

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
DOUTORADO EM CIÊNCIA DO SOLO

DIEGO FERNANDO ROTERS

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇA
EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO**

LAGES, SC

2020

DIEGO FERNANDO ROTERS

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇA
EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Dr., Álvaro Luiz Mafra
Coorientador: Dr., Jackson Adriano
Albuquerque

LAGES, SC

2020

Roters, Diego Fernando

ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO DE HORTALIÇA EM CAMPO E CASA DE
VEGETAÇÃO / Diego Fernando Roters. -- 2020.

136 p.

Orientador: Álvaro Luiz Mafra Coorientador:

Jackson Adriano Albuquerque

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, Lages, 2020.

1. Plantio direto. 2. manejo do solo. 3. plantas de cobertura. I.
Mafra, Álvaro Luiz . II. Albuquerque, Jackson Adriano. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da Biblioteca Setorial do CAV/UDESC, com os dados fornecidos pelo autor

DIEGO FERNANDO ROTERS

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇA
EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciência do solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

BANCA EXAMINADORA

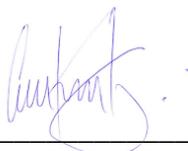
Orientador:



(Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra)

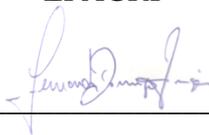
UDESC

Membros:



(Dr. Claudinei Kurtz)

EPAGRI



(Prof. Dr. Fernando Domingo Zinger)

IFSC



Documento assinado digitalmente
Jucinei Jose Comin
Data: 16/12/2020 14:20:59-0300
CPF: 529.595.979-15

(Prof. Dr. Jucinei José Comin)

UFSC



(Prof. Dr. Ildegardis Bertol)

UDESC

LAGES, 30 de março de 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos por
todo apoio!

AGRADECIMENTOS

Existem momentos únicos de superação e de grandeza que somente aos que se submetem a tamanha superação saberão o real significado. Nestes momentos, quando somos testados além do intelectuo, quem consegue chegar até o fim pode se considerar um grande vencedor, mas nenhum desafio como este se faz sozinho, tenho a certeza que é um trabalho individual, porém mais coletivo que conheci, e com a ajuda de muitas pessoas jamais seria realizado.

Todo o início é difícil, até para descrever este momento, mas gostaria de agradecer desde o começo, para quem lá, há muito tempo deu o “start” de tudo, era 1990, talvez fevereiro ou março, não sei ao certo, mas me lembro de duas pessoas em especial me levando para o primeiro dia de aula, com uma pequena lancheira vermelha dos três porquinhos, era meu pai Teodoro Roters, *in memoriam*, e minha mãe Oleida da Graça Roters, para o saudoso Colégio Estadual Aristiliano Ramos, tudo muito estranho naquele momento, mas que se remete à memória, de onde tudo começou; eu só tenho a agradecer a vocês, pai e mãe, eu jamais poderia imaginar que estaria vivendo este momento, de tanto orgulho que vocês me proporcionaram pelo incentivo, e saber que sim, isso é possível!

Também tenho a agradecer aos meus irmãos Sandra e Sandro, que engrandecem ainda mais esta conquista, pois a nossa relação é muito mais que irmãos, a vocês dois meus irmãos, todo o meu respeito por tudo, o meu muito obrigado! E também ao meu sobrinho Victor e minha cunhada Denise, muito obrigado, vocês fazem parte de tudo isso...

Jamais poderia esquecer quem me incentiva até hoje, uma grande parceira, e inspiração para ter tomado este caminho, meu grande Amor Aline Cristina Velho, acredito que você saiba, mas seu incentivo por todo este tempo me deu forças para continuar, te amo!

Um grande incentivador, desde a época de graduação ao grande mestre e amigo professor Álvaro Luiz Mafra, por todo apoio ao longo deste período, eu só tenho a agradecer. Temos também ao pessoal que “pega junto”, seja para os lanches, seja para as coletas de solo, ou seja para jogar conversa fora, aos amigos Maria Izabel, Jadiel Andognini, Gustavo Ferreira, Freedyman Cunha, Roberta Macedo, Maria Tereza, Cleber Rech, Sabrina Brito, ao Juan Martinez, Ana Larissa, Larissa Melo, Gregory Kruker, Giuliana Monn, muito obrigado!

Gostaria de agradecer também ao Sérgio Adonis Cruz e ao Claudinei Kurtz, pelo auxílio realizado desde a escolha da área experimental e às contribuições para a elaboração desta tese.

E um agradecimento muito especial ao produtor Valdemar Lauro da Silva, que é um verdadeiro pesquisador do campo, e que demonstra em suas engenhosas invenções e

adaptações, uma pessoa dedicada ao trabalho e um ótimo ser humano, ao seu Adário pela disponibilização da propriedade para a coleta de solo, o meu muito obrigado!

E o agradecimento final ao apoio e suporte da UDESC que possibilitou trilhar este caminho, além do apoio financeiro concedido pela CAPES, e os recursos concedidos do PROAP/CAPES e do grupo de pesquisa PAP/FAPESC.

RESUMO

A adoção do sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) pode melhorar atributos edáficos, contribuir para qualidade de vida do produtor e proteger o meio ambiente. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de espécies de plantas de cobertura, cultivadas solteiras e consorciadas com cebola (*Allium cepa* L.), comparativamente à mata natural e ao sistema de preparo convencional (SPC), sobre atributos físicos e químicos do solo, avaliando a decomposição de fitomassa. A pesquisa foi conduzida a campo no município de Alfredo Wagner, SC e em casa de vegetação em Lages, SC, em um Cambissolo Háplico. Na primeira etapa, as avaliações em campo, no solo de 0-5 a 5-10 cm, foram: pH em água e SMP, teores de P, K, Ca, Mg, Al, N e carbono orgânico total, suas frações granulométricas, seus respectivos estoques e cálculo do índice de manejo de carbono (IMC). As avaliações físicas do solo foram densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporos, microporos, estabilidade de agregados, resistência à penetração (RP) e infiltração de água. Na segunda etapa, em casa de vegetação foi avaliada a decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa de coberturas de milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC.), capim doce ou papuã (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D. Webster), crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.) em Cambissolo Háplico proveniente da área de cultivo comercial de cebola, utilizando três camadas (0-5, 5-12,5 e 12,5-20 cm); com duas condições de solo, de 10 e 20 anos de SPDH; em cinco épocas de coleta, 15, 30, 60, 90 e 120 dias e três repetições. No experimento 3 em casa de vegetação, foi avaliada a liberação de nutrientes a partir da fitomassa de cobertura, em ensaio com os fatores: com e sem cobertura do solo, com e sem adubação, com e sem restrição hídrica, com avaliações em diferentes épocas de amostragem e camadas do solo. Na primeira etapa, o SPDH apresentou maior capacidade de armazenamento de carbono em relação ao SPC. O SPDH melhorou agregação em relação ao SPC, embora tenha apresentado maior resistência à penetração mecânica. O SPDH demonstrou eficiência na manutenção da fertilidade do solo pela adoção de adubação verde com a prática de rotação de culturas. Na segunda etapa, a utilização de capim doce como cobertura do solo, apresentou maior persistência e liberação mais lenta de nutrientes, conferindo proteção mais prolongada na cobertura do solo. A liberação de nutrientes da fitomassa manteve os teores iniciais de Mg e incrementou os teores de Ca, P e K. Na terceira etapa, o efeito da fitomassa de cobertura com a utilização de aveia manteve os teores de Ca e Mg e ocasionou rápida liberação de K, especialmente nos tratamentos sem restrição hídrica. O aporte de N pela fitomassa pode suprir a demanda de cultivos futuros.

Palavras-chave: Plantio direto. Manejo do solo. Plantas de cobertura.

ABSTRACT

The adoption of the no-till vegetable production system (NTVPS) can improve soil properties, bring quality of life to producer and protect the environment. This work aimed to evaluate the effect of cover plant species, cultivated single and intercropped, with onion (*Allium cepa* L.), compared to natural forest and conventional tillage system (CTS), on physical and chemical soil properties, evaluating the decomposition of phytomass. The research was conducted in field conditions in the municipality of Alfredo Wagner, SC and in greenhouse, in Lages on a Haplic Cambisol. In the first stage, field evaluations using soil 0-5 to 5-10 cm depths were: water and SMP pH, P, K, Ca, Mg, Al, N and organic carbon, its granulometric fractions, their respective stocks, and adjust the carbon management index. Soil physical properties were bulk density, total porosity, macropores, micropores, aggregate stability, penetration resistance and water infiltration. In the second stage, on greenhouse conditions, the phytomass decomposition and nutrient release were evaluated in millet (*Pennisetum glaucum* L.) and mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC.), marmalade grass (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D. Webster), crotalaria (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.) using the Haplic Cambisol from the commercial onion area, using three layers (0-5, 5-12.5 and 12.5 -20 cm) with two soil conditions, 10 and 20 years of NTVPS, during five collection times, 15, 30, 60, 90 and 120 days, with three replications. In experiment 3 on greenhouse conditions, the nutrient release from phytomass, with and without cover plant, with and without water restriction, in different sampling time and soil layers. In the first stage, the NTVPS showed higher carbon stock than the CTS. NTVPS improved aggregation in relation to CTS, although the former presented higher penetration resistance. The NTVPS demonstrated efficiency in maintaining soil fertility by adopting cover plants in the crop rotation. In the second stage, the use of marmalade grass as soil cover, showed greater persistence and slower nutrient release, providing more prolonged protection in the soil surface. The nutrient release from phytomass maintained the initial Mg concentrations and increased Ca, P and K concentrations. In the third stage, the effect of the black oat cover phytomass maintained Ca and Mg concentrations and increased K concentrations, especially in treatments with no water restriction. The input of N by phytomass can supply the demand for future crops.

Keywords: No-till. Soil management. Cover crops.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SC	Santa Catarina
SPC	Sistema de Preparo Convencional
SPD	Sistema de Plantio Direto
SPDH	Sistema de Plantio Direto de Hortaliça

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
C	Carbono
Ca	Cálcio
CAM	Carbono Associado aos Minerais
cm	Centímetros
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
COP	Carbono Orgânico Particulado
COT	Carbono Orgânico Total
CV	Casa de Vegetação
CV%	Coefficiente de Variação
DAP	Dias Após Plantio
DS	Densidade do Solo
eCAM	Estoque de Carbono Associado aos Minerais
eCOP	Estoque de Carbono Orgânico Particulado
eCOT	Estoque de Carbono Orgânico Total
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
G	Gleba
g	Gramma
h	Hora
ha	Hectare
IEC	Índice de Estoque de Carbono
IL	Índice de Labilidade
IMC	Índice de Manejo de Carbono
K	Potássio
kc	Coefficiente de Cultura
kg	Quilograma
kPa	Quilo Pascal
L	Labilidade
m	Metro
Mg	Magnésio
Mg	Megagrama
ml	Mililitros

mm	Milímetros
MN	Mata Nativa
MO	Matéria Orgânica
MPa	Mega Pascal
MS	Massa Seca
MU	Massa Úmida
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de Sódio
P	Fósforo
Pa	Pascal
PCA	Análise de Componentes Principais
PT	Porosidade Total
RP	Resistência à Penetração
s	Segundo
t	Tonelada
t½	Tempo de Meia Vida
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
V	Volume
µm	Micra
°C	Graus Centígrados

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa do estado de Santa Catarina com destaque no município de Alfredo Wagner- SC (a), Localização da área experimental (b).	44
Figura 2: a) Área de SPDH, b) Área de SPC no município de Alfredo Wagner- SC.	45
Figura 3: Esquema de coleta de campo, em lavoura comercial de cebola.	46
Figura 4: Tamanho das áreas de pesquisa no município de Alfredo Wagner – SC.	47
Figura 5: Conjunto de peneiras (4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; e 0,25 mm).	49
Figura 6: Infiltração de água no solo em SPDH, MN e SPC em Cambissolo Háplico.	55
Figura 7: Selamento superficial em plantio comercial de cebola sob SPC sob Cambissolo Háplico no município de Alfredo Wagner, SC.	56
Figura 8: Teste de infiltração com anel concêntrico em cultivo comercial de cebola sob SPDH em Cambissolo Háplico no município de Alfredo Wagner, SC.	57
Figura 9: Valores de fósforo e potássio em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC.	62
Figura 10: Valores de pH em água, pH SMP e alumínio em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC.	64
Figura 11: Valores de nitrogênio total em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC.	65
Figura 12: Valores de cálcio e magnésio em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC.	67
Figura 13: Análise de Componentes Principais (PCA) com as variáveis explicativas entre SPDH e SPC de cultivo de Cebola e MN no município de Alfredo Wagner – SC.	68
Figura 14: Coleta de solo com anéis concêntricos na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo comercial de cebola consolidado há 20 anos no município de Alfredo Wagner, SC.	82
Figura 15: Coleta de solo de estrutura não preservada na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo comercial de cebola consolidado há 20 anos no município de Alfredo Wagner, SC.	82
Figura 16: Montagem dos vasos com a espécie teste cebola, cultivar Bola Precoce com Cambissolo Háplico em SPDH com 10 e 20 anos de cultivo.	83
Figura 17: a) Cambissolo Háplico incubado; b) Fitomassa de cobertura em cultivo de cebola sob Cambissolo Háplico.	84

Figura 18: Quantidade de massa seca (MS) de palhada utilizada como cobertura do solo, conforme o decorrer do tempo.....	86
Figura 19: Teor de carbono na palhada em SPDH10 e SPDH20 em Cambissolo Háplico incubado.....	87
Figura 20: Teor de nitrogênio na palhada em SPDH10 e SPDH20 em Cambissolo Háplico incubado.....	88
Figura 21: Teor de cálcio na palhada em SPDH10 e SPDH20 em Cambissolo Háplico incubado.	89
Figura 22: Teor de magnésio na palhada em SPDH10 e SPDH20 em Cambissolo Háplico incubado.....	90
Figura 23: Teor de potássio na palhada em SPDH10 e SPDH20 em Cambissolo Háplico incubado.....	92
Figura 24: Teor de fósforo na palhada em SPDH10 e SPDH20 em Cambissolo Háplico incubado.....	94
Figura 25: Coleta de solo com anéis concêntricos na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo de comercial de cebola consolidado há 20 anos no município de Alfredo Wagner, SC.....	112
Figura 26: Coleta de solo de estrutura não preservada na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo de comercial de cebola consolidado há 20 anos no município de Alfredo Wagner, SC.	113
Figura 27: Processo de incubação de Cambissolo Háplico com 20 anos de SPDH, em cultivo de cebola.	114
Figura 28: Temperatura média do ar durante o experimento.	115
Figura 29: Coleta de solo e fitomassa de cobertura, após incubação.....	116
Figura 30: Relação C/N de fitomassa de aveia em cobertura.....	118
Figura 31: Teor remanescente de fitomassa de aveia em cobertura.	119
Figura 32: Teores de cálcio na cobertura do solo com aveia em Cambissolo Háplico incubado.	120
Figura 33: Teores de magnésio na cobertura do solo com aveia em Cambissolo Háplico incubado.....	122
Figura 34: Teores de potássio em cobertura do solo com aveia em Cambissolo Háplico incubado.....	123
Figura 35: Teores de fósforo na cobertura do solo com aveia em Cambissolo Háplico incubado.	125

