro S. da; CANELLAS, Luciano P.; CAMARGO, Flavio A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263–276.

DEXTER, Anthony Roger. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Res.**, v. 11, p.199 - 238, 1988.

DINIZ, Ellen Rúbia; SANTOS, Ricardo Henrique Silva; URQUIAGA, Segundo Sacramento; PETERNELLI, Luiz Alexandre, BARRELLA, Tatiana Pires; FREITAS, Gilberto Bernardo de. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.199–206. 2007.

DOMÍNGUEZ, Germán F.; DIOVISALVI, Natalia V.; STUDDERT, Guillermo A.; MONTERUBBIANESI, Mariá Gloria. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. **Soil & Tillage Research**, v. 102, p. 93–100, 2009.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.020>.

DONEDA, Alexandre; AITA, Celso; GIACOMINI, Sandro José; MIOLA, Ezequiel Cesar Carvalho; GIACOMINI, Diego Antonio; SCHIRMANN, Janquiel; GONZATTO, Rogério. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1714–1723, 2012.

DREWRY, John J.; PATON, R. J.; MONAGHAN, Ross Martin. Soil compaction and recovery cycle on a Southland dairy farm: Implications for soil monitoring. **Australian Journal of Soil Research**. v. 42, p. 851–856, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. rev. ampl. Brasília - DF, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2009. 627p.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 353 p., 2018. Available at:
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>.

ENSINAS, Simone Cândido; SERRA, Ademar Pereira; MARCHETTI, Marlene Estevão; DA SILVA, Eulene Francisco; LOURENTE, Elaine Reis Pinheiro; DO PRADO, Eber Augusto Ferreira; MATOS, Flávia Araújo; ALTOMAR, Pedro Henrique; MARTINEZ, Matheus Andrade; POTRICH, Douglas Costa; CONRAD, Vanessa do Amaral; JESUS, Maílson Vieira; EL KADRI, Tárík Cazeiro. Cover crops affect the soil chemical properties under no-till system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 8, p. 1104–1111, 2016. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.08.p7408>.

FAROOQ, Muhammad; FLOWER, Ken; JABRAN, Khawar; WAHID, Abdul; SIDDIQUE, Kadambot H. M. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 172–183, 2011.

FAVARATO, Luiz Fernando; SOUZA, Jacimar Luis de; GALVÃO, João Carlos Cardoso; SOUZA, Caetano Marciano de; GUARÇONI, Rogério Carvalho. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em Sistema de Plantio Direto Orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.5, n.2, p.19–28, 2015.

FAVARATO, Luiz Fernando; SOUZA, Jacimar Luis de; GALVÃO, João Carlos Cardoso; SOUZA, Caetano Marciano de; GUARÇONI, Rogério Carvalho; BALBINO, José Mauro de Souza. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 497–506, 2016.

FERRARI NETO, Jayme; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa; SORATTO, Rogério Peres and COSTA, Claudio Hideo Martins da. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema plantio direto. **Rev. Ciênc. Agron.** [online]. 2011, vol.42, n.4, pp.978-985. <https://doi.org/10.1590/S1806->

66902011000400021.

FERREIRA, Lucas Borges; LOSS, Arcângelo; GIUMBELLI, Lucas Dupont; VENTURA, Barbara Santos; SOUZA, Monique; MAFRA, Álvaro Luiz; KURTZ, Claudinei; COMIN, Jucinei José; BRUNETTO, Gustavo. Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil Research**. v. 56, p. 846–855. 2018. <https://doi.org/10.1071/SR18167>.

FONTENELLE, Mariana Rodrigues; LIMA, Carlos Eduardo Pacheco; BALDUÍNO, Daniela; MENDES, Lucas Soares; BONFIM, Catharine Abreu. **Mudanças de atributos microbianos em cultivo de melão em ambiente protegido sob diferentes sistemas de manejo**. Brasília:Embrapa Hortaliças, 2016. 26p. (Embrapa Hortaliças. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento, 135).

FONTES, Paulo Cezar Rezende; NUNES, Julio Cezar Silveira; FERNANDES, Haroldo Carlos; ARAÚJO, Eduardo Fontes. Características físicas do solo e produtividade da batata dependendo de sistemas de preparo do solo. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.355–359, 2007. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000300007>

FORTE, César Tiago; GALON, Leandro; BEUTLER, Amauri Nelson; PERIN, Gismael Francisco; PAULETTI, Elisson Stephânio Savi; BASSO, Felipe Jose Menin; HOLZ, Cinthia Maethê Holz; SANTIN, Carlos Orestes. Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.13, n.1, p. 1-10, 2018. DOI [10.5039/agraria.v13i1a5504](https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5504)

FRANZLUEBBERS, Alan J.; HANEY, Rick L.; HONEYCUTT, Charles Wayne; SCHOMBERG, Harry H.; HONS, Frank M. Flush of Carbon Dioxide Following Rewetting of Dried Soil Relates to Active Organic Pools. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p.613–623, 2000.

FRANZLUEBBERS, Alan J. Short-term C mineralization (aka the flush of CO₂) as an indicator of soil biological health. **CAB Reviews**. n. 017, 2018. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813017>.

FRANZLUEBBERS, Alan J. Should soil testing services measure soil biological activity?. **Agricultural & Environmental Letters**. v. 1, n. 1, p. 1-5. 2016.

FRANZLUEBBERS, Alan J.; BROCK, Bobby G. Surface soil responses to silage cropping intensity on a Typic Kanhapludult in the piedmont of North Carolina. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, 126-137. 2007.

FREITAS, Pedro Luiz de; LANDERS, John N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of Zero Tillage. **Conservation Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 35–46, 2014.

FUENTES-LLANILLO, Rafael; TELLES, Tiago Santos; SOARES JUNIOR, Dimas; DE MELO, Thadeu Rodrigues; FRIEDRICH, Theodor; KASSAM, Amir. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, vol. 208, p. 104877, 2021. DOI [10.1016/j.still.2020.104877](https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877).

- GARCIA-FRANCO, Noelia; ALBALADEJO, Juan.; ALMAGRO, María Belmonte; MARTÍNEZ-MENA, María. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. **Soil and Tillage Research**, v. 153, p. 66–75, 2015. DOI 10.1016/j.still.2015.05.010.
- GIRARDELLO, Rudinei; SILVA, Danni Maisa da; GUERRA, Divanilde; LANZANOVA, Mastrângello Enívar; SOUZA, Eduardo Lorensi de. Produção de alface sob plantio direto em sistema de transição agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 12, n. 2, p. 273–279, 2017.
- GOMES, Luiz Savelli; BRANDÃO, Afonso Maria; BRITO, Césio Humberto De; MORAES, Daniele Ferreira De. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo em milho tropical. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.2, p.140-145, fev. 2010.
- GSELMAN, Anastazija, KRAMBERGER, Branko. Benefits of winter legume cover crops require early sowing. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.1156–1163. 2008.
- GUEDES FILHO, Osvaldo; SILVA, Alvaro Pires da; GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo; TORMENA, Cássio Antônio. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, v.204-205, p.94–101, 2013.
- HE, Xinhua.; XU, Minggang; QIU, Guo Yu; ZHOU, Jianbin. Use of ¹⁵N stable isotope to quantify nitrogen transfer between mycorrhizal plants. **Journal of Plant Ecology**, 2, 107–118, 2009.
- HEINRICHS, Reges; VITTI, Godofredo César; MOREIRA, Adonis; DE FIGUEIREDO, Paulo Alexandre Monteiro; FANCELLI, Antonio Luiz; CORAZZA, Edemar Joaquim. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, no. 1, p. 71–79, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100008>.
- HICKMAN, Michael V. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical and mineral properties. **J. Plant Nutr.** v. 25, p. 1457–1470. 2002.
- HOBBS, Peter R.; SAYRE, Ken; GUPTA, Raj. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.363, p.543–555, 2008.
- HOUX James H.; WIEBOLD Willian J.; FRITSCHI, Felix B. Long-term tillage and crop rotation determines the mineral nutrient distributions of some elements in a Vertic Epiaqualf. **Soil and Tillage Research**, v. 112, p. 27–35. 2011.
- HUGGINS, David R.; REGANOLD, John P. No-till: the quiet revolution. **Scientific American**, v.299, p.70–77, 2008.
- KASSAM, Amir; FRIEDRICH, Theodor.; DERPSCH, Rolf. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, vol. 76,

no. 1, p. 29–51, 2018. DOI 10.1080/00207233.2018.1494927.

KLEINA, Georgia Bascherotto. **Biomassa microbiana e carbono mineralizável no solo em sistemas integrados de produção agropecuária**. 2017. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KOCHHANN, Rainoldo Alberto, DENARDIN, José Eloir. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Embrapa Trigo, Passo Fundo (Embrapa Trigo. Documentos, 20), 36 p. 2000.

KOUCHER, Leôncio De Paula; LOSS, Arcângelo; COMIN, Jucinei José; BASSO, Alex; OLIVEIRA, Salvador; MACHADO, Ludmila Nascimento; OLIVEIRA, Rodolfo Assis De. Índice de Sensibilidade e Análise de Componentes Principais com Atributos Edáficos em Sistema Plantio Direto Agroecológico da Cebola, Ituporanga, SC. In: X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo Fatos e Mitos em Ciência do Solo. 1., 2014, Pelotas. **Anais...** Pelotas, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2014

LAL, Rattan.; REICOSKY, Don C.; HANSON, Jonathan D. Evolution of the polw overs 10.00 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, v.93, p.1–12. 2007.

LI, Dejun; LIU, Jing; CHEN, Hao; ZHENG, Liang; WANG, Kelin. Soil gross nitrogen transformations in responses to land use conversion in a subtropical karst region. **Journal of Environmental Management**, vol. 212, p. 1–7, 2018. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.01.084.

LIMA, Carlos Eduardo P.; FONTENELLE, Mariana R.; LIGOSKI, Gabriela R.; MADEIRA, Nuno R.; OLIVEIRA, Valter R.; PINHEIRO, Jadir B.; GONDIM, Rubens S.; LIMA, Mirtes F. Productivity and quality of melon cultivated in a protected environment under different soil managements. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 576–583, 2017.

LIMA, Carlos Eduardo P.; FONTENELLE, Mariana R.; MADEIRA, Nuno R.; SILVA, Juscimar da; GUEDES, Ítalo Moraes Rocha; SILVA, Luciana Rodrigues Borba; SOARES, Daiana Costa. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 378–387, 2016.