Figura 36: Teores de nitrogênio na cobertura do solo com aveia em Cambissolo Háplico incubado.....	126
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de granulometria de Cambissolo Háplico em sistemas de produção comercial de cebola e mata nativa.....	51
Tabela 2: Porcentagem dos agregados de um Cambissolo Háplico em área natural e diferentes manejos do solo no município de Alfredo Wagner - SC nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm.	52
Tabela 3: Atributos físicos de um Cambissolo Háplico em área natural e diferentes manejos do solo no município de Alfredo Wagner - SC nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm.	54
Tabela 4: Teores e estoques de carbono orgânico e suas frações granulométricas em área natural e diferentes manejos do solo no município de Alfredo Wagner - SC nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm.	58
Tabela 5: Contribuição das variáveis PCA no primeiro e segundo componente.	68
Tabela 6: Nível inicial de nutrientes do solo em SPDH sob Cambissolo Háplico.....	81
Tabela 7: Teor cálcio no solo em diferentes coberturas sob cultivo em Cambissolo Háplico.	96
Tabela 8: Teor magnésio no solo em diferentes coberturas sob cultivo em Cambissolo Háplico.	97
Tabela 9: Teor potássio no solo em diferentes coberturas sob cultivo em Cambissolo Háplico.	99
Tabela 10: Teor fósforo no solo em diferentes coberturas sob cultivo em Cambissolo Háplico.	100
Tabela 11: Teor nitrogênio total no solo em diferentes coberturas sob cultivo em Cambissolo Háplico.....	102
Tabela 12: Nível inicial de nutrientes do solo em SPDH sob Cambissolo Háplico com 20 anos de SPDH.	116
Tabela 13: Teores de cálcio e magnésio no solo incubado em cobertura de aveia e restrição hídrica em um Cambissolo Háplico.....	127

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	20
1.1	OBJETIVOS	23
1.1.1	Objetivo geral.....	23
1.1.2	Objetivos específicos	23
1.2	HIPÓTESES.....	24
1.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
1.3.1	A cultura da cebola	24
1.3.2	Modelo de produção	25
1.3.3	Aspectos físicos do solo	26
1.3.4	Aspectos químicos do solo	28
	REFERÊNCIAS	32
2	CAPÍTULO 1: QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA	38
	RESUMO	38
	CHAPTER 1: SOIL CHEMICAL AND PHYSICAL QUALITY UNDER NO-TILL AND CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEM FOR ONION PRODUCTION	40
	ABSTRACT	40
2.1	INTRODUÇÃO	42
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	43
2.2.1	Seleção do local	43
2.2.2	Histórico da área	44
2.2.3	Preparo das amostras	47
2.2.4	Análises físicas do solo	47
2.2.5	Análises Químicas	49
2.2.6	Infiltração de água no solo	50
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
2.4	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS.....	70

3	CAPÍTULO 2: DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTE EM PLANTAS DE COBERTURA EM CAMBISSOLO HÁPLICO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE CEBOLA (SPDH)	77
	RESUMO	77
	CHAPTER 2: DECOMPOSITION AND NUTRIENT RELEASE FROM COVER CROPS ON A HAPLIC CAMBISSOL IN NO-TILL ONION SYSTEM.....	78
	ABSTRACT	78
3.1	INTRODUÇÃO	79
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	81
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.4	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS	104
4	CAPÍTULO 3: PALHA DE AVEIA PRETA NA COBERTURA DE SOLO EM CULTIVO DE CEBOLA SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA	109
	RESUMO	109
	CHAPTER 3: BLACK OAT STRAW AS SOIL COVER IN ONION CULTIVATION UNDER WATER RESTRICTION.....	110
	ABSTRACT	110
4.1	INTRODUÇÃO	111
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	112
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	117
4.4	CONCLUSÃO	131
	REFERÊNCIAS	132
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	136

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cebola (*Allium cepa*, L.) é uma espécie anual cultivada e apreciada em todo o mundo, sua domesticação remonta há mais 5 mil anos de ocorrência, principalmente nas regiões montanhosas do continente asiático (Brewster, 2008) com uma produção anual mundial de 93 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2018).

A cebola possui grande importância comercial a nível nacional, constituindo-se como a principal fonte de renda de aproximadamente 60,5 mil famílias em todo o território, com produção anual de aproximadamente 1,5 milhão de toneladas por ano (FAOSTAT, 2018; NEC, 2020).

O estado de Santa Catarina (SC) o maior produtor nacional desta espécie, com aproximadamente 32% apresenta grande importância econômica, concentrando parte da produção na região do Alto Vale do Rio Itajaí, principalmente nas cidades de Ituporanga e Alfredo Wagner (KURTZ *et al.*, 2013).

Mas o cultivo de aliáceas e principalmente a cebola, possui um histórico baseado no sistema de preparo convencional (SPC) caracterizado pelo excessivo revolvimento do solo (Loss *et al.*, 2015), em conjunto com a baixa cobertura oferecida pela parte aérea, aliado ao relevo acidentado predominante em SC, e a não adoção de práticas conservacionistas, ocasionam graves prejuízos ao solo como degradação física, química e biológica em função da erosão hídrica.

Como alternativa de manejo sustentável do solo e água, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) traz em sua base, um sistema de transição da agricultura convencional para a agricultura agroecológica, possui em seu pilar de sustentação a ótica social, atuando diretamente para a melhoria de qualidade de vida do trabalhador rural.

Dentro do histórico de pesquisas realizadas com SPDH, podemos citar que é um sistema consolidado devido aos resultados alcançados e a grande adesão e aceitação de agricultores pela mudança metodológica, viabilizando a manutenção dos mesmos em suas propriedades, sendo economicamente viável, provendo resultados positivos a sociedade e interferindo diretamente na saúde do solo.

O SPDH traz como base a utilização de plantas de cobertura aliada a rotação de culturas, o que pode incrementar a produtividade de cultivos de cebola e outras espécies. Porém, a necessidade de conservação do solo nos remete há séculos, ocorrendo inicialmente no antigo Egito, e por conhecimentos adquiridos, já se conhecia os benefícios da rotação de culturas, como a produção de trevo alternadamente a cada ano em rotação de cevada e/ou trigo,

utilizando-os como fonte de adubo além do fornecimento alimentar para produção animal (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Porém, técnicas de cobertura do solo possuem um histórico de pesquisa há mais de um século no Brasil, segundo Dutra (1919) recomendou a utilização de adubação verde como um condicionador do solo, relatando melhorias significativas através do uso desta técnica. Já o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em trabalhos entre 1934 a 1940, desenvolvidos por Neme, também relatam os benefícios da adubação verde.

Portanto, o uso de plantas de cobertura é bem conhecido e difundido, mas seu uso em maior escala deu-se com o advento do uso em sistema de plantio direto (SPD) de grãos, ganhando forma na década de 1970 e assim popularizou-se no Brasil como sistema de manejo conservacionista do solo.

Mais recentemente, a cobertura do solo em produção de hortaliças foi destacada na década de 1990 no município de Caçador, SC, com produtores de tomate nos quais haviam sérios problemas produtivos, em momento de crise perceberam que o tomate tinha um valor menor que a própria caixa para o transporte, e assim nasceu um movimento de massa articulado pela pesquisa e extensão, o SPDH. O SPDH ao longo do tempo evoluiu para um sistema produtivo de várias espécies, que traz rentabilidade e fixa o agricultor no campo e traduz uma parte de um sistema interligado, onde o conjunto de técnicas é o principal método de sucesso.

O SPDH é fundamentalmente realizado em eixos, o político pedagógico que trabalha a decisão consciente, na organização e valorização da qualidade de vida dos agricultores, e o técnico científico que é a base para a promoção para a saúde das plantas, onde a planta se torna mais resistente, e a partir disto exigirá menos insumos para se desenvolver de forma mais adequada, e com redução do uso de adubos e defensivos agrícolas.

Estas técnicas podem melhorar a qualidade e uniformidade das plantas, permitindo reduzir em 35% as perdas na colheita, com nutrição adequada, rotação de culturas, adubos verdes, cobertura permanente do solo, com produção mínima de 10 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ (Masson; Arl; Wuerges, 2019), onde o trabalho em conjunto entre o agricultor, extensionista e o pesquisador é fundamental para o desenvolvimento deste processo.

Além disso, as taxas de infiltração de água no solo em SPDH chegam a ser três vezes maiores que no SPC, reduzindo cerca de 80% o uso da água, reduzindo em torno de 50% o uso de insumos, o que faz esse sistema importante na conservação do solo e da água (FAYAD *et al.*, 2018).

Trabalhos desenvolvidos com SPDH na Estação Experimental de Ituporanga, SC, os autores Camargo (2011) e Muetanene (2016), relatam que o cultivo de cebola em SPDH

demonstrou maior capacidade de acúmulo de carbono (C) e nitrogênio (N) em relação ao SPC, além disso, o SPDH apresentou maior quantidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo, sendo estes resultados influenciados pela fitomassa de cobertura, corroborado por Da Silva *et al.* (2014), relatando que sistemas de cobertura apresentam maior teor de nutrientes.

Camargo (2011) relata que entre as propriedades físicas, o solo em SPDH apresentou maior estabilidade de agregados, infiltração de água e porosidade. Na mesma linha de trabalho, Muetanene (2015) relata que as propriedades físicas em produção de cebola em sistema de sucessão de culturas, demonstrou início da degradação destas propriedades, devido o sistema apresentar menor cobertura.

Consolidando estes resultados, para o SPDH ser bem-sucedido é indispensável a utilização de plantas de cobertura, para proteção da superfície do solo do impacto das gotas de chuva, e dos extremos de temperatura e umidade, além de melhoria da estrutura, fornecendo carbono e ciclando nutrientes, contribuindo para melhoria da atividade biológica por explorar diversas camadas (ROBACER *et al.*, 2016).

Em SPDH, a disponibilidade de nutrientes irá depender da composição dos resíduos vegetais utilizados no sistema, sendo dependente da relação C/N e outros fatores como a celulose, hemicelulose, e lignina no tecido vegetal, além do pH, nutrientes, temperatura e umidade (LOPES *et al.*, 2004).

O SPDH pode contribuir para o manejo sustentável do solo e da água, para otimizar a expressão do potencial genético das plantas cultivadas e sendo fundamentado em três pilares: revolvimento mínimo, restrito a cova ou sulco de plantio; a diversificação de espécies pela rotação, sucessão e consorciação de culturas; e a manutenção de resíduos vegetais de plantas de cobertura durante todo o ciclo de cultivo (LIMA; MADEIRA, 2013).

Esta pesquisa foi realizada em três etapas: a primeira foi desenvolvida em dois produtores comerciais de cebola, em áreas com condições contrastadas de uso do solo. A segunda e terceira etapas foram realizadas em casa de vegetação, avaliando a decomposição de plantas de cobertura e a liberação de nutrientes no mesmo solo cultivado na primeira etapa. A decisão para a realização de uma terceira etapa, ocorreu após o produtor utilizar em 2018 a aveia preta como espécie de cobertura, que complementava o planejamento de rotação de culturas. Nesta etapa, novamente foi utilizado o solo da área comercial de SPDH em conjunto com a coleta da fitomassa da parte aérea da espécie de cobertura.

A diferença para do segundo para o terceiro experimento, além da cobertura de solo, foi a utilização da restrição hídrica e a adubação de cobertura na implantação, como forma de testar outros fatores de variação.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de sistemas de manejo com e sem rotação de culturas em campo, sobre atributos químicos, físicos, liberação de nutrientes, e a matéria seca remanescente de plantas de cobertura em ambiente controlado com e sem restrição hídrica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de plantas de cobertura em SPDH comparativamente ao sistema de preparo convencional (SPC) e à mata natural (MN), sobre atributos físicos e químicos do solo a campo, avaliar a liberação de nutrientes da fitomassa utilizada como cobertura e a quantidade de matéria seca remanescente em ambiente controlado com e sem utilização de restrição hídrica em solo incubado.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar as características químicas do solo (cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio total, carbono total, particulado e associado aos minerais, o índice de manejo do carbono e índice de estoque de carbono) em áreas de SPDH, SPC em cultivo comercial de cebola em comparação com MN não antropizada;

Avaliar as características físicas do solo em SPDH, SPC e MN (porosidade, densidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração mecânica e infiltração de água);

Determinar a liberação de nutrientes da fitomassa utilizada na cobertura do solo em ambiente protegido (crotalaria, capim doce, aveia e o consórcio entre milho e mucuna) nos seguintes elementos: cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio total, carbono total, e matéria seca total em diferentes épocas no decorrer do desenvolvimento da cebola;

Analisar a liberação de nutrientes da cobertura do solo utilizada em ambiente controlado em três profundidades (0-5, 5-12,5 e 12,5-20 cm) com os seguintes elementos: cálcio, magnésio, fósforo, potássio e nitrogênio total.

1.2 HIPÓTESES

A mudança no sistema de produção de SPC para SPDH com 10 anos incrementa as características físicas e química do solo e este manejo conservacionista apresenta estes atributos semelhantes à MN, demonstrando os possíveis benefícios para o solo interferindo na produtividade da cultura em estudo.

A utilização de cobertura de diferentes espécies como gramíneas e leguminosas melhora a qualidade do solo, beneficia atributos químicos, promove incremento de nutrientes nas três profundidades estudadas, conforme o período de desenvolvimento da cebola, em solos com SPDH aos 10 e 20 anos.

A utilização de fitomassa de aveia sobre o solo promove maior tempo de cobertura do solo e incrementa os nutrientes nas três profundidades estudadas, em comparação a utilização de adubação mineral em cobertura, mas a adição de nutrientes pode ser restringida pela presença de restrição hídrica nos tratamentos.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.3.1 A cultura da cebola

A cebola (*Allium cepa* L.) produto hortícola pertencente à família das Aliáceas, cuja sua parte comestível é o bulbo, é uma espécie amplamente cultivada em todo o mundo, devido a quantidades razoáveis de vitaminas C, do complexo B e sais minerais como o fósforo, ferro e cálcio (KASSAB, 2020).

É considerada uma das mais antigas hortaliças cultivadas, sendo apreciada há mais de 5.000 anos (Brewster, 2008), sendo posteriormente trazida ao Brasil pelos colonizadores portugueses no Rio Grande do Sul no século 18, e chegando a SC na década de 1930 (FAYAD *et al.*, 2018).

Entre os maiores produtores mundiais de cebola, estão a China, Índia, Rússia, Turquia, Japão, Paquistão e o Brasil (Faostat, 2018), e ganha destaque por ser um condimento muito utilizado em saladas e temperos, e também consumidas *in natura* por descendentes de alemães (REINHARDT, 2007).

O Brasil se destaca na produção de cebola além da quantidade também pela qualidade, atingindo patamares aproximado de 1.500.000 toneladas (NEC, 2020), sendo a terceira hortaliça mais produzida no país (BELEM *et al.*, 2020).

Esta espécie possui grande importância nacional, sua abrangência de cultivo, conta com aproximadamente 60.500 famílias em todo o país, e tem como grande produtor o estado de SC com rendimento médio de 28,2 t ha⁻¹ em uma área aproximada de 55,9 mil (IBGE, 2017) e SC na última década foi responsável por mais de 30% da produção brasileira (KURTZ *et al.*, 2019).

Em SC a produção de cebola mostra o predomínio da agricultura familiar, destacando-se a região Alto Vale do Rio Itajaí como a principal produtora em SC. Nesta região, o tamanho médio das propriedades não ultrapassa 24 ha, e a área destinada a cebola muitas vezes não ultrapassa 2 ha por produtor (INCRA, 2016).

O destaque da cebolicultura em SC se dá pelo quantitativo produzido de 500 mil toneladas ao ano, envolvendo diretamente mais de 8 mil famílias (NEC, 2020).