LIMA, Carlos Eduardo P.; GUEDES, Ítalo Moraes Rocha, SILVA, Juscimar da; ALCÂNTARA, Flávia A.; MADEIRA, Nuno R.; CARVALHO, Agnaldo D. F.; FONTENELLE, Mariana R. Effects of Five Years Adoption of No-Tillage Systems for Vegetables Crops in Soil Organic Matter Contents. **Agricultural Sciences**, v.9, p.117-128. 2018. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2018.91009>

LIMA, Carlos Eduardo Pacheco; MADEIRA, Nuno Rodrigo. **Sistema de plantio direto em hortaliças (SPDH)**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2251611/sistema-de-plantio-direto-em-hortalicas-spdh>.

LÓPEZ-FANDO, Christina; PARDO, María Teresa. Changes in soil chemical

characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. **Soil Till. Res.** v. 104, p. 278–284. 2009.

LOSS, Arcângelo; MORAES, André Geraldo de Lima; PEREIRA, Marcos Gervasio; SILVA, Eliane Maria Ribeiro da; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.57–64, 2010a.

LOSS, Arcângelo; PEREIRA, Marcos Gervasio; SCHULTZ, Nivaldo; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; SILVA, Eliane Maria Ribeiro da. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v.69, p.913–922, 2010b.

LOSS, Arcângelo; BASSO, Alex; OLIVEIRA, Bruno Salvador; DE PAULA KOUCHER, Leôncio; DE OLIVEIRA, Rodolfo Assis; KURTZ, Claudinei; LOVATO, Paulo Emílio; CURMI, Pierre; BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei José. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212–1224, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>.

LOSS, Arcângelo; SANTOS JUNIOR, Elano dos; SCHMITZ, Daniela; VEIGA, Milton da; KURTZ, Claudinei; COMIN, Jucinei José. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, p. 105–113, 2017.

MADEIRA, Nuno Rodrigo, LIMA, Carlos Eduardo Pacheco; MELO, Raphael Augusto Castro e; FONTENELLE, Mariana Rodrigues; SILVA, Juscimar da; MICHEREFF FILHO, Miguel; GUEDES, Ítalo Moraes Rocha. **Cultivo do tomateiro em Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2019. 31p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 168).

MADEIRA, Nuno Rodrigo. Avanços tecnológicos no cultivo de hortaliças em sistema de plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v.27, S4036-S4037, 2009. (Suplemento). Disponível em <
http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_3/mr_1_artigo_palestra_nuno_madeira.pdf>. Acesso em 15 Mar. 2018.

MAY, André; TIVELLI, Sebastião Wilson; VARGAS, Pablo Forlan; SAMRA, Ariana Grunvald; SACCONI, Laura Vidotto; PINHEIRO, Mariane Quaglia. **A cultura da couve-flor**. Campinas: IAC (Boletim Técnico, 200), 2007. 36 p.

MALUCHE-BARETTA, Carolina Riviera Duarte; AMARANTE, Cassandro Vidal Talamini do; KLAUBERG FILHO, Osmar. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1531-1539, 2006.

MARCHIORI JÚNIOR, Milton; MELO, Wanderley José de. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.257–263, 1999.

MARQUELLI, Waldir Aparecido; ABDALLA, Rômulo Pitangui; MADEIRA, Nuno

Rodrigo; OLIVEIRA, Aureo Silva de; SOUZA, Rodrigo Fernandes de. Eficiência do uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 369-375, 2010.

MARQUELLI, Waldir Aparecido; SILVA, Henoque Ribeiro da; MADEIRA, Nuno Rodrigo. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1399-1404, 2006.

MARQUES, Sebastião Rovilson; WEILL, Mara de Andrade Marinho; SILVA, Laura Fernanda Simões da. Qualidade física de um Latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 967-974, 2010.

MARQUES, Teresa Cristina Lara Lanza de Sá e Melo; VASCONCELLOS, Carlos Alberto; PEREIRA FILHO, Israel; FRANÇA, Gonçalo Evangelista de; CRUZ, José Carlos. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35, no. 3, p. 581–589, 2000. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2000000300014>.

MARZI, Mostafa; SHAHBAZI, Karim; KHARAZI, Nahid; REZAEI, Meisam. The Influence of Organic Amendment Source on Carbon and Nitrogen Mineralization in Different Soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 1, p. 177–191, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00116-w>.

MATIAS, Maria da Conceição Bezerra da Silva; SALVIANO, Adeodato Ari Cavalcante; LEITE, Luiz Fernando de Carvalho; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira de. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.517–521, 2009.

MAZURANA, Michael; FINK, Jessé Rodrigo; CAMARGO, Estefania; SCHMITT, Catiline; ANDREAZZA, Robson; CAMARGO, Flávio Anastácio de Oliveira. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 288–296. 2013.

MELO, Raphael Augusto de Castro e; MADEIRA, Nuno Rodrigo; PEIXOTO, José Ricardo. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 23–28, 2010.

MELO, Raphael Augusto de Castro e. **A cultura dos brócolis**. Brasília, DF : Embrapa, 2015. 153 p.: il. color.; (Coleção Plantar, 74).

MELO, Gabriel Bressiani; PEREIRA, Marcos Gervasio; PERIN, Adriano; GUARESCHI, Roni Fernandes; SOARES, Paula Fernanda Chaves. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1511–1519, 2016.

MELO FILHO, José Fernandes de; SOUZA, André Leonardo Vasconcelos; SOUZA, Luciano da Silva. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um latossolo amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. **Revista**

Brasileira de Ciencia do Solo, vol. 31, p. 1599–1608, 2007.

MIRANSARI, Mohammad. Soil microbes and the availability of soil nutrients. **Acta Physiologiae Plantarum**. v. 35, p. 3075–3084, 2013.

MORENO-CORNEJO, Jennifer, ZORNOZA, Raúl, FAZ, Ángel. Carbon and nitrogen mineralization during decomposition of crop residues in a calcareous soil. **Geoderma**. v.230, p.58–63. 2014.

MU, Lan; FANG, Lan; LIANG, YinLi. Temporal and spatial variation of soil respiration under mulching in a greenhouse cucumber cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 51, p. 869–879, 2016.

NASCENTE, Adriano Stephan, STONE, Luis Fernando; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa. Soil chemical properties affected by cover crops under no-tillage system. **Revista Ceres**. v. 62, p. 401–409. 2015. [https://doi.org/ 10.1590/0034-737X201562040010](https://doi.org/10.1590/0034-737X201562040010).

NASCIMENTO, Fábio Nunes do; BASTOS, Edson Alves; CARDOSO, Milton José; ANDRADE JÚNIOR, Aderson Soares de; RAMOS, Herbert Moreira. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94–108, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p94-108>

NICHOLS, Clara Ines; ALTIERI, Miguel Ángel; VASQUEZ, Luiz; VENTURA, Bárbara Santos; FERREIRA, Guilherme Wilbert; COMIN, Jucinei José. Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: Princípios de transição para sistemas de produção agroecológicos e redesenho de propriedades familiares. In: FAYAD, Jamil A.; ARL, Valdemar; COMIN, Jucinei, MAFRA, Alvaro; MARCHESI, Darlan Rodrigo. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: Método de transição para um novo modo de produção**. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular. 2019.

OLIVEIRA, Nelson Geraldo de; DE-POLLI, Helvécio; ALMEIDA, Dejair L. de; GUERRA, José Guilherme M. Plantio direto de alface adubada com cama de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 112–117, 2006.

OLIVEIRA, Dener M. S.; LIMA, Renato P. de; VERBURG, Ernst E. Jan. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 280–285, 2015.

OLIVEIRA, Jully Gabriela Retzlaf de; RALISCH, Ricardo; GUIMARÃES, Maria de Fátima; BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare; FILHO, João Tavares. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 30, p. 91-98, 2012.

OLIVEIRA, Rodolfo Assis de; BRUNETTO, Gustavo; LOSS, Arcângelo; GATIBONI, Luciano Colpo; KURTZ, Claudinei; MULLER JÚNIOR, Vilmar; LOVATO, Paulo Emílio; OLIVEIRA, Bruno Salvador; SOUZA, Monique; COMIN, Jucinei José. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield [online]. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v.40, p. 1–17. 2016.

<https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150099>.

ORTH, Rafael; FONTANELI, Renato Serena; FONTANELI, Roberto Serena; SACCARDO, Eduardo. Produção de forragem de gramíneas anuais semeadas no verão. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1535-1540, 2012.

PANACHUKI, Elói; BERTOL, Ildegardis; ALVES SOBRINHO, Teodorico; OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches de; RODRIGUES, Dulce Buchala Bicca. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777–1786, 2011.

PATZLAFF, Nédio Luíz; MARTINS, Carlos Eduardo Nogueira; ARBOITTE, Miguelangelo Zieger; HÖFS, Alberto. Variedades de milho com polinização aberta da Epagri sob efeito do espaçamento entre linhas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5750–5766, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-032>.

PAVINATO, Paulo Sérgio; ROSOLEM, Ciro Antonio. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911–920. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>.

PERIN, Adriano; SANTOS, Ricardo Henrique Silva; URQUIAGA, Segundo; GUERRA, José Guilherme Marinho; CECON, Paulo Roberto. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 35-40, 2004.

PISSINATI, Aline, MOREIRA, Adônis; SANTORO, Patricia Helena. Biomass yield and nutrients concentration in shoot dry weight of winter cover crops for no-tillage system. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 47, 2292–2305. 2016. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1243711>

POWLSON, David S.; BROOKES, Philip; CHRISTENSEN, Bent Tolstrup. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biol. Biochem.** v.19, n.159-164, 1987.

RAAIJMAKERS, Jos M.; PAULITZ, Timothy C.; STEINBERG, Christian; ALABOUVETTE, Claude; MOËNNE-LOCCOZ, Yvan. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1, p. 341–361, 2009.

RADICETTI, Emanuele; MANCINELLI, Roberto; MOSCETTI, Roberto; CAMPIGLIA, Enio. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogeton* L.) in Mediterranean environment. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 329–338, 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2017.

RESCK, Dimas Vital Siqueira. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, Rattan. **Soil quality and agricultural sustainability**. Michigan: Ann Arbor Press, 1998. p. 288–300.

ROBAČER, Martina; CANALI, Stefano; KRISTENSEN, Hanne Lakkenborg; BAVEC, Frank; MLAKAR, Silva Grobelnik; JAKOP, Manfred; BAVEC, Martina. Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, v. 208, p. 104–110, 2016.