1.3.2 Modelo de produção

Dentro dos avanços na agricultura no Brasil ocorridos a partir da década de 1970, o sistema de plantio direto (SPD) é um dos principais destaques tecnológicos, mas ainda muito dependente da utilização de insumos industrializados, e foi assim denominado de plantio direto convencional (MASSON; ARL; WUERGES, 2019).

Com os avanços ocorridos na utilização de SPD, o modelo de produção atual de hortaliças, mais precisamente na cebola, ainda é o sistema de preparo convencional (SPC) com o revolvimento intenso do solo, adubação intensa, muitas vezes com desequilíbrio no fornecimento de nutrientes, criando plantas doentes (Fayad *et al.*, 2018) além da grande utilização de implementos que alteram drasticamente as características físicas do solo, como a enxada rotativa.

Com necessidade de continuar produzindo e com base na agricultura conservacionista, diminuindo as perdas de solo, água e erosão, menor uso de defensivos agrícolas e adubos solúveis, trazendo consigo o apelo ao bem-estar do produtor rural, surge o então sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) (Arl; Christoffoli; Fayad, 2019), focando nas técnicas conservacionistas produtivas, trazendo rentabilidade e a preservação social com a manutenção do produtor no campo.

Apesar de apresentar técnicas já conhecidas e difundidas no SPD, o SPDH é uma proposta desenvolvida para a transição da agricultura familiar, e tem como fundamental princípio a saúde de plantas já no processo de transição (NICHOLLS *et al.*, 2019).

A utilização do revolvimento localizado do solo, com a utilização de práticas conservacionistas como rotação de culturas e cobertura permanente do solo destacam-se no eixo

técnico-científico, desenvolvido com o trabalho conjunto de agricultores e técnicos de universidades e empresas público privadas.

A cebola apresenta as peculiaridades de um número reduzido de folhas e porte baixo, oferecendo pequena cobertura de solo, e por este motivo se faz necessário o uso de espécies que introduzam a fitomassa de cobertura, com cultivo de espécies solteiras ou consorciadas na entressafra e em sistema de rotação de culturas (CAMARGO, 2011).

Sistemas conservacionistas de manejo na produção de hortaliças, como o SPDH, se baseiam em uma proposta de sustentabilidade, que leva em consideração três pilares: o revolvimento mínimo do solo, restrito a cova ou sulco de plantio; a diversificação de espécies pela rotação, sucessão e consorciação de culturas; e a manutenção de resíduos vegetais de plantas de cobertura durante todo o ciclo de cultivo (DE FREITAS; LANDERS, 2014).

A alta produção de fitomassa é fundamental para o sucesso do SPDH, sendo necessário aporte anual de resíduos superior a 10 t^{-1} de MS (Masson; Arl; Wuerges, 2019), garantindo a cobertura permanente do solo e viabilizando o aumento da produção de bulbos no decorrer do tempo (CAMARGO, 2011).

A utilização de plantas de cobertura é condição base para a conservação do solo, e tem por objetivo construir um ambiente protegido do impacto das gotas de chuva, diminuindo consideravelmente a erosão, redução na oscilação de temperatura, manutenção da umidade, diminuindo a necessidade de irrigação, além de evitar o estresse nutricional, por meio da ciclagem de nutrientes.

Calegari (2008) relata que o uso intensivo e inadequado das áreas cultivadas prejudica a produtividade e acelera o processo de degradação do solo, e como alternativa, relata que o uso de plantas de cobertura traz diversos benefícios ao solo e à produtividade de plantas alvo. Já Mafra *et al.* (2019), citam que o consórcio de plantas utilizando gramíneas e leguminosas, ou ainda uma composição de três espécies no período de inverno como: aveia preta + ervilhaca + nabo forrageiro, ou no período de verão, como girassol + milho + mucuna devem fazer parte do planejamento do agricultor, funcionando como componente do manejo conservacionista em sintonia com as diretrizes do SPDH.

1.3.3 Aspectos físicos do solo

A estrutura do solo é sensível ao manejo adotado, e são indicadas práticas que promovam o acúmulo de carbono e a agregação (Loss *et al.*, 2015), por meio de sistemas radiculares desenvolvidos (SILVA, 2015).

A adoção de manejo com SPC diminui a qualidade e reduz a estabilidade de agregados, deteriorando a estrutura do solo (Wendling *et al.*, 2005), que são sensíveis ao manejo empregado, sendo o acúmulo de carbono importante pela ação agregante, e oxidado pelo uso do manejo convencional (SILVA, 2015).

Em cultivos em SPDH, com menor intensidade de preparo e manutenção de cobertura vegetal, ocorre a prevenção do selamento superficial pelo uso de cobertura permanente (Duley; Kelly, 1939), melhorando sensivelmente a estabilidade de agregados, a formação e manutenção de bioporos (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Propriedades físicas do solo como infiltração de água, porosidade total e formação dos agregados de tamanhos diferentes (Loss *et al.*, 2019) são influenciadas pelo uso de plantas de cobertura, as quais promovem a proteção física, previnem a erosão, e servem como dissipador da energia cinética da chuva (LOSS *et al.*, 2015; LOSS *et al.*, 2017).

Porém a ausência de preparo pode ocasionar o adensamento superficial (Bertol *et al.*, 2004) ocorrendo maior densidade nas camadas superficiais e diminuindo a porosidade total (Albuquerque; Sangoi; Ender, 2001) especialmente se o planejamento de uso de plantas de cobertura não for adequado, interferindo sensivelmente na infiltração de água e diminuindo a rugosidade se comparado ao SPC.

Luciano *et al.* (2010) relatam que em sistemas que utilizam o cultivo de cebola, em área de transição de SPC para SPDH, a infiltração de água foi o atributo físico mais sensível a mudança de manejo, além de modificar a porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e taxa inicial de infiltração de água.

Portanto, considerando que a infiltração de água é o principal atributo para verificar o comportamento das características físicas, avaliando o sistema de manejo utilizado (Baver; Walter; Wilford, 1972) relatam que a carga hidráulica exercida ao realizar o teste em áreas com selamento superficial não é rompida devido ao entupimento de poros, ocorrendo desta maneira, uma estabilização ou até a interrupção da infiltração.

O uso de plantas de cobertura pode trazer benefícios em propriedades físicas, influenciadas por diversos aspectos relacionados à dinâmica do sistema solo-planta, tais como a circulação de água, ar e nutrientes (STEFANOSKI *et al.*, 2013)

Além de reduzir a variação de temperatura (Furlani, 2008) a cobertura diminui a incidência de espécies invasoras (Kurtz *et al.*, 2013) com benefícios diretos e indiretos ao produtor. Espécies cultivadas solteiras como o nabo forrageiro, e consorciado com centeio e aveia, exercem papel fundamental na agregação, na porosidade total, além de melhorar a umidade volumétrica, aproximando-se dos valores de MN (LOSS *et al.*, 2017).

Ao avaliarem os impactos de plantas de cobertura, Loss *et al.* (2015) relatam que em SPDH ocorre elevação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados em comparação ao SPC, com utilização de centeio, aveia preta e nabo forrageiro (Loss *et al.*, 2019). Já em cultivo com braquiária em área de SPDH em produção de milho, foi observada menor densidade na camada superficial (0-10 cm) favorecendo na formação de microagregados pela presença de grande quantidade raízes (LOSS *et al.*, 2019).

1.3.4 Aspectos químicos do solo

O uso de plantas de cobertura como adubos verdes pode melhorar características químicas do solo, o que depende da velocidade de decomposição da fitomassa que é variável conforme a espécie utilizada (SANTOS; MEURER, 2018).

Em SPC o solo é revolvido mecanicamente e homogeneizado a cada cultivo na camada arável (0-20 cm) (Kurtz *et al.*, 2019) diferentemente do que ocorre com o SPDH, com preparo localizado na linha de plantio, preconizando a adição de resíduos para cobertura, sendo necessário o planejamento do tipo de resíduo a ser adicionado, dependendo do objetivo a ser alcançado ou conforme as necessidades de manejo.

Dentre os fatores que afetam os efeitos da fitomassa no solo, a atividade biológica interfere na decomposição dos resíduos vegetais, e a presença das raízes atuam como fonte de compostos orgânicos, como os exsudatos, e representam cerca de 10 a 25% do carbono total fixado pelas plantas. Estes resíduos vegetais são fragmentados pela fauna presente no solo, misturando-os com componentes minerais (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

A qualidade de fitomassa controla a disponibilidade de carbono e nutrientes para os microrganismos, sendo influenciado também pela presença de inibidores da atividade enzimática como terpenos, alcaloides, taninos, polifenóis e xenobióticos, como os defensivos agrícolas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os componentes presentes na fitomassa são influenciados pela velocidade de decomposição (relação C/N) e a liberação de nutrientes de resíduos vegetais utilizados como cobertura, e possui papel importante no manejo da fertilidade de solos não revolvidos, sendo uma estratégia viável para o cultivo de cebola na região do Alto Vale do Itajaí, SC, e objetiva gerar quantidades de matéria seca (MS) suficientes para manter a cobertura permanente.

A incorporação de adubos verdes no sistema produtivo pode ser usada como estratégia da agricultura sustentável, e em cultivos orgânicos, principalmente quando uma fonte de nutrientes é escassa (Arrobas; Aguiar; Rodrigues, 2016) ou dependente de fontes externas.

Para um bom desempenho e produtividade da cebola, o suprimento de nutrientes é fator chave para desenvolver o potencial genético (Backes *et al.*, 2018). O fornecimento nutricional por meio de adubos solúveis, leva a um incremento na produtividade (Lourenzi *et al.*, 2018), o que também pode ocorrer com outras fontes, principalmente os resíduos orgânicos.

Destaca-se que para alcançar o potencial produtivo da cebola a partir da adubação equilibrada, é necessário conhecer a taxa de acúmulo diário de nutrientes pela cultura, e cada nutriente apresenta variações ao longo do tempo, o que influencia sua demanda ao longo do crescimento e desenvolvimento (MORAES *et al.*, 2017).

A variação da dinâmica nutricional em SPDH, difere entre regiões, clima, solo e espécies de plantas de cobertura, oscilando conforme a cultura e o seu estágio de desenvolvimento, e é dividido em fase vegetativa (13% do total) e bulbificação (87% do total) (FAYAD *et al.*, 2018).

Como exemplo de plantas de cobertura e fonte de nutrientes para o cultivo da cebola, o milho e mucuna cultivados solteiros, promovem maiores incrementos no diâmetro do pseudocaule, influenciando diretamente na produtividade, além de proporcionar incremento em altura de plantas (Santos *et al.*, 2019) e o potencial de suprimento de N através da mineralização para o cultivo subsequente é alto, principalmente no subsolo, pelo papel desempenhado pelas raízes (CARRANCA; TORRES; MADEIRA, 2015).

O potássio (K) foi relatado como o nutriente requerido em maior quantidade pelo cultivar de cebola Bola Precoce, a mais utilizada em SC (Kurtz *et al.*, 2016) seguido pelo nitrogênio (N) e depois o cálcio (Ca) (Pôrto *et al.*, 2007). O fósforo (P) é o quarto nutriente exigido em maior quantidade (Kurtz *et al.*, 2016), sendo uma parte dos nutrientes requeridos e fornecidos pela decomposição da fitomassa de cobertura do solo em SPDH.

Pantoja *et al.* (2016) em trabalho realizado com ciclagem de nutrientes, relatam que o teor remanescente de N em sistema de sucessão de culturas com a utilização de centeio, soja e milho, apresentou 87 e 75% do teor de N no solo, apresentando alta reposição deste nutriente. Já Perdigão *et al.* (2017) relatam em trabalho realizado com a mineralização de C (carbono) e N utilizando centeio, trevo e tremoço em sistema de cobertura, o tremoço foi a melhor cobertura para o fornecimento de N.

As respostas ao uso de plantas de cobertura são variáveis, onde gramíneas possuem menor CTC das raízes e ocorre maior aproveitamento de N quando há o aprofundamento do sistema radicular (Tiecher *et al.*, 2018), interferindo diretamente nos resultados encontrados de N.

A aplicação de plantas de cobertura em superfície incrementa os níveis de K até 15 centímetros de profundidade segundo Brito *et al.* (2014) sendo explicado pelo seu baixo raio iônico hidratado, com adsorção aos colóides com carga negativa, sendo assim um elemento móvel (BENITES *et al.*, 2010).

Na mesma linha, o Ca e magnésio (Mg), são macronutrientes essenciais e possuem raio iônico hidratado alto, portanto possuem baixa adsorção, mas são menos móveis que o K, por serem divalentes (BENITES *et al.*, 2010).

A inclusão de leguminosas para cobertura do solo promove acúmulo de C e N (Souza *et al.*, 2013) porém, a sequência temporal das culturas é fator determinante para o estoque de C e N total do solo. Além disso, a disponibilidade de N é influenciada pela lixiviação devido às altas precipitações, principalmente em solos com textura mais arenosa (KURTZ *et al.*, 2013).

Kurtz *et al.* (2016) ao avaliarem o acúmulo de P na cebola observaram que este elemento teve maior acúmulo no bulbo, com cerca de 69% do total, sendo o pico de acúmulo de 83% no período de bulbificação. A resposta da cebola à adição de P é alta quando os teores são baixos, sendo um elemento limitador de produtividade em função de ser absorvido pelos colóides minerais do solo (ERNANI, 2016).

Outro fator importante é a concentração de matéria orgânica (MO) em lavouras de cebola, que normalmente apresentam entre 1 e 5% na camada superficial, sendo dependente da vegetação, tipo de solo, clima e sistema de manejo (Schnitzer, 1991), e a quantidade sendo determinada pelo equilíbrio entre as taxas de adição e perdas de C (Brady; Weil, 2013) onde a MO é a soma de todas as substâncias do solo que contém C, incluindo os resíduos vegetais, a fitomassa microbiana, os compostos orgânicos solúveis em água, e a MO estabilizada (húmus) (SCHNITZER, 1991).

A localização de MO também afeta a decomposição microbiana, e seu estudo pode ajudar a compreender a dinâmica e as influências sobre a disponibilidade de nutrientes, sendo condicionadas pelas práticas e mudanças no ambiente do solo (STEVENSON, 1994).

O C no solo é associado ao balanço de adição de resíduos vegetais, taxa de humificação e decomposição (Zanatta *et al.*, 2007). Em sistemas que utilizam a rotação e sucessão de culturas, a tendência é o aumento nos teores de estoque de C (LOSS *et al.*, 2020).

Em áreas de produção de cebola com o uso de SPDH, as plantas de cobertura podem recuperar os teores de carbono orgânico total (COT) (Loss *et al.*, 2015), proporcionando maior proteção de C no solo (Kurtz *et al.*, 2019). Já o carbono orgânico particulado (COP) é influenciado pelo processo de decomposição de plantas e animais, onde parte do C é emitido

para a atmosfera como CO₂, e grande parte do C é assimilada como tecido microbiano e parte convertida em húmus estável no solo (STEVENSON, 1994).

A fração COP, compreendida na fração areia (>53 µm) possui sensibilidade em detectar alterações em práticas de manejo do solo, sendo um indicador importante (Bayer *et al.*, 2004; Dieckow *et al.*, 2005; Loss *et al.*, 2010; Carmo *et al.*, 2012; Guareschi; Pereira; Perin, 2013), principalmente em períodos curtos de tempo (Rossi *et al.*, 2012) e a exposição de COP pelo rompimento dos agregados do solo determinam menores valores para esta fração.

Já a fração contida no silte e argila (<53 µm) chamada de carbono associado aos minerais (CAM), apresenta formas de proteção, com maior tempo de ciclagem, no que se refere à sua formação e decomposição (BAYER *et al.*, 2004).