ROCHA, José Mario Lopes; DOS SANTOS, Antonio Clementino; SILVEIRA JUNIOR, Otacilio; DA SILVA, Rubens Ribeiro; DOS SANTOS, José Geraldo Donizetti; OLIVEIRA, Leonardo Bernardes Taverny de. Características agronômicas do milheto sob efeito de nitrogênio nos sistemas consorciado e monocultivo. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, v. 11, n. 1, p. 37–43, 2017.

SALTON, Julio C.; MERCANTE, Fabio M.; TOMAZI, Michely; ZANATTA, Josileia A. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 190, p. 70–79, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.

SANTINI, Maurício; SIMÕES, Fabiano. **Uso do sistema de plantio direto de hortaliças para cultivo de brócolis em área de integração de lavoura e pecuária**. VII SIEPEX - Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão da UERGS, Brasil, ago. 2017. Disponível em: <<http://conferencia.uergs.edu.br/index.php/7/VIISiepex/paper/view/2792>>.

SANTOS, Vilma Maria dos; MAIA, Leonor Costa. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 195–223, 2013.

SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Renato Serena; FONTANELI, Roberto Serena; TOMM, Gilberto Omar. Leguminosas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Roberto Serena (Ed.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2012. p. 305–320.

SEBEN JUNIOR, Getulio de Freitas; CORÁ, José Eduardo; LAL, Rattan. Physical quality of an Oxisol under no-tillage subjected to different cropping systems. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1568–1574, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900056>.

SILVA, Diego Mathias N.; OLIVEIRA, Fábio Luiz; GRAZZIOTTI, Paulo Henrique; FÁVERO, Claudenir; QUARESMA, Mateus Augusto L. Organic cultivation of okra under ground cover of perennial herbaceous legumes. **Horticultura Brasileira**. v. 31, p.450–456, 2013.

SILVA, Rubens Ribeiro da; SILVA, Marx Leandro Naves; CARDOSO, Evaldo Luiz; MOREIRA, Fátima Maria de Souza; CURI, Nilton; ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n. 5, p.1584-1592. 2010.

SILVA, Matheus Flavio da; FERNANDES, Mariele Monique Honorato; FERNANDES,

Carolina; SILVA, Amanda Manduca Rosa da; FERRAUDO, Antônio Sérgio; COELHO, Anderson Prates. Contribution of tillage systems and crop succession to soil structuring. **Soil and Tillage Research**. v. 209. Epub 104924. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104924>.

SILVA, Paulo S. L.; SILVA, Paulo I. B.; OLIVEIRA, Vianney R.; SILVA, Kadson E. F.; MONTEIRO, Alex L. Doses of carnauba leaf residues and corn yield. **Horticultura Brasileira**, vol. 32, no. 1, p. 74–79, 2014.

SILVA, Marcos Antônio Leite da; SILVA, Paulo Sérgio Lima e; OLIVEIRA, Vianney Reinaldo de; SOUZA, Roberto Pequeno de; SILVA, Paulo Igor Barbosa e. Intercropping maize and cowpea cultivars: I. Green-grain yield 1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, p. e20186551, 2020. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200014>.

SIX, Johan; BOSSUYT, Heleen.; DEGRYZE, Steven; DENEFF, Karolien. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 7–31, 2004.

SOKOLOWSKI, Ana Clara; MCCORMICK, Barbara Prack; DE GRAZIA, Javier; WOLSKI, José E.; RODRÍGUEZ, Hernán A.; RODRÍGUEZ-FRERS, Eric P.; GAGEY, María C.; DEBELIS, Silvina P.; PALADINO, Ileana R.; BARRIOS, Mónica B. Tillage and no-tillage effects on physical and chemical properties of an Argiaquoll soil under long-term crop rotation in Buenos Aires, Argentina. **International Soil and Water Conservation Research**, vol. 8, no. 2, p. 185–194, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.02.002>

SOUZA, Ronessa B. de; ALCÂNTARA, Flávia A. de. **Adubação no sistema orgânico de produção de hortaliças**. Brasília, DF. EMBRAPA, 2008. 8 p. (Circular Técnica 65).

SOUZA, Jacimar Luiz de; GUIMARÃES, Gabriel Pinto. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v.29, p.1796–1805, 2013.

SOUZA, Monique; COMIN, Jucinei José; LEGUIZAMÓN, Eduardo Sixto; KURTZ, Claudinei; BRUNETTO, Gustavo; JÚNIOR, Vilmar Müller; VENTURA, Bárbara; CAMARGO, Ana Paula. Dry matter of cover crops, onion yield and soil chemical attributes in agroecological no-tillage system. **Ciência Rural**, vol. 43, no. 1, p. 21–27, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150>

SOUZA, Monique; MÜLLER JÚNIOR, Vilmar; KURTZ, Claudinei; DOS SANTOS VENTURA, Barbara; LOURENZI, Cledimar Rogério; LAZZARI, Cleiton Junior Ribeiro; FERREIRA, Guilherme Wilbert; BRUNETTO, Gustavo; LOSS, Arcângelo; COMIN, Jucinei José. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under no-tillage system with cover crops. **Soil and Tillage Research**, vol. 208, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104897>

SOUZA, Rodrigo Fernandes de; MADEIRA, Nuno Rodrigo; FIGUEIREDO, Cícero Célio de. Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto. **Revista Científic@**, v.1, n.1, 2014a.

SOUZA, Rodrigo Fernandes de; FIGUEIREDO, Cícero Célio de; MADEIRA, Nuno Rodrigo; ALCÂNTARA, Flávia Aparecida de. Effect of management systems and cover crops on organic matter dynamics of soil under vegetables. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 923–933, 2014b.

SOUZA, Caetano Marciano de.; PIRES, Fábio Ribeiro; PARTELLI, Fábio Luiz; ASSIS, Renato Lara de. **Adução verde e rotação de culturas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 108p. 2012.

SPARLING, Graham P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**. v.30, p.195–207, 1992.

SPERA, Silvio Túlio; FERREIRA, Mozart Martins; CURI, Nilton. Inter-relações entre propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetação de mata e campo adjacentes no Alto Rio Grande (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 178-182, abr./jun. 1996.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p

TAVELLA, Leonardo Barreto; GALVÃO, Robson de Oliveira; FERREIRA, Regina Lúcia Félix; ARAÚJO NETO, Sebastião Elviro de; NEGREIROS, Jacson Rondinelle da Silva. Cultivo orgânico de coentro em plantio direto utilizando cobertura viva e morta adubado com composto. **Revista Ciência Agronômica**. v. 41, n. 4, p. 614–618, 2010.

TEDESCO, Marino José; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sérgio José. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

THOMAZINI, André; MENDONÇA, Eduardo S.; SOUZA, Jacimar Luiz de; CARDOSO, Irene M.; GARBIN, Mário Luís. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. **Scientia Horticulturae**, v. 182, p. 145–155, 2015.

TORRES, José Luiz Rodrigues; PEREIRA, Marcos Gervásio; ANDRIOLI, Itamar; POLIDORO, José Carlos; FABIAN, Adelar José. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609–618, 2005.

TORRES, José Luiz Rodrigues; PEREIRA, Marcos Gervásio; FABIAN, Adelar José. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 421–428. 2008.

TORRES, José Luiz Rodrigues; PEREIRA, Marcos Gervasio; ASSIS, Renato Lara de; SOUZA, Zigomar Menezes de. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 39, n. 2, p. 428–437, 2015.
<https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140597>.

VALARINI, Pedro J.; OLIVEIRA, Fernanda. R. A.; SCHILICKMANN, Sônia de Fátima; POPPI, Ronei J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 485-491, 2011.

VARGAS, Mónica María Machado. **Atributos químicos e biológicos do solo e rendimento da cebola em sistema de plantio direto após cultivo com diferentes plantas de cobertura de inverno**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

VARGAS Luciano Kayser; SELBACH, Pedro Alberto; SÁ, Enilson Luiz Saccol de. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 76-83, jan-fev. 2005.

VARVEL, Gary E.; WILHEM, Wallace W. No-tillage increases soil profile carbon and nitrogen under long-term rainfed cropping system. **Soil and Tillage Research** v.114. p. 28-36. 2011. DOI <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.03.005>

VENZKE FILHO, Solismar de Paiva; FEIGL, Brigitte Josefina; PICCOLO, Marisa de Cássia; SIQUEIRA NETO, Marcos.; CERRI, Carlos Clemente. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.599–610, 2008.

WANG, Koon-Hui; RADOVICH, Theodore; PANT, Archana; CHENG, Zhiqiang. Integration of cover crops and vermicompost tea for soil and plant health management in a short-term vegetable cropping system. **Applied Soil Ecology**, v. 82, p. 26–37, 2014.

WARDLE, David A.; GILLER, Ken E. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. **Soil Biology and Biochemistry**, v.28, n.12, p.1549–1554, 1996.

WARDLE, David A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, Mariangela; ARAUJO, Ricardo Silva; eds. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.419-436.

WOLSCHICK, Neuro Hilton; BARBOSA, Fabrício Tondello; BERTOL, Ildegardis; DOS SANTOS, Kristiana Fiorentin; WERNER, Romeu de Souza; BAGIO, Bárbara. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, vol. 15, no. 2, p. 134–143, 2016. <https://doi.org/10.5965/223811711522016134>.

WOLSCHICK, Neuro Hilton; BARBOSA, Fabrício Tondello; BERTOL, Ildegardis; FIORENTIN, Kristiana; MUZEKA, Luran Monteiro. Plantas de cobertura do solo e seus efeitos nas propriedades físicas e produtividade de soja e milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, vol. 17, no. 3, p. 272–281, 2018.

YANSHENG, Cao; FENGLIANG, Zhao; ZHONGYI, Zhang; TONGBIN, Zhu; HUAYUN, Xiao. Biotic and abiotic nitrogen immobilization in soil incorporated with crop residue. **Soil and Tillage Research**, vol. 202, no. May, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104664>.

YAU, Sui Kwong; SIDAHMED, Moatasim M.; HAIDAR, Mostapha. Conservation versus conventional tillage on performance of three different crops. **Agronomy Journal**, v.102, p.269–276. 2010.

XU, Xia; NIEBER, John L.; GUPTA, Satish C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 56, p. 1743-1750, 1992.

ZANELLA, Marcelo; MÜLLER Jr., Vilmar; KOERICH, Carlos. Cultivo de Brássicas: Couve-flor, Brócolis e Repolho. In: FAYAD, Jamil A.; ARL, Valdemar; COMIN, Jucinei José, MAFRA, Alvaro; MARCHESI, Darlan Rodrigo. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**: Método de transição para um novo modo de produção. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular. 2019.