Sistemas conservacionistas como o SPDH, a taxa de produção de fitomassa vegetal deve ser superior à de decomposição de resíduos pela biomassa microbiana, incrementando o estoque de carbono (Ernani, 2016), e como forma comparativa, há modelos como descrito por Blair; Lefroy; Lisle; (1995), que faz referência as alterações do carbono orgânico do solo relacionado ao manejo adotado, denominando de índice de manejo de carbono (IMC), possibilitando a comparação do nível de perturbação de áreas comerciais com áreas de preservação, dentro de uma mesma região/propriedade.

Esta estimativa considera o índice de estoque de carbono (IEC), que realiza o confrontamento do estoque de uma área de referência (Conceição *et al.*, 2014) e utilizado para a conferência de sistemas que entraram em manejo conservacionista e se encontra em recomposição.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A., SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300021> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000300021&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 fev. 2020.
- ARL, V.; CHRISTOFFOLI, P. I.; FAYAD, J. A. Sistema de plantio direto de hortaliças: Sistema de plantio direto de hortaliças: Uma práxis da transição agroecológica com a agricultura familiar. In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESE, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. P. 39-54.
- ARROBAS, M., AGUIAR, P., RODRIGUES, M. Â. A comparison of a pasture ley with a maize monoculture on the soil fertility and nutrient release in the succeeding crop. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 62, n.6, p. 829-839, oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1096014>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2015.1096014>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BACKES, C. *et al.* Determinação do crescimento e acúmulo de nutrientes em cebola Bella Vista. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n.1, p. 246-254, jan./mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n129rc>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252018000100246&lng=en&tlng=en. Acesso em: 11 jun. 2020.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Ceres**, Viçosa, v. 61, n. supl. p. 856-881, dec. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000700011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 mar. 2020.
- BAVER, L. D., WALTER H. G.; WILFORD R. G. **Soil physics**. n. 4. New York: Wiley, 1972.
- BAYER, C., MIELNICZUK., J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n.1, p. 105-112, 1997. Disponível em: <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=2704373>. Acesso em: 10 out. 2018.
- BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677- 683, jul. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000700009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 nov. 2018.
- BELEM, A. B. *et al.* Yield of onion in soil with cattle manure and nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 149-153, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p149-153>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662020000300149&tlng=en. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BENITES, V. de M., *et al.* O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira. In: BERNARDI, A.; DE OLIVEIRA, F. A. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. 2. ed. Piracicaba. INPI, 2010. p. 53-65. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Bernardi/publication/277328049_POTASSIO_CALCIO_E_MAGNESIO_NA_AGRICULTURA_BRASILEIRA_Potassim_calcium_and_magnesium_in_Brazilian_agriculture/links/5568511d08aec226830140d4/POTASSIO-CALCIO-E-MAGNESIO-NA-AGRICULTURA-BRASILEIRA-Potassim-calcium-and-magnesium-in-Brazilian-agriculture.pdf. Acesso em: 15 abr. 2020.
- BERTOL, I. *et al.* Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, jan./fev. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000100015&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 nov. 2019.

BLAIR, G.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian journal of agricultural research**, v. 46, n. 7, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9951459>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/cp/AR9951459>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BRADY, N. C.; WEIL, R. **Nature and properties of soils, the:** Pearson new international edition. Pearson Higher. 2013.

BREWSTER, J. **Onions and other vegetable alliums**. 2. ed. Wellesbourne, 2008.

BRITO, O. R., *et al.* Mobilidade do potássio no solo em função de diferentes tipos e doses de resíduos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3043-3052, 2014. Disponível em: <http://www.uel.br/portal/index.php?pagina=404&urlProcurada=www.uel.br/seer/index.php/semagrarias/article/download/16283/15492>. Acesso em: 20 jun. 2020.

CALEGARI, A. **Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto:** Informações Agronomicas, 122. ed. Piracicaba. INPI, 2008. Disponível em: [http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/868AE17E333755E583257A90007D8D88/\\$FILE/Page18-21-122.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/868AE17E333755E583257A90007D8D88/$FILE/Page18-21-122.pdf). Acesso em: 10 dez. 2019.

CAMARGO, E. S. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola**. 2011. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2011. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1462/dissertacao_estefania_camargo_15688946065201_1462.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

CARDOSO, A. I. I.; COSTA, C. P. da. Produção de bulbinhos de cebola em bandejas de isopor. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 969-974, out./dez. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000400026> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000400026&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 06 ago. 2020.

CARRANCA, C.; TORRES, M. O; MADEIRA, M. Underestimated role of legume roots for soil N fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p. 1095-1102, mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0297-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-015-0297-y>. Acesso em: 20 jun. 2020.

CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, jul/ago, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015> Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>. Acesso em: 15 nov. 2019.

CONCEIÇÃO, P. C. *et al.* Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 794-800, mar. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000400015&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2020.

DA SILVA, A. L. *et al.* Carbono e nitrogênio microbiano em sistemas de cultivo de cebola em um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 13, n. 2, p. 142-150, abr. 2014. Disponível em: <https://periodicos.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5627>. Acesso em: 20 jun. 2020.

DE FREITAS, P. L.; LANDERS, J. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 1, p. 35-46, mar. 2014. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30012-5](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30012-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633915300125?via%3Dihub>. Acesso em: 15 dez. 2019.

DIECKOW, J. *et al.* Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and Nfertilization, assessed by CPMAS ¹³C NMR spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. 6, p. 705-715, mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00705.x> Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2005.00705.x>. Acesso em: 15 nov. 2020.

DULEY, F. L.; KELLY, L. L. Effect of soil type, slope, and surface conditions on intake of water. *In: Research Bulletin: Bulletin of the Agricultural Experiment Station of Nebraska*, n. 112, 1939.

DUTRA, G. R. D. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1919.
ERNANI, P. R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2. ed. Lages: O Autor, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations – **Associando-se para alcançar a segurança alimentar e nutricional e promover o desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: DF, 8. ed. 2018.
Disponível em: <http://www.fao.org/3/AX274PT/ax274pt.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Área colhida, rendimento e produção mundial da cultura da cebola em 2018**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 07 mai. 2020.

FAYAD, J. A. *et al.* **Sistema de Plantio direto de Hortaliças (SPDH) O cultivo da cebola**. Florianópolis: Epagri, 2018.

FURLANI, C. E. A. *et al.* Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 375-380, jan./fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100035>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100035&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 dez. 2019.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 2, p. 242-250, apr./jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000200005>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 20 mar. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Tabela 188. Rendimento médio, por ano da safra e produto (notas). 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188>. Acesso em: 11 set. 2019.

INCRA - Instituto nacional de colonização e reforma agrária. **Relatório de gestão** exercício 2016 SR10. 2016. Disponível em: http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/servicos/publicacoes/relatorios/relatorios-de-gestao/relatorios-de-gestao---incra-2016/sr_10_-_santa_catarina.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.

KASSAB, A. L. Cebola – **Do túmulo dos faraós as exigentes mesas modernas**. 1. ed. Ediouro, 2020.
Disponível em: <https://www.suapesquisa.com/alimentos/cebola.htm>. Acesso em: 15 abr. 2020.

KURTZ, C. *et al.* **Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina**. 4. ed. Florianópolis: Epagri, 2013.

KURTZ, C. *et al.* Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34: n. 2, p. 279-288, abr./jun. 2016: DOI: 10.1590/hb.v34i2.620. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/hb.v34i2.620>. Acesso em: 10 ago. 2019.

KURTZ, C. *et al.* Conceito de fertilidade em SPDH. *In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. Sistema de plantio direto de hortaliças*. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 85-103.

LOPES, A. S. *et al.* **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004.

LOSS, A. *et al.* Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 1, p. 57-64, abr. 2010. DOI: 10.14295/cs.v1i1.10. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/cs.v1i1.10>. Acesso em: 10 set. 2019.

LOSS, A. *et al.* Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, jul./ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000401212&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 set. 2019.

LOSS, A. *et al.* Atributos físicos do solo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional em cultivo de cebola. **Revista Colombiana de Ciências Horticolas**. v.11, n. 1, p.105-113, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_horticolas/article/view/6144. Acesso em: 10 ago. 2019.

LOSS, A. *et al.* Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. (Org.). **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 175-199.

LOSS, A. *et al.* Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16587-16606, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-507>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8323/7182>. Acesso em: 20 jun. 2020.

LIMA, C. E. P.; MADEIRA, N. R. **Sistema de plantio direto em hortaliças (SPDH)**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2251611/sistema-de-plantio-direto-em-hortalicas-spdh>. Acesso em: 10 mar. 2020.

LOURENZI, C. *et al.* Fertilidade do solo e nutrição na produção e sanidade de plantas. *In*: STADNIK, M. J.; VELHO, A. C.; ZORRILLA, S. E. **Desenvolvimento sustentável na produção agroalimentar**, Florianópolis: UFSC, 2019. p. 35-52. *E-Book* (375 p.). Disponível em: <https://labfitop.paginas.ufsc.br/livros/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

LUCIANO, R. V. *et al.* Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 9-19, set. 2010. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5281/3491>. Acesso em: 10 set. 2017.

MAFRA, Á. L. *et al.* Iniciando o sistema de plantio direto de hortaliças: Adequações do solo e práticas de cultivo. *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 215-226.

MASSON, I.; ARL, V.; WUERGES, E. W. Trajetória, concepção metodológica e desafios estratégicos junto ao sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 25-38.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. UNESP. São Paulo. 2010. *E-book* (569 p.). Disponível em: http://www.outorga.com.br/pdf/Livro%2041%20-%20Historia_das_agriculturas_no%20mundo_Mazoyer_e_Roudart.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

MORAES, E. R. *et al.* Silicato de ca e mg: propriedades químicas e físicas do solo e produtividade do quiabeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 107-115, dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.21206/bjsa.v7i4.412>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2962>. Acesso em: 20 out. 2019.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia. Bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006.

MUETANENE, B. A. **Atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico em sistema plantio direto de cebola**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015. Disponível em: http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/834/muetadissertacaofinal.pdf. Acesso em: 20 mar. 2018.

NEC - Núcleo de estudos em cebolicultura. **Centro de informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM)**. Florianópolis: Epagri, 2020. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/CebolaNet/>. Acesso em: 05 jan. 2020.

NEME, A. M. **Leguminosas para adubos verde e forragens**. Campinas: Instituto Agronômico, 1940.

NICHOLLS, C. I. *et al.* Sistema plantio direto de hortaliças: princípios de transição para sistemas de produção ecológicos e redesenho de propriedades familiares. *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 55-64.

PANTOJA, J. *et al.* Winter Rye Cover Crop Biomass Production, Degradation, and Nitrogen Recycling. **Agronomy Journal Abstract**, Madison, v. 108, n. 2, p. 841-853, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0336>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2015.0336>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PERDIGÃO, A. *et al.* Carbon and nitrogen mineralisation from green manures as alternative nitrogen sources in Mediterranean farming. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 11, p. 1546-1555, feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1294754>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2017.1294754>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PÔRTO, D. R. Q. *et al.* Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37 n. 4, p. 949-955, jul./ago. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400005>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000400005&lng=pt&tlng=pt84782007000400005. Acesso em: 15 dez. 2019.

REINHARDT, J. C. **Dize-me o que comes e te direi quem és: alemães, comida e identidade**. 2007. Tese (Doutorado em História) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/15966>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ROBACER, M. *et al.* Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, v. 208, p. 104-110, ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.029>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815303514?via%3Dihub029>. Acesso em: 01 dez. 2019.

ROSSI, C. Q. *et al.* Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, jan./mar. 2012. DOI: [10.1590/S1806-66902012000100005](https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100005). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100005>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SANTOS, B. S. de A.; MEURER, N. V. F. Liberação de NPK por leguminosas e gramíneas – Análise comparativa. **Revista Pensar – BioUSU**, v. 4, p. 20-29, 2018. Disponível em: http://revistapensar.com.br/biologia/pasta_upload/artigos/a158.pdf. Acesso em: 05 jan. 2020.

SANTOS, C. F. B., *et al.* Crescimento vegetativo de cultivares de cebola sob efeito de plantas de cobertura. **Agroecologia em Foco**, v. 3, n. 50, p. 10-20, jan. 2019. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/2167/2220>. Acesso em: 11 jun. 2020.

SCHNITZER, M. Soil organic matter—the next 75 years. **Soil Science**, v. 151, n. 1, p. 41-58, 1991. DOI: [10.1097/00010694-199101000-00008](https://doi.org/10.1097/00010694-199101000-00008). Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1991SoilS.151...41S/abstract>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SILVA, D. J. S. da. **Indicadores de qualidade do solo na região da campanha do Rio Grande do Sul, sob sistemas de pastoreio Contínuo e Voisin**. 2015. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3001>. Acesso em: 20 jun. 2020.

SOUZA, M. *et al.* Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 21-27, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000100004&lng=pt&tlng=pt84782012005000150. Acesso em: 01 dez. 2019.

STEFANOSKI, D. C. *et al.* Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008> Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013001200008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 ago. 2020.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. John Wiley & Sons, 1994.

TIECHER, T. *et al.* Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, n. e0170025, feb. 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170025>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832018000100505&lng=en&tlng=en. Acesso em: 10 mar. 2020.

WENDLING, B. *et al.* Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, mai. 2005. DOI:
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500010>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2005000500010&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 05 mar. 2020.

ZANATTA, J. A. *et al.* Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 510-519, jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.003>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706002418?via%3Dihub>. Acesso em: 10 mai. 2020.

2 CAPÍTULO 1: QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA

RESUMO

O SPDH é uma maneira de conciliar produção e conservação do solo e busca bem-estar do produtor e maior eficiência produtiva, com benefícios econômicos, sociais e ambientais. O objetivo foi avaliar a qualidade do solo em área de produção de cebola em SPDH com 10 anos, em relação ao SPC com 30 anos de cultivo e MN não antropizada, com determinação de atributos físicos e químicos do solo. A pesquisa foi conduzida no município de Alfredo Wagner, SC, em 2017, em um Cambissolo Háplico. O cultivo em SPDH, a rotação de culturas ocorreu com as seguintes espécies: milheto (*Pennisetum glaucum* L.), mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC), capim doce (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D. Webster), crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.), no sistema de preparo convencional (SPC) foram utilizadas milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de sucessão. A coleta de solo foi realizada em dois transectos com 5 pontos cada, com 10 sub-amostras em cada ponto, equidistantes 5 metros. As avaliações químicas foram: pH em água e SMP, P, K, Ca, Mg, Al, N e COT, COP, CAM e seus respectivos estoques, IMC, IEC, L e IL. As avaliações físicas do solo, DS, PT, macroporos, microporos, estabilidade de agregados, RP e infiltração de água. Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5%, teste de verossimilhança Scott-Knott para grupamentos e PCA. O SPDH apresentou menor DS em relação ao SPC na camada de 5-10 cm, já a RP foi maior em SPDH, destacando-se na camada de 5-10 cm superando o limite crítico. Em relação a infiltração de água no solo, o SPDH apresentou maior infiltração acumulada no período de teste e uma estabilização na infiltração aos 20 min. O SPC apresentou níveis menores de infiltração e constante desde o início (0 min.) do teste. O P e pH em água apresentaram maiores níveis em SPC nas duas camadas estudadas, diferente do que ocorreu com o N, que apresentou maiores níveis em MN, seguido por SPDH e SPC. Já o K apresentou maior teor em SPC, seguido de SPDH e MN, diferente do que ocorreu em relação ao Ca, que não apresentou diferença entre SPDH e SPC mas foram superiores a MN. As variáveis que mais se destacaram na análise de componentes principais (PCA) foram COT, COP, IMC, K e P, os componentes principais 1 e 2 explicaram 96,1% e 2,6% respectivamente da variabilidade dos dados. O SPDH melhorou a agregação em relação ao SPC, teve maior capacidade de armazenamento de carbono e maior IMC em comparação ao SPC.

Palavras-chave: *Allium cepa*. Manejo do solo. Olericultura. Plantio direto

CHAPTER 1: SOIL CHEMICAL AND PHYSICAL QUALITY UNDER NO-TILL AND CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEM FOR ONION PRODUCTION

ABSTRACT

The no-till vegetable production system (NTVPS) is a way of reconciling production and soil conservation, reaching producer well-being and more productive efficiency, with economic, social and environmental benefits. The objective was to evaluate soil quality in an onion production area under NTVPS for 10 years in relation to a 30 years area under conventional tillage system (CTS) and a non-anthropized native forest (NF), based on the determination of soil physical and chemical properties. The research was conducted in the municipality of Alfredo Wagner, SC in 2017 on a Haplic Cambisol. In NTVPS areas, crop rotation occurred with the following species: millet (*Pennisetum glaucum* L.), mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC.), marmalade grass (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D. Webster), crotalaria (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.), in the CTS corn (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) were used in succession system. The soil sampling was carried out in two transects with 5 points each, with 10 sub-samples at each point, equidistant 5 meters. The chemical evaluations were: water and SMP pH, P, K, Ca, Mg, Al, N and total organic carbon (TOC), its granulometric fractions, their respective stocks, and the estimation of carbon management index (CMI). Physical properties evaluated were soil bulk density, total porosity, macropores, micropores, aggregate stability, penetration resistance and water infiltration. The results were subjected to the Bartlett homogeneity test of variances and the 5% Shapiro-Wilk normality test, Scott-Knott probability test for groups and PCA. The NTVPS showed lower soil density in relation CTS in the 5-10 cm layer, whereas the penetration resistance was higher in NTVPS, especially in the 5-10 cm layer, exceeding the critical limit. Regarding the soil water infiltration, NTVPS showed a greater accumulated infiltration in the test period and a stabilization in the infiltration at 20 min. The CTS showed lower levels of infiltration and constant since the beginning (0 min.) of the test. P and water pH showed higher levels in CTS in the two evaluated layers, differently from N, that presented higher concentrations in NF, followed by NTVPS and CTS. K showed higher content in CTS followed by NTVPS and NF, different from what occurred in relation to Ca, that was similar in NTVPS and CTS, but were higher than NF. The variables evidenced in the PCA were TOC, particulate organic carbon, IMC, K and P, the main components 1 and 2 explained 96.1% and 2.6% respectively of the data variability. NTVPS improved aggregation in relation to CTS and had higher carbon storage capacity and CMI than CTS.

Keywords: *Allium cepa*. Soil management. Olericulture. No-till

2.1 INTRODUÇÃO

A conservação do solo é fundamental para manter a capacidade produtiva das terras, além de preservar atributos químicos e físicos do solo. Esse princípio de manejo já foi destacado desde a antiguidade, mas, atualmente ainda não é integralmente aplicado nos cultivos de hortaliças.

Como era herança da colonização europeia ocorrida no estado de SC nos séculos XIX e XX, o sistema de cultivo convencional (SPC) foi implementado como forma de manejo do solo de um ambiente totalmente diferente de sua origem, onde o intenso revolvimento do solo era necessário para acelerar o descongelamento do solo e não apresentava os mesmos impactos negativos em virtude dos menores índices pluviométricos.

Nas condições brasileiras, o preparo intensivo do solo, com alta utilização de insumos e em condições de relevo acidentado, acentuou a degradação física e química, especialmente pela erosão hídrica pluvial. Os efeitos negativos do sistema de manejo convencional no cultivo de hortaliças começaram a ser evidenciados a partir da década de 1990, quando iniciaram em SC experiências com o sistema de plantio direto na cultura do tomate. O manejo conservacionista, baseado em cultivo sustentável, foi denominado de sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH).

Com os avanços na pesquisa em olericultura nos últimos anos, fica evidente os danos causados pelo manejo em SPC, e a partir deste ponto, o SPDH toma forma e surge como uma alternativa viável, com base no uso de plantas de cobertura para proteção permanente e redução da erosão (KHIEL, 1979).

No SPDH na cultura da cebola, as mudas são produzidas em canteiros, e em seguida, transplantadas em sulcos preparados por equipamentos adaptados para o corte da cobertura morta do solo, sendo este processo restrito à linha de plantio (Loss *et al.*, 2017), com revolvimento mínimo do solo. Esse sistema preconiza também alta adição de fitomassa e proteção permanente do solo (KURTZ *et al.*, 2019).

Além de contribuir para a manutenção e melhoria das qualidades física do solo como a estabilidade de agregados, macroporosidade e drenagem de água, as plantas utilizadas na cobertura atuam na formação de bioporos, formados pelas raízes das plantas. Assim, há maior quantidade de macroporos (Albuquerque; Sangoi; Ender, 2001) maior quantidade de carbono orgânico e maior estabilidade de agregados, por não sofrer intervenção como o SPC.

Os sistemas conservacionistas como o SPDH podem trazer benefícios em termos de quantidade e qualidade da MO, o que pode ser avaliado pelo cálculo do índice de manejo de

carbono (IMC) em relação a um sistema de referência sem perturbação antrópica (CONCEIÇÃO *et al.*, 2014).

Os benefícios químicos do solo provenientes da utilização de plantas de cobertura são conhecidos, e promovem a melhoria já nos primeiros anos de cultivo, como no caso do N, a cultura da cebola apresenta alta resposta, sendo este nutriente suprido em grande parte pelo uso de fitomassa de cobertura (SILVEIRA *et al.*, 2010).

Também como exemplo, o K, nutriente requerido em maior quantidade pelo cultivar de cebola Bola Precoce, a mais utilizada em SC (Kurtz *et al.*, 2016) pode ser fornecido em 100% para a cultura sucessora (SILVEIRA *et al.*, 2010).

A hipótese desta pesquisa está baseada em que a mudança do manejo produtivo de SPC para o SPDH incrementa as características físicas e químicas do solo e pode apresentar níveis semelhantes ao de MN, demonstrando benefícios na qualidade do solo.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do SPDH em comparação ao SPC em lavouras comerciais de cebola e à MN nos atributos químicos e físicos do solo.

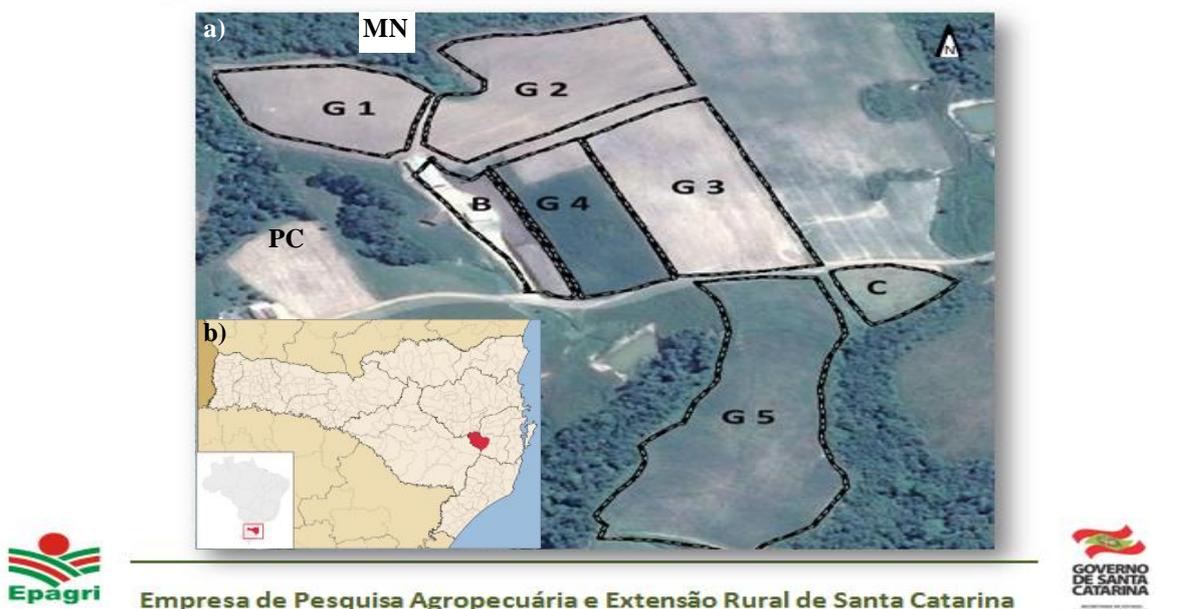
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Seleção do local

O estudo foi realizado em área de produção comercial localizada no município de Alfredo Wagner – SC (Figura 1b) em cultivo de cebola em SPDH há 10 anos (Gleba 2, figura 1a) comparativamente ao preparo convencional com 30 anos (PC, figura 1a) e mata nativa não antropizada, localizado entre 27°42'01" S e 49°20'01" W a 750 m de altitude.

Figura 1 - Localização da área experimental (a), Mapa do estado de Santa Catarina com destaque no município de Alfredo Wagner-SC (b),

Propriedade – Valdemar Lauro da Silva



Nota: MN: Mata nativa; G 1, 2, 3, 4, 5: Gleba de SPDH, B: Sede da propriedade, PC: Plantio convencional, C: Canteiros, N: Norte.

Fonte: EPAGRI (2018); Google maps.

O clima da região é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, subtropical úmido com verão quente, temperatura média anual de 18,3°C e precipitação média anual de 1568 mm (Pandolfo *et al.*, 2002). O solo é um Cambissolo Háplico de textura franco argilosa (SOLOS, 2013).

O solo foi avaliado nos sistemas de manejo adotados em três usos da terra, o primeiro com 30 anos de cultivo convencional de cebola, o segundo com 10 anos de cultivo em SPDH também de cebola, sendo comparadas com o terceiro uso em mata nativa (MN) não antropizada.

Nesta primeira etapa, foi realizada a coleta de solo (Cambissolo Háplico) no ano de 2017 e buscou-se caracterizar os três usos contrastados da terra, a área de SPDH com utilização de rotação de culturas, cobertura e não revolvimento do solo em relação aos atributos físicos e químicos em comparação com o SPC e à área de referência de MN.

2.2.2 Histórico da área

Em ambas as áreas produtivas, a produção de mudas foi realizada em canteiros com semeadura do cultivar Bola Precoce. Na área comercial de cebola em SPDH, o espaçamento

utilizado foi de 0,40 m entre linhas e de 0,075 m entre plantas, totalizando 330.000 plantas por hectare. No SPC a densidade foi de 200.000 plantas por hectare.

O manejo das plantas espontâneas em SPDH e em SPC foi baseado na aplicação de herbicidas recomendados para a cultura.

A fonte de adubação em SPDH foram adubos minerais e plantas de cobertura, o manejo da cobertura de solo foi realizado com o uso de rolo faca e dessecante comercial. A fonte exclusiva de adubação em SPC foi o adubo mineral.

A área de SPDH, inicialmente foi utilizada com SPC de cebola até o ano de 2007, e neste ano a porcentagem de MO do solo apresentou 0,6%, ou 10 g/kg de COT. Neste mesmo ano iniciado a mudança de manejo do solo, com o plantio de espécie de cobertura na entressafra de produção de cebola, e até então utilizado, têm se mantido desta forma.

Na área de SPDH, o cultivo de cebola em sistema de rotação de culturas, ocorre a cada dois anos com emprego das espécies de cobertura. As espécies utilizadas foram crotalária, capim doce e mucuna (Figura 2a). A área SPC (Figura 2b), teve cultivo de feijão ou milho no período de entressafra de cebola, e a área de MN é mantida como preservação, sem perturbação antrópica.

Figura 2 - a) Área de SPDH, b) Área de SPC no município de Alfredo Wagner- SC

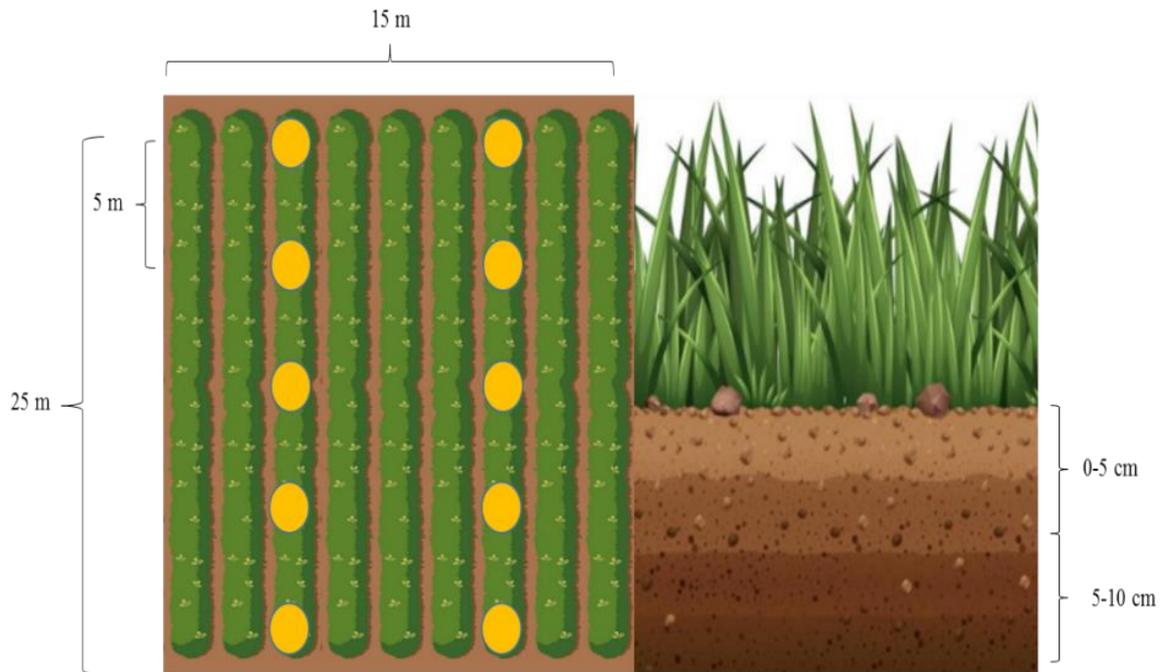


Fonte: O autor (2020).

O preparo de solo na área de SPDH foi realizado pela última vez em julho de 2006 com a utilização de enxada rotativa, já na área de SPC foi utilizada a enxada rotativa para o cultivo de cebola e arado e grade niveladora para o cultivo de milho/feijão no ano de 2017.

As avaliações foram conduzidas em uma grade amostral de 15x25 m em dois transectos em pontos de coleta a cada 5 m, sendo utilizado um fatorial duplo 3x2 com três áreas, sendo duas de produção e uma nativa e duas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm (Figura 3). O local escolhido foi selecionado por permitir melhor homogeneidade de relevo e de solo e que representasse a área de cultivo.