ZIBILSKE Larry M. Carbon mineralization. In: BOTTOMLEY Peter J.; ANGLE J. Scott, WEAVER Richard W. **Methods of Soil Analysis**: Part 2—Microbiological and Biochemical Properties. Book Series 5.2. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA; 1994. p. 835–63.

ZUAZO, Víctor Hugo Durán; PLEGUEZUELO, Carmen Rócio Rodrigues. Soil erosion and runoff prevention by plant covers. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA. v. 28, n. 1, p.65-86. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio de matéria fresca (MF), matéria seca (MS), nitrogênio total (NTotal) e nitrogênio acumulado (NA) das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		MF	MS	Ntotal	NA
2019					
Tratamentos	4	125,472*	7,0874 ^{n.s.}	0,084843 ^{n.s.}	892,15 ^{n.s.}
Blocos	3	26,211	0,7441	0,059664	1181,62
Resíduo	12	20,709	2,2653	0,073324	681,31
CV(%)		24,68	18,32	24,17	28,61
2020					
Tratamentos	4	62,358 ^{n.s.}	2,2526 ^{n.s.}	0,040895 ^{n.s.}	368,07 ^{n.s.}
Blocos	3	43,609	3,6068	0,024358	721,85
Resíduo	12	45,464	2,8284	0,023017	489,82
CV(%)		24,24	20,41	14,25	25,15

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE B – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da matéria fresca (MF), matéria seca (MS), nitrogênio total (Ntotal) e nitrogênio acumulado (NA) da cobertura de milho + milheto em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		MF	MS	Ntotal	NA
Tratamentos	4	11,460 ^{n.s.}	0,86177 ^{n.s.}	0,0081964 ^{n.s.}	86,269 ^{n.s.}
Blocos	3	40,132	2,60636	0,0295364	214,131
Resíduo	12	14,438	1,19665	0,0232599	70,678
CV(%)		29,84	31,27	19,76	31,20

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE C – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da altura de planta (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTIE), comprimento de espiga empalhada (CEE), comprimento de espiga despalhada (CED), diâmetro da espiga empalhada (DEE), diâmetro da espiga despalhada (DED) e produção total de espigas (ProdT) do milho em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		ALTP	ALTIE	CEE	CED	DEE	DED	ProdT
Trat.	4	0,008773 ^{n.s}	0,0072201 ^{n.s}	4,4652 ^{n.s.}	2,6198 ^{n.s.}	21,275 ^{n.s.}	6,5649 ^{n.s}	0,081907 ^{1n.s.}
Blocos	3	0,013835	0,0096103	3,1684	0,9871	32,725	6,5029	0,100605
Res.	12	0,057981	0,0295557	4,0772	5,8751	7,877	10,4977	0,051614
CV(%)		11,79	16,79	7,67	13,37	5,26	7,73	2,38

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

¹:Valores obtidos por transformação logarítmica.

APÊNDICE D – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do diâmetro do caule (DCAU), diâmetro da cabeça (DCAB), número de folhas (NF), altura de planta (ALTP), matéria fresca de cabeça (MFCAB) e nitrogênio total (Ntotal) de brócolis em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		DCAB	DCAU	ALTP	MFCAB	Ntotal
Tratamentos	5	12,3963*	52,974*	1,6602 ^{n.s.}	240298*	0,18313 ^{n.s.}
Blocos	3	7,0910	9,485	1,6512	100357	0,13390
Resíduo	15	1,8457	3,487	2,3299	29385	0,26031
CV(%)		6,09	4,39	5,92	21,22	14,02

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE E – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do pH em CaCl₂, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		pH	P	K	Ca	Mg	V	MO
Coronel Vivida – 0 a 0,10 m								
Trat.	6	0,0078571 ^{n.s.}	33,093 ^{n.s.}	11825 ^{n.s.}	0,29738 _{n.s.}	0,03988 _{n.s.}	2,1572 ^{n.s.}	0,024470 ¹ _{n.s.}
Blocos	3	0,0028571	39,497	19843	2,13000	1,56429	8,6852	0,092846
Res.	18	0,0045238	51,995	26007	0,29167	0,12734	2,1327	0,029508
CV (%)		1,26	50,44	31,33	5,42	8,57	1,9	4,92
Coronel Vivida – 0,10 a 0,20 m								
Trat.	6	0,0039286 ^{n.s.}	0,19311 ¹ _{n.s.}	14924 ^{n.s.}	0,18821 _{n.s.}	0,00636 _{5¹ n.s.}	1,6582 ^{n.s.}	29,4966*
Blocos	3	0,0079762	0,34937	22372	2,89619	0,13367 ₄	13,9360	29,6345
Res.	18	0,0118651	0,24215	22230	0,25869	0,01012 ₉	2,1244	8,3537
CV (%)		2,05	25,04	30,08	5,29	7,24	1,9	10,71

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

¹: Valores obtidos por transformação logarítmica;