Figura 3 - Esquema de coleta de campo, em lavoura comercial de cebola

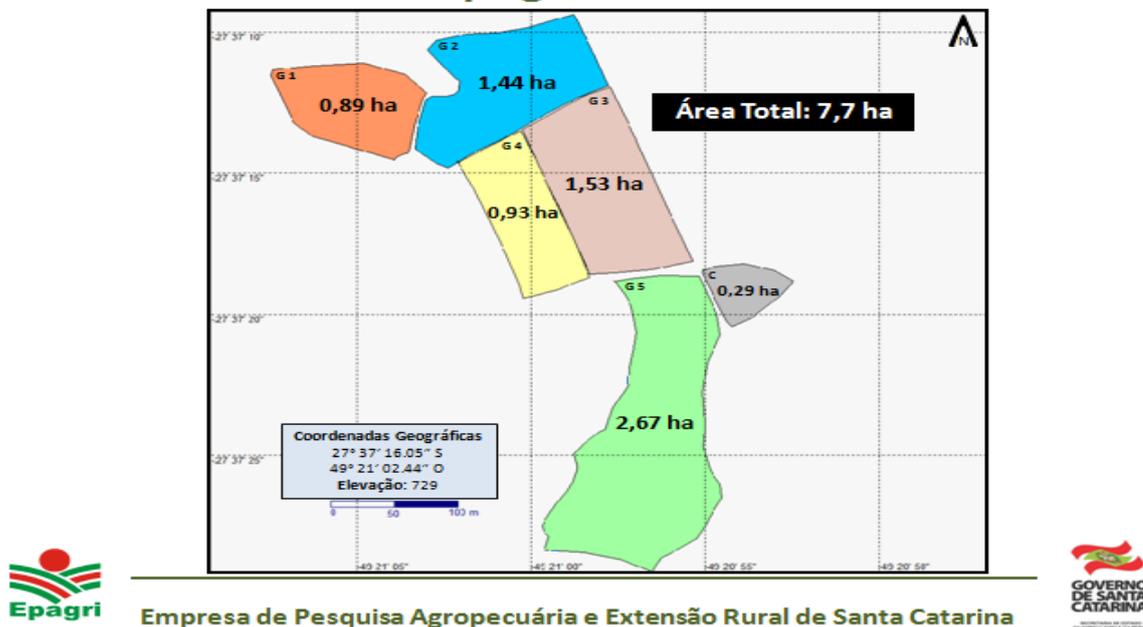


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O local escolhido foi o que melhor apresentou homogeneidade de relevo e de solo, e que representasse a área de cultivo, na época de desenvolvimento desta pesquisa, as glebas (G) de produção de cebola estavam divididas da seguinte forma durante o período de cultivo de cobertura (Figura 4): G1: Crotalária, G2: Crotalária, G3: Consórcio entre milho e mucuna, G4: Crotalária, G5: Capim doce, sendo posteriormente as G1, G2 e G4 utilizadas para o cultivo de cebola do ano de 2017.

Figura 4 - Tamanho das áreas de pesquisa no município de Alfredo Wagner – SC

Levantamento Topográfico – Área de Lavouras



Fonte: EPAGRI (2018).

2.2.3 Preparo das amostras

As amostras de solo foram secas ao ar em casa de vegetação (CV), destorroadas e moídas. Para as análises química, utilizaram-se amostras peneiradas em malha de 2 mm. Já as amostras com estrutura indeformada foram coletadas em anéis volumétricos de 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro em duas subamostras por parcela, com o auxílio de pá cortadeira para a preservação da estrutura.

2.2.4 Análises físicas do solo

No laboratório, as amostras com estrutura indeformada foram inicialmente saturadas em bandejas por capilaridade e determinada a massa do conjunto utilizando anel, material de proteção e solo saturado. Os anéis saturados foram submetidos às tensões de 1, 6 e 10 kPa em mesa de coluna de areia até atingir o equilíbrio de umidade, sendo determinada a massa a cada tensão aplicada. Em seguida, os anéis com estrutura indeformada foram secos em estufa a 105 °C por 48 h, conforme método descrito por CLAESSEN *et al.* (1997).

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta conforme descrito por Day (1965) e Gee; Bauder (1986), com dispersão de 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em 70 mL de água e 10 mL de NaOH 1N e 4 h de agitação mecânica em agitador horizontal. A

porosidade total (PT) foi encontrada pela diferença de massa do solo saturado (m_{Saturado}) e massa de solo seco (m_{SS}) em casa de vegetação sob volume conhecido equação 1.

O volume de microporos (Micro) foi obtido pela diferença da massa de solo após tensão de 6 kPa, em mesa de tensão de areia equação 2 (Claessen *et al.*, 1997) e o volume de macroporos (Macro) obtido pela diferença entre a porosidade total (PT) e microporosidade equação 3, já a densidade do solo (DS) foi obtida pelo método do anel volumétrico, pela relação massa (m) / volume (v), equação 4, a 105 °C (BLAKE; HARTGE, 1986).

$$PT = (m_{\text{Saturado}} - m_{\text{SS}}) / V \quad (\text{eq. 1})$$

$$\text{Micro} = (m_{\text{S60}} - m_{\text{SS}}) / V \quad (\text{eq. 2})$$

$$\text{Macro} = PT - \text{Micro} \quad (\text{eq. 3})$$

$$Ds = m_{\text{SS}} / V \quad (\text{eq. 4})$$

A resistência mecânica à penetração (RP) foi avaliada em penetrômetro de bancada (Marconi® modelo MA 933), com cone de 4 mm de diâmetro, o qual foi introduzido nas amostras de solo até a profundidade de 4,5 cm, com velocidade constante de 30 mm min⁻¹ e leituras a cada 1s. Por conta do efeito da borda do cilindro, descartaram-se os valores obtidos nos 0,5 cm superiores e inferiores da amostra.

As amostras com estrutura indeformada foram retiradas na forma de leivas nas camadas amostradas, com auxílio de espátula metálica, e acondicionadas em sacos plásticos para preservar a estrutura no laboratório, e posteriormente retirado os agregados, destorroados que passaram em peneiras de 8 mm de abertura de malha, para determinação da estabilidade de agregados pelo método de KEMPER; CHEPIL (1965).

A análise de tamanho e estabilidade dos agregados foi determinada pela metodologia de peneiramento úmido, descrita por Claessen *et al.* (1997) a partir de agregados com tamanho de 8 e 4,76 mm. Amostras com 25g de agregados em duplicata foram dispostas no conjunto de peneiras (Figura 5), que compreende as malhas de 4,76; 2,00; 1,00 e 0,250 mm.

Figura 5 - Conjunto de peneiras (4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; e 0,25 mm)



Fonte: Da Silveira (2017).

Os conjuntos foram colocados no equipamento de oscilação vertical já previamente preenchido com água, até 1 cm acima do nível dos conjuntos de peneiras. Os agregados foram submersos em água por 10 min. para repouso e umedecimento, e após o tempo de repouso, o aparelho foi ligado e colocado para oscilação por 10 min.

O material retido em cada uma das peneiras foi transferido para as latas de alumínio previamente pesadas, identificadas e colocadas em estufa a 105 °C por 24 h, após esse período o material foi pesado para a realização dos cálculos.

2.2.5 Análises Químicas

Após coleta de campo, as amostras com estrutura alterada foram secas ao ar, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm para futura determinação de análises de pH em água e índice SMP, P extraível (leitura em espectrofotômetro de absorção molecular na região visível em 882 nm) (Murphy; Riley, 1962), K trocável (leitura em espectrofotômetro de emissão atômica em chama), Ca e Mg trocáveis (leitura em espectrofotômetro de absorção atômica em chama) e Al trocável (leitura por titulometria) (TEDESCO *et al.*, 1995).

A determinação de carbono orgânico total (COT) foi realizada em analisador elementar por combustão seca. O carbono orgânico particulado (COP) foi analisado após fracionamento físico conforme descrito por CAMBARDELLA; ELLIOTT (1992).

O carbono associado aos minerais (CAM), foi obtido pela subtração do valor de COP do COT. O estoque de C orgânico total do solo (eCOT) foi calculado pelo método de massa equivalente (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012), equação 5.

O índice de manejo de carbono (IMC) foi calculado conforme a equação 6 (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995).

O índice de estoque de carbono (IEC) equação 7, o índice de labilidade (IL) equação 8 e a labilidade do carbono (L) equação 9, foram calculados conforme metodologia descrita por VIEIRA *et al.* (2007).

C em $Mg\ ha^{-1}$ = (Teor de carbono em $g\ kg^{-1}$ x densidade do solo em $kg\ dm^{-3}$ x espessura da camada de solo considerada em cm) / 10. (eq. 5)

$$IMC = ICC \times IL \times 100 \quad (eq. 6)$$

$$IEC = COT_{uso\ do\ solo} / COT_{CN} \quad (eq. 7)$$

$$IL = L_{uso\ do\ solo} / L_{CN} \quad (eq. 8)$$

$$L = COP_{uso\ do\ solo} / CAM_{uso\ do\ solo} \quad (eq. 9)$$

2.2.6 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo foi determinada pelo método dos anéis concêntricos, seguindo procedimento descrito em Forsythe (1975), e foram obtidas a lâmina total de água infiltrada (mm) e a taxa final de infiltração de água no solo, esta última representada pela velocidade básica de infiltração de água ($mm\ h^{-1}$), obtida em condição de solo saturado, com tempo de avaliação de 90 minutos, com intervalo de um 1 minuto nas primeiras cinco avaliações (5 min.), intervalos de 5 minutos até os próximos 25 minutos (30 min.) e posterior intervalo de 10 minutos até finalização em 90 minutos. As leituras de infiltração foram ajustadas à equação exponencial de Horton, descrita por Prevedello (1996), equação 10.

$$i = i_f + (i_i - i_f) e^{-Ct} \quad (eq. 10)$$

i = taxa de infiltração estimada ($mm\ h^{-1}$);

i_i = taxa de infiltração observada no início do teste ($mm\ h^{-1}$);

i_f = taxa de infiltração observada no final do teste;

C = parâmetros de ajuste.

t = tempo de duração do teste (minuto);

No desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado um esquema fatorial 3x2 com três áreas (duas de produção e uma nativa) e duas profundidades (0 a 5 cm e 5 a 10 cm), sendo verificada a homogeneidade de variâncias de cada variável através do teste de Bartlett de acordo

com Sokal (1995). Caso os dados sejam classificados como paramétricos, os dados foram submetidos ao teste Scott-Knott (5%) para a separação de médias, e de forma complementar, foi utilizado a análise de componentes principais (ACP).

Para a realização das análises, foram utilizados os programas, Action, Minitab 17 e Sigmaplot 11.0.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sobre a quantidade de fitomassa de capim doce, apresentam uma produtividade aproximada de 3550 kg/ha de MS (Maraschin; Berreto, 1973) valor superior ao encontrado nesta pesquisa de 2790 kg/ha de MS. Já para crotalária a produtividade de MS pode chegar a 15000 kg/ha (Dourado *et al.*, 2001) valor superior ao encontrado nesta pesquisa, que foi de 6329 kg/ha de MS.

O milho também possui um potencial de alta produtividade e pode atingir cerca de 20000 kg/ha de MS (Embrapa, 2016), já a mucuna apresenta uma produtividade MS próxima de 8000 a 100000 kg/ha, e o consórcio entre ambas espécies, apresentam alta produtividade, chegando a mais de 23000 kg/ha de MS (Rodrigues *et al.*, 2012) valor superior ao encontrado por esta pesquisa de 4253 kg/ha de MS.

No desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado o Cambissolo Háplico que apresentou fração granulométrica predominante de franco argiloso em SPDH e SPC e na área de preservação franca (Tabela 1), com boa condição de drenagem nas áreas avaliadas, porém muito dependente do manejo empregado.

Tabela 1 - Análise de granulometria de Cambissolo Háplico em sistemas de produção comercial de cebola e mata nativa

Granulometria			
Profundidade (cm)	Argila g/kg	Silte g/kg	Areia g/kg
SPDH			
0 a 5	376	335	289
5 a 10	376	331	293
SPC			
0 a 5	366	239	395
5 a 10	371	222	407
MN			
0 a 5	235	314	451
5 a 10	227	316	457

Nota: SPDH: Sistema de plantio direto; SPC: Sistema de plantio convencional; MN: Mata nativa.
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em relação a condição física do Cambissolo Háplico, destaca-se que a estabilidade de agregados foi maior na área de produção de cebola em SPDH, quando comparada com SPC e MN, demonstrando que o SPDH aumenta os índices de agregação do solo, onde 72% dos agregados ficaram retidos na peneira de maior diâmetro, com diâmetro médio ponderado (DMP) de 5,04 mm na camada de 0-5 cm e de 4,98 mm na camada de 5-10 cm, indicando alta estabilidade no sistema adotado há 10 anos.

No SPC apenas 36,2% dos agregados foram retidos na peneira de maior diâmetro, o que evidencia desagregação do solo em comparação a área de SPDH conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagem dos agregados de um Cambissolo Háplico em área natural e diferentes manejos do solo no município de Alfredo Wagner - SC nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm

Área/Manejo	Camada (cm)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	DMP
							%
SPDH	0-5	72,0	9,8	3,3	8,9	6,0	5,0 a
	5-10	71,9	8,0	4,9	6,2	9,0	4,9 a
SPC	0-5	32,6	12,0	9,0	23,6	22,8	2,8 b
	5-10	39,8	12,0	8,9	22,0	17,3	3,2 b
MN	0-5	66,4	10,3	3,5	3,4	16,3	4,6 a
	5-10	68,6	10,6	2,6	3,4	14,4	4,8 a
Média		58,5	10,4	5,4	11,3	14,3	4,2
CV(%)		30,0	14,5	53,2	81,6	42,3	22,8

Nota: SPDH: Sistema de plantio direto; SPC: Sistema de plantio convencional; MN: Mata nativa; DMP: Diâmetro médio ponderado, submetido ao Teste de Scott-Knott a 5% de significância separado por camada.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em relação a distribuição de agregados nas classes, os resultados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando efeito positivo do SPDH em comparação ao SPC, apresentando resultados semelhantes à MN.

Destaca-se que o rompimento dos agregados pelo preparo periódico do solo, especialmente na ausência de plantas de cobertura e com uso de uma simplificada sucessão de culturas, com baixa produção de fitomassa, podem reduzir a qualidade física.

A formação e manutenção de macroagregados ocorre por interações entre forças mecânicas exercidas por pressão por compostos químicos, que são os agentes cimentantes e associados a polissacarídeos, hifas de fungos e material humificado com óxidos de ferro (Bastos *et al.*, 2005) influenciado pelo manejo adotado, e influenciando nos resultados encontrados, onde os valores de DMP foram maiores em SPDH e MN, que apresentam agentes cimentantes, o contrário ocorrendo em SPC sendo observado com menor DMP.

Esta influência do uso de fitomassa aumenta a atividade microbiana, libera nutrientes e acumula MO nas camadas superficiais do solo (0-10 cm) e conseqüentemente influência no aumento da estabilidade de agregados (Ribon *et al.*, 2014; Loss *et al.*, 2015), conforme pode ser observado na tabela 2 e na diferença estatística observada entre os tratamentos.

Como um agente catalisador, e influenciando nos resultados encontrados, as raízes demonstram um papel importante na física do solo, pois se desenvolvem em várias direções no solo, desenvolvendo pelos radiculares que atraem partículas minerais e os fotoassimilados que auxiliam a formação e manutenção de agregados (Loss *et al.*, 2019), principalmente em sistema de manejo conservacionista (SPDH) e de preservação (MN).

O uso de gramíneas, como o capim doce utilizado nesta pesquisa, é muito comum em sistemas de rotação e por apresentarem um sistema radicular fasciculado renovado com certa rapidez, possuem maior eficiência na manutenção e formação de agregados em relação as plantas leguminosas (Loss *et al.*, 2015), que possuem o sistema pivotante, porém mais agressivo em relação a profundidade de solo, e onde a utilização destas espécies funcionam como complementares, demonstrado na tabela 2 em DMP com o SPDH.

Em comparação entre os tratamentos SPDH e MN, apresentaram valores de DMP semelhantes. A MN apresentou plantas herbáceas com amplo sistema radicular em superfície, demonstrando que o manejo adotado em SPDH é eficaz e traz benefícios físicos ao solo.

Valores semelhantes foram encontrados entre os tratamentos em SPDH e MN, pode ser explicado pela alta produção de fitomassa, aumentando a atividade microbiana, liberando nutrientes e acumulando MO nas camadas superficiais (0-10 cm) que conseqüentemente aumentou a estabilidade de agregados (Ribon *et al.*, 2014), mas não foi o suficiente para demonstrar diferença significativa entre os tratamentos.

A PT foi encontrada em maior quantidade na área de MN ($0,59 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$) na camada de 0-5 cm e de $0,57 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$ em 5-10 cm, e este volume pode ser explicado por ser um ambiente com maior diversidade de espécies presentes, e permanente presença de raízes (Tabela 3).

Tabela 3 - Atributos físicos de um Cambissolo Háplico em área natural e diferentes manejos do solo no município de Alfredo Wagner - SC nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm.

Área/Manejo	Camada	DS	RP	CC	PT	Micro	Macro
	cm	g cm^{-3}	Mpa			$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	
SPDH	0-5	1,19 b	2,40 a	0,33 a	0,51 b	0,35 a	0,16 b
	5-10	1,36 b	3,82 a	0,38 a	0,49 ab	0,39 a	0,10 b
SPC	0-5	1,37 a	1,48 b	0,37 ab	0,53 b	0,38 ab	0,15 b
	5-10	1,46 a	2,39 b	0,36 ab	0,50 b	0,36 ab	0,14 c
MN	0-5	0,84 c	0,55 c	0,30 b	0,59 a	0,31 b	0,28 a
	5-10	0,92 c	0,93 c	0,35 b	0,57 a	0,36 b	0,21 a
Média		1,19	1,93	0,35	0,53	0,36	0,17
CV (%)		21,52	61,92	8,59	7,58	7,64	37,1

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna em cada camada não diferem. (Ds) densidade do solo; (RP) resistência a penetração; (CC) capacidade de campo; (PT) porosidade total; (Micro) microporos; (Macro) macroporos, submetido ao teste de Scott-Knott a 5% de significância, comparados na mesma camada.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em relação as áreas de produção SPDH e SPC, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3) para DS 0-5 e 5-10 cm em SPC. A RP foi maior no SPDH, já a macroporosidade (Macro) foi superior em 5 a 10 cm, e pode ser explicado devido às modificações significativas que ocorrem em decorrência da compactação, provocando alterações na relação solo, água e ar, que afetam diretamente na produção da espécie.

O uso e manejo do solo diminuem a porosidade total do solo com redução no volume de macroporos, associada com o aumento da DS, a qual foi de $1,19 \text{ g cm}^{-3}$ em 0-5 cm e $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ em, 5-10 cm no SPDH, e foi encontrado $1,37 \text{ g cm}^{-3}$ em 0-5 cm e $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ em 5-10 cm no SPC, diferentemente dos valores encontrados em MN, que foram menores que $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ por apresentarem teor de MO maior (Tabela 3).

Valores críticos de DS para áreas de textura franco argilosa são de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$, conforme relatado por Bowen (1981) sendo os resultados encontrados nesta pesquisa inferiores.

A quantidade de macroporos nas três áreas de estudo permaneceu superior ao limite de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Vomocil; Flocker, 1961; Beltrame *et al.*, 1981; Xu *et al.*, 1992) indicativo da qualidade do solo para o desenvolvimento de plantas. O volume de microporos foi semelhante no SPDH em relação a SPC e equivalente neste sistema à MN nas duas camadas.

A RP em SPDH nas duas profundidades estudadas, foi superior ao limite crítico sugerido por Taylor (1971) como indicativo da qualidade física do solo de 2 MPa, apesar disso, não há evidências de comprometimento da qualidade estrutural, pois apresenta valores adequados de macro e microporos e DS que não ultrapassaram os valores indicativos de compactação.

Valores altos de RP, como o apresentado em SPDH podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro (Merotto Junior; Mundstock, 1999) e na direção preferencial do crescimento radicular (Iijima *et al.*, 1991). Além disso, indicam que a resistência à penetração das raízes tem efeitos diretos no crescimento da parte aérea das plantas (Masle; Passioura, 1987), atingindo diretamente a produtividade do cultivo de cebola, sendo necessário a intervenção no sistema com o preparo.

A qualidade estrutural observada em SPDH é evidenciada pela alta infiltração de água e aeração, o SPDH apresentou maior infiltração de água no solo, o que é importante do ponto de vista agrônômico e hidrológico (Figura 6). Já no SPC a baixa infiltração embora não acompanhada da redução em macroporos pode ser relacionada ao selamento superficial constatado em SPC (Figura 7), que é resultado do impacto das gotas de chuva diretamente sobre a superfície.

Figura 6 - Infiltração de água no solo em SPDH, MN e SPC em Cambissolo Háplico

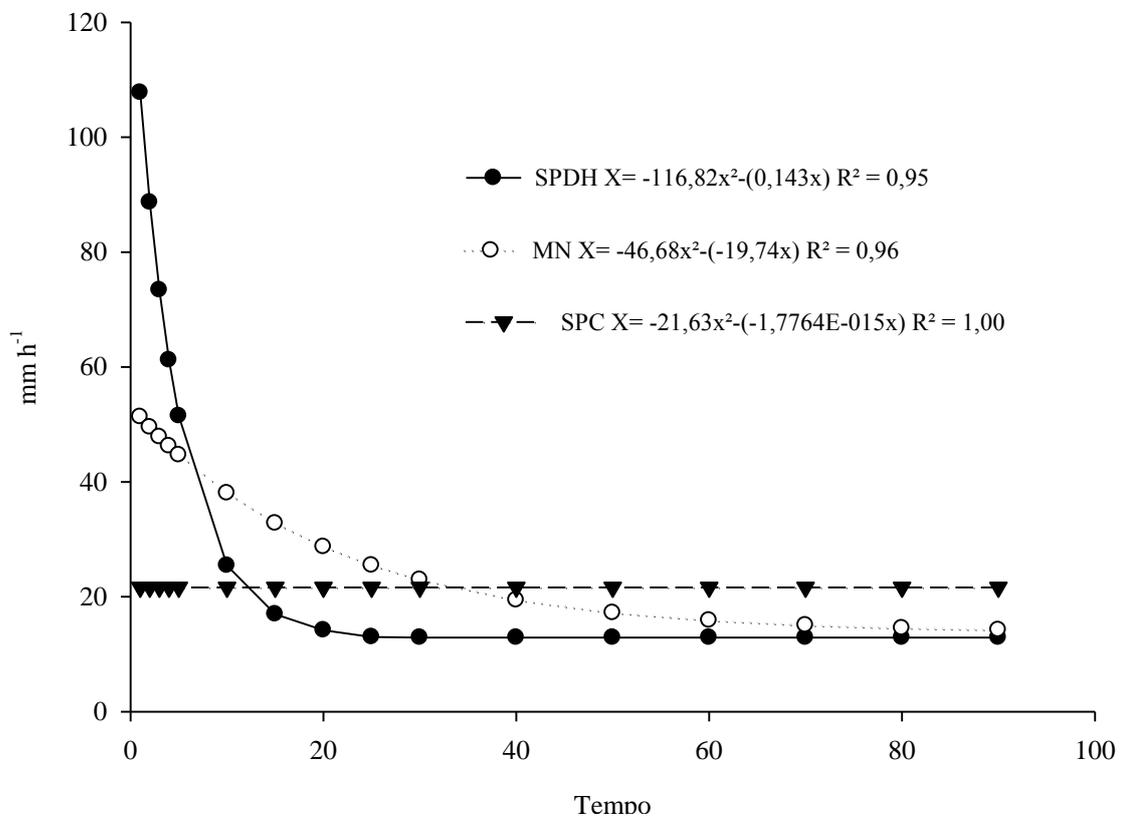


Figura 7 - Selamento superficial em plantio comercial de cebola sob SPC sob Cambissolo Háplico no município de Alfredo Wagner, SC



Fonte: O autor (2017).

A taxa inicial de infiltração no SPDH alcançou $107,7 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto no sistema MN foi de $51,2 \text{ mm h}^{-1}$ e no SPC de $21,6 \text{ mm h}^{-1}$. A taxa final em cada área foi de $12,8 \text{ mm h}^{-1}$, $14,2 \text{ mm h}^{-1}$ e $21,6 \text{ mm h}^{-1}$ respectivamente (Figura 8).

Figura 8 - Teste de infiltração com anéis concêntricos em cultivo comercial de cebola sob SPDH em Cambissolo Háplico no município de Alfredo Wagner, SC



Fonte: O autor, 2017.

A grande diferença encontrada em SPDH em relação aos demais tratamentos, foi a umidade apresentada em cada tratamento, sendo de 11% em SPDH, 9% em SPC e 16% em MN, considerada baixa em todos, e justificando pela baixa incidência de chuvas que antecederam o teste (22/11-21/12/2017), com precipitação nos últimos 30 dias de 122 mm (INMET, 2020), abaixo da média no período de 145 mm (INMET, 2020) sendo 16 % menor que a média histórica.

Outro fator ponto a ser destacado, é o método utilizado com anéis concêntricos de Forshyte (1975) é a superestimação ocasionada pelo teste em dez vezes, sendo descrita por Bertol *et al.* (2001) ocasionando valor superiores absolutos em SPDH.

Os teores de COT do solo foram menores no SPC e SPDH em relação a MN até 10 cm de profundidade. A variação nos valores encontrados foi alta, de 25 a 74 g kg⁻¹, com diminuição para as camadas inferiores em SPDH e MN, ocorrendo um acréscimo em profundidade em SPC devido ao sistema de revolvimento de solo a cada ciclo.

Sobre os valores encontrados em MN, foram substancialmente superiores aos demais tratamentos, e também pode ser observado a grande variação ocorrida entre uma camada e outra, sendo explicada pelo aporte vegetal na superfície do solo.

O teor de COT no SPDH variou de 34,7 a 31,9 g kg⁻¹, pouco pronunciado em relação a MN. Neste manejo é preconizada utilização de diferentes coberturas de solo ao longo dos anos,

este resultado explicado que até a época de coleta de solo para esta pesquisa, foram precisamente 10 anos aportando quantidades significativas de fitomassa e de carbono na superfície e em profundidade, justificando os valores encontrados, e um fator interessante é o incremento de C em SPDH, em 2007 partiu de 0,6% de MO, ou 10 g/kg de COT, para 34,7 g/kg em 2017, representando um ganho significativo (Tabela 4).

Tabela 4 - Teores e estoques de carbono orgânico e suas frações granulométricas em área natural e diferentes manejos do solo no município de Alfredo Wagner - SC nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm

Trat.	Prof.	g/kg								Mg ha ⁻¹			
		COT	COP	CAM	NOT	eCOT	eCOP	eCAM	IEC	L	IL	IMC	
SPDH	0-5	34,7 b	18,5 b	23,9 a	2,4 b	25,1 b	10,9 b	14,2 a	0,7 b	0,9 a	0,3 b	23 b	
	5-10	31,9 b	13,9 b	22,6 b	2,5 b	24,7 b	9,4 b	15,4 a	0,6 b	0,8 b	0,9 b	66,7 b	
SPC	0-5	25,9 c	7,3 c	20,1 a	2,3 c	18,9 b	4,9 c	14 a	0,5 c	0,4 b	0,1 c	6,6 c	
	5-10	26,5 c	6,5 c	20,4 b	2 c	19,7 b	4,7 c	15 a	0,5 c	0,4 c	0,4 c	19 c	
MN	0-5	74 a	47,8 a	35,5 a	4,5 a	35,1 a	20,3 a	15,1 a	1 a	2,8 a	1 a	100 a	
	5-10	58,7 a	30,2 a	37,5 a	5 a	31,8 a	13,9 a	16,7 a	1 a	0,8 a	1 a	100 a	
Média		41,9	20,7	26,7	3,1	25,9	10,7	15,1	0,7	1	0,6	52,6	
CV%		47,1	76,6	29,2	40,8	24,9	55,2	6,5	35	88,5	59,3	79,9	

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância; COT: Carbono orgânico total; eCOT: Estoque de carbono orgânico total; COP: Carbono orgânico particulado; CAM: Carbono associado aos minerais; eCAM: Estoque de carbono associado aos minerais; IEC: Índice de eficiência de carbono; L: labilidade; IL: Índice de labilidade; IMC: Índice de manejo de carbono; CV%: Coeficiente de variação.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Muito se tem estudado em relação aos impactos do sistema de manejo com impacto direto ao COT, onde de fato o manejo inadequado do solo emite C para a atmosfera e temos como exemplo a lavoura comercial com SPC de 30 anos de intenso revolvimento, que favoreceu a desagregação, liberação do C orgânico protegido nos macroagregados, causando a oxidação de C.

Resultados encontrados por Bayer *et al.* (2000) em estudo sobre a dinâmica da matéria orgânica, destacam que o COT em sistemas nativos como MN, apresentam valores expressivos entre a camada superficial e em profundidade, com o uso plantas de cobertura, consorciadas ou solteiras para a produção de fitomassa, incrementando COT (COMIN *et al.*, 2018).

Sistemas que não utilizam espécies com sistema radicular profundo, realizam a rizodeposição de C, favorecendo o aporte de C, como foi observado em MN e SPDH (LOSS *et al.*, 2020).

Os maiores teores de COP encontrados em MN foram observados na segunda camada em todos tratamentos em relação à camada superficial. Os valores encontrados em SPDH

diferiram do SPC, evidenciando que o sistema adotado de rotação de culturas com a alta produção de fitomassa na camada de 0-5 cm do solo, foi capaz de aumentar esta fração. Caso fosse amostrada na camada de 10-20 cm, os valores de COP em SPC poderiam apresentar valores superiores em relação a SPDH, devido ao sistema de revolvimento.

O comportamento de COP (Tabela 4) foi influenciada pelo manejo do solo e está relacionada com a presença de cobertura, a alteração de COP poderá ser observada ao longo do tempo, diferente de COT onde o resultado pode ser encontrado no primeiro ano de adoção de sistemas conservacionistas.

O COP possui a característica de ser a primeira fração a demonstrar a modificação de manejo, de um sistema conservacionista para um sistema degradante, sendo uma fração que leva algum tempo para entrar novamente em equilíbrio (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

Os valores de COP encontrados são devido ao sistema adotado de manejo em plantio convencional, ocorrendo a fragmentação dos agregados (Loss *et al.*, 2014). A forma que é exposta a MO com a utilização do manejo em SPC desfavorece a formação de agregados, desencadeando a liberação da MO, interferindo nos valores de COP (LOSS *et al.*, 2020).

Os maiores teores de COP podem ser explicados pelas espécies utilizadas ao longo do tempo como na utilização de várias espécies durante a rotação de culturas, como a mucuna preta (Lima filho *et al.*, 2014), que possui capacidade de produção em grande quantidade de MS, e que estava presente em cobertura na produção de cebola em SPDH.

O carbono associado aos minerais (CAM) (Tabela 4) foi maior em MN e demonstra maior capacidade do sistema nativo na proteção de C, seguido pelo SPDH e SPC. O manejo com SPC apresenta menor em CAM e pode ser explicado pelo intenso revolvimento do solo, consumindo a matéria orgânica do solo (MOS).