APÊNDICE F – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2020 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		pH	P	K	Ca	Mg	V	MO
AE UTFPR – 0 a 0,10 m								
Trat.	5	0,0038417 n.s.	23,494 ^{n.s.}	11268 ^{n.s.}	0,36142 n.s.	0,29200 ^{n.s.}	20,934 ^{n.s.}	17,013 ^{n.s.}
Blocos	3	0,193750	55,020	28961	1,21708	0,61222	221,387	60,726
Res.	15	0,039750	26,731	6867	0,22208	0,26556	14,945	14,460
CV (%)		3,64	32,33	35,59	8,37	13,05	5,30	6,98
AE UTFPR – 0,10 a 0,20 m								
Trat.	5	0,06700 ^{n.s.}	13,5350*	768,48 ^{n.s.}	0,67542 n.s.	0,53500 ^{n.s.}	83,00 ^{n.s.}	22,161 ^{n.s.}
Blocos	3	0,65111	5,9243	1869,39	2,34375	0,68000	497,23	94,045
Res.	15	0,05411	3,7657	1612,05	0,27408	0,19767	47,66	26,829
CV (%)		4,43	46,51	58,4	12,63	15,33	10,69	11,73

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE G - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios do pH em água, potássio e fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, saturação de bases (V) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		pH	P	K	Ca	Mg	V	MO
AE UTFPR – 0 a 0,10 m								
Trat.	5	0,20267 ^{n.s.}	186,31 ^{n.s.}	2067,9 ^{n.s.}	5,0597*	0,100667 _{n.s.}	5,1278 _{n.s.}	0,064741*
Blocos	3	0,16167	3140,78	2162,7	13,4428	0,129444	17,854 ₈	0,020802
Res.	15	0,31600	320,38	1433,0	1,1208	0,076444	5,7045	0,015728
CV (%)		8,84	41,51	6,76	8,27	7,70	2,67	2,70
AE UTFPR – 0,10 a 0,20 m								
Trat.	5	0,102667 ^{n.s.}	4,1195 ^{n.s.}	2954,1 ^{n.s.}	1,53767*	0,166000 _{n.s.}	25,271 _{n.s.}	0,035417 ^{n.s.}
Blocos	3	0,078333	25,5637	15094,6	1,51722	0,051667	44,136	0,099306
Res.	15	0,078000	2,0145	4003,0	0,47589	0,090667	54,403	0,029639
CV (%)		4,85	22,96	32,72	6,35	9,95	8,91	4,18

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE H - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida e em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB). Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	GL	DS	PT	MIP	MAP
Coronel Vivida – 0 a 0,05 m					
Trat.	6	0,0034195 ^{n.s.}	5,335 ^{n.s.}	6,362 ^{n.s.}	2,8220 ^{n.s.}
Blocos	3	0,0145112	67,144	113,024	30,5087
Resíduo	18	0,0043240	8,084	14,047	7,2721
CV (%)		5,01	5,27	8,75	24,28
Coronel Vivida – 0,05 a 0,10 m					
Trat.	6	0,0077024 ^{n.s.}	14,009 ^{n.s.}	8,820 ^{n.s.}	13,335 ^{n.s.}
Blocos	3	0,0190032	97,371	159,420	35,311
Resíduo	18	0,0051775	10,717	16,458	5,307
CV (%)		5,06	6,54	10,19	22,45

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE I - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MIP) e macroporosidade (MAP), nas camadas 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m do solo após a implantação de um SPDH em Pato Branco no ano de 2021 em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	GL	DS	PT	MIP	MAP
AE UTFPR – 0 a 0,05 m					
Trat.	5	0,0076021 ^{n.s.}	122,20*	128,054*	5,8701 ^{n.s.}
Blocos	3	0,0038507	68,19	15,024	20,0193
Resíduo	15	0,0084965	16,79	6,101	31,0097
CV (%)		9	6,32	5,58	27,14
AE UTFPR – 0,05 a 0,10 m					
Trat.	5	0,0118763*	108,011*	71,548*	2,8004 ^{n.s.}
Blocos	3	0,0060253	62,442	17,480	17,9373
Resíduo	15	0,0020686	5,090	2,259	7,3128
CV (%)		4,15	3,62	3,35	15,43

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.

APÊNDICE J - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios da mineralização acumulada de carbono aos 24 dias de incubação ($C_{min_{0-24d}}$), Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), Quociente metabólico (qCO_2) e Quociente microbiano (Q_{mic}) na camada 0 a 10 cm do solo após a implantação de um SPDH em Coronel Vivida em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV), centeio (CE), ervilhaca peluda (EP), ervilha forrageira (EF), tremoço branco (TB) e em Pato Branco em função das combinações de plantas de cobertura: aveia preta (AV) e e mixes comerciais RX210, RX330, RX520 e RX610. Pato Branco-PR, 2021.

Tratamentos	GL	$C_{min_{0-24d}}$	CBM	QCO_2	Q_{mic}
		mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo	mg C-mic Kg ⁻¹ solo	mg C-CO ₂ g ⁻¹ BMS-C h ⁻¹	%
Coronel Vivida – 0 a 0,10 m					
Trat.	6	34699 ^{n.s.}	935,87 ^{n.s.}	5,3108 ^{n.s.}	0,029493 ^{n.s.}
Blocos	3	167364	2088,41	21,9563	0,199588
Resíduo	18	37661	578,48	3,6453	0,025174
CV (%)		36,79	12,98	37,18	19,36
AE UTFPR – 0 a 0,10 m					
Trat.	5	703021*	263,75 ^{n.s.}	1330,15 ^{n.s.}	0,0034200 ^{n.s.}
Blocos	3	2734745	120,91	1990,70	0,0020414
Resíduo	15	170311	325,86	828,75	0,0042470
CV (%)		21,9	38,99	36,97	38,06

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. C.V.: Coeficiente de variação.