A diferença entre as áreas produtivas e a área de MN, se dá na composição e qualidade dos resíduos adicionados ao solo, sendo necessário analisar os efeitos que a mudança da vegetação e no manejo possam trazer na eficiência, na incorporação e estabilização da MOS no interior dos microagregados, ou ruptura deles, expondo o C a oxidação (LOSS *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2018).

Diferentemente do que ocorre em sistemas que não utilizam a cobertura de solo e vegetação como SPDH e MN, a combinação de espécies seja por rotação de culturas ou por deposição, mantém grandes quantidades de MS superficial (Lima Filho *et al.*, 2014). As condições de MN apresentaram estoque de carbono orgânico total (eCOT) maior em relação aos demais tratamentos nas duas camadas estudadas, totalizando 38,29 Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm e 31,79 Mg ha⁻¹ em 5-10 cm.

O alto armazenamento de C em áreas nativas demonstram que em ambientes bem preservados a entrada de C superficial e subsuperficial no solo é substancialmente maior, sendo uma característica nestes sistemas a diversidade de espécies presentes.

O SPC e SPDH apresentaram valores menores de eCOT em relação a MN indicando possível perda de C nas duas camadas estudadas, principalmente quando estes são submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Em comparação aos sistemas de cultivo com o natural, a diferença nos estoques de C das áreas avaliadas na profundidade de 0-5 cm foi de 28% e em 5-10 cm de 22% inferior para SPDH em relação a MN, já para SPC foi 46% inferior em 0-5 cm e de 37% para 5-10 cm.

Em relação ao fracionamento físico, o estoque de carbono particulado (eCOP) é um indicador sensível à qualidade do solo, e é resultado de um balanço entre a adição de resíduos e os processos de decomposição.

Os tratamentos estudados apresentam diferenças significativas entre os tratamentos e nas profundidades entre $MN > SPDH > SPC$. Esta diferença encontrada no eCOP, pode ser explicada pela contribuição da deposição de serapilheira em sistemas naturais.

O eCOP contribuiu 35% para a camada de 0-5 cm e 25% em 5-10 cm, em SPDH contribuiu com 28% em 0-5 cm e 28% em 5-10 cm. A proporção diminuiu no SPDH em profundidade, porque esta fração é influenciada pela adição de resíduos na superfície do solo, pois não há incorporação por revolvimento. Já com o SPC, os resíduos culturais são incorporados no revolvimento, apresentando resultados semelhantes nas duas camadas.

Winck *et al.* (2014), relatam que áreas manejadas com rotação de culturas em plantio direto e uso de várias espécies com grande aporte de material de cobertura, ocorre o aumento dos estoques de carbono e frações granulométricas.

Os valores de estoque de carbono associados aos minerais (eCAM) foram semelhantes entre as áreas, e pode ser explicado pela proteção que forma ao longo do tempo de reciclagem, por ser mais lento (Bayer *et al.*, 2004) no que se refere à sua formação e decomposição, e é necessário um período maior para a alteração de sistemas de manejo não sendo possível ainda observar esta diferença nas áreas cultivadas.

Com a decomposição e a mineralização da fração particulada, há aumento do eCAM em profundidade Winck *et al.* (2014); Bayer *et al.* (2004); Conceição *et al.* (2005); Diekow *et al.* (2005), sendo possível observar pequenas variações entre os tratamentos. A deposição contínua favorece o aporte de resíduos vegetais em cobertura (Six *et al.*, 2004) e em conjunto com a rizodeposição, favorece o incremento de eCAM em profundidade (THIVIERGE *et al.*, 2016).

Em relação aos diferentes usos do solo, o comportamento foi diferente entre os mesmos, baseado pelo índice de estoque de carbono (IEC), SPDH e SPC diferiram estatisticamente de MN (referência), sendo valores muito abaixo.

Percebe-se que nenhum dos tratamentos superou a condição natural (MN), uma justificativa sobre os valores encontrados no caso de SPC é pelo manejo contínuo deste sistema, ocorrendo há mais de 30 anos, acumulando perdas de C por todo este período, estes indícios remontam ao que vem ocorrendo nos últimos anos, apresentando sinais evidentes de degradação do solo e além de uma pequena perda produtiva ao longo do tempo, e segundo a FAO (2015), áreas pré-dispostas à erosão possuem tendência de perda de produtividade na ordem de 0,3% ao ano.

Já os valores encontrados em SPDH, mesmo sendo um índice melhor em relação a SPC, a conversão de sistema ocorreu há mais de 10 anos, ainda demonstra neste índice a prática de manejo ocorrida no passado.

Quanto ao índice de manejo de carbono (IMC) obtido, os usos do solo de SPC e SPDH, demonstraram ser inferiores ao de MN, considerado como referência e, portanto, demonstrando uma diminuição nos estoques de C. O valor de IMC abaixo de 100, indica menor aporte de C e armazenamento no solo, e SPDH e SPC não atingiram este índice.

O IMC foi sensível na avaliação comparativa entre os sistemas estudados, diferindo estatisticamente do SPC e MN, e indicando que o SPDH está em processo de regeneração, sendo o contrário em SPC, e possível observar que o SPDH adotado há mais de 10 anos, resulta em uma escolha confiável para regeneração e melhoria de qualidade de solos produtivos. Diferente o que ocorre em SPC, onde resulta em impacto negativo sobre o C, e o baixo IEC apresentado em SPC, comprovando menor capacidade de acúmulo de C.

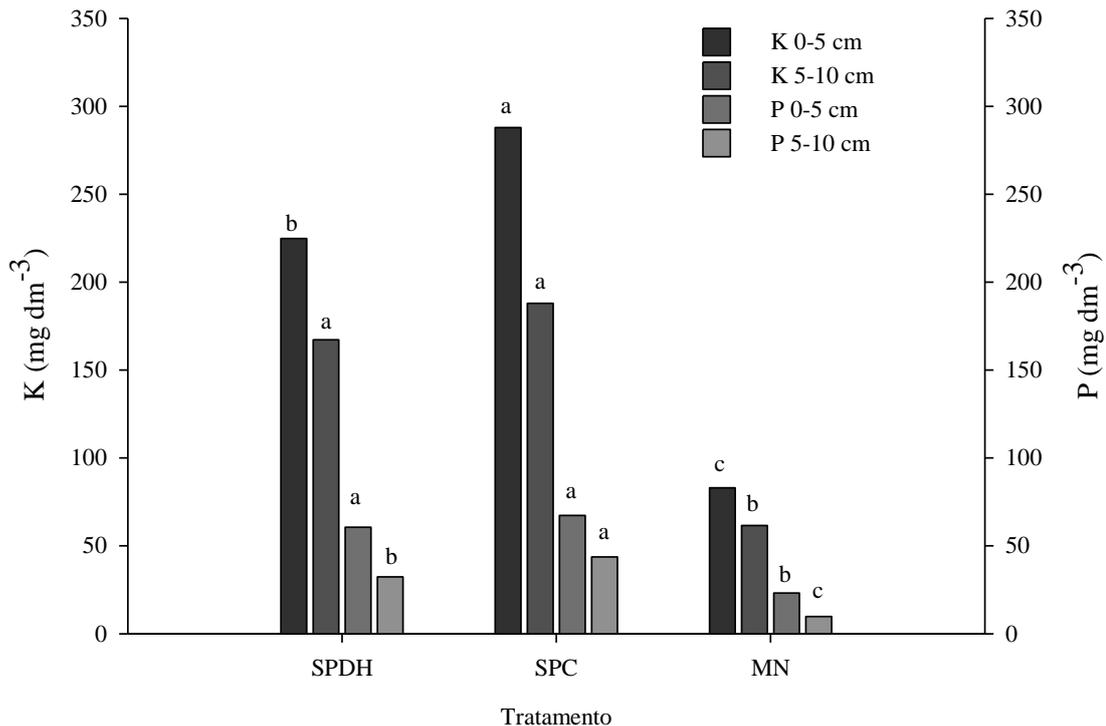
Conceição *et al.* (2014) relatam que em sistemas de produção conservacionistas, o uso de gramíneas e leguminosas em rotação de culturas, demonstram incremento de qualidade, por vezes superando sistemas de referência.

Os teores de P foram semelhantes entre SPDH e SPC, e foram superiores àqueles da MN, e segundo a CQFS-RS/SC (2016) na camada de 0-5 cm em ambos tratamentos (SPDH e SPC) estão muito altos e na camada de 5-10 cm conferindo concentração alta a muito alta, já na MN apresentaram concentração baixa a muito baixa em 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente (Figura 9).

O não revolvimento restrito ou localizado, o acúmulo de resíduos vegetais, e uso de fertilizantes na camada superficial promovem modificações nas características químicas,

aumentando a concentração de P na camada superficial e que têm sido frequentemente observados em SPDH, porém não foi observado neste caso.

Figura 9 - Valores de fósforo e potássio em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC



Nota: Tratamentos: SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliça consolidado de 10 anos, SPC: Sistema de Produção Convencional de hortaliça com 30 anos e MN: Mata Nativa não antropizada. Em cada camada, médias com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Oliveira *et al.* (2016) em estudo realizado em Ituporanga, SC, observaram que o nível de P foi superior na camada superficial em SPDH, porém os valores encontrados foram semelhantes a SPC, e pode ser explicado pelo revolvimento do solo ocorrido no SPC e a deposição de fitomassa em cobertura em SPC.

A não incorporação dos adubos fosfatados aliado à pequena mobilidade desse nutriente e ao menor contato desses com a fração mineral, reduz os processos de adsorção (Almeida *et al.*, 2005) interferindo nos dados encontrados em SPDH.

Os maiores teores de K na camada superficial do solo foram observadas no SPC em comparação ao SPDH. O SPDH com a utilização da rotação de culturas, os valores diferiram estatisticamente, sendo SPC > SPDH > MN e segundo a CQFS-RS/SC (2016) na camada de

0-5 cm e na camada de 5-10 cm em SPDH, os valores são considerados altos, já em SPC em muito alto e alto, em MN de médio a baixo, nas duas profundidades, respectivamente (Figura 9).

Os valores encontrados nos três tratamentos segundo CQFS-RS/SC (2016), SPDH e SPC encontram-se em muito alto e alto nas duas profundidades. Já na MN é muito baixo para as camadas 0-5 e 5-10 cm.

Vale destacar que a fitomassa de cobertura contribuiu substancialmente para o suprimento de K em SPDH, mas ainda sim inferior a SPC com o uso de adubos minerais.

A fitomassa de cobertura presente em SPDH formando a matéria seca para o K caminha em momentos distintos entre a decomposição e a liberação nutricional, ocorrendo maior liberação de K, maior que em relação a N e P (TALGRE *et al.*, 2014).

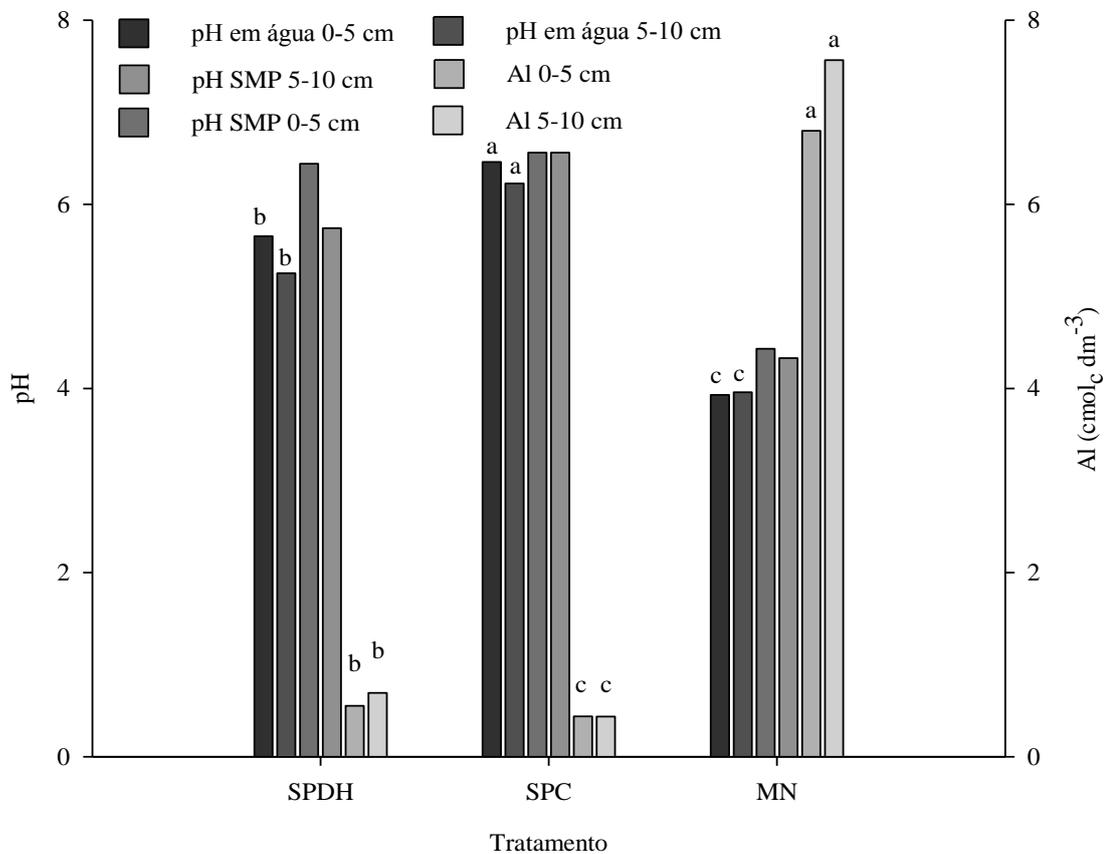
Trabalho realizado em Ituporanga, SC, comparando SPDH e SPC em produção de cebola, demonstram que o suprimento de K em SPDH supre em grande quantidade a necessidade da cebola (Camargo, 2011; Kurtz *et al.*, 2019), corroborando com os dados encontrados nesta pesquisa na figura 9, onde os valores encontrados em SPDH perfazem em quantidade a necessidade de K da cebola com o uso de plantas de cobertura, mas com certo desbalanço em relação as necessidades do cultivo, podendo haver acúmulo em momento de menor demanda e potencializar a contaminação do solo e água, devido sua mobilidade.

O maior pH em água do solo nas duas camadas, foi observado no SPC, sendo seguido de SPDH e com menor valor na MN. Destaca-se que no SPC, o revolvimento do solo permite que os corretivos sejam distribuídos na camada arável de maneira mais homogênea, antecedendo cada cultivo de inverno ou de verão com a elevação de pH para 6,0, diferente do que ocorre em SPDH, onde a aplicação de calcário ocorre superficialmente, e a descida para as camadas subsuperficiais é lento, ficando em torno de 3 cm ao ano (PAULETTI *et al.*, 2014).

O valor de pH em SPDH na camada de 5-10 cm é menor em comparação ao SPC, uma possível explicação é a percolação de carbonatos por galerias formadas pela atividade biológica do solo e por raízes presentes no sistema, porém não sendo o suficiente para tornar o pH homogêneo como o ocorrido em SPC pelo sistema de revolvimento.

Também é possível ser observado uma menor toxicidade de Al em SPDH, diferindo estatisticamente dos tratamentos SPC e MN (Figura 10). Os valores de pH encontrados em SPDH, segundo a CQFS-RS/SC (2016) são interpretados como ausência de Al, porém a presença de Al, mais precisamente nas lavouras de ocorrência desta pesquisa é relatada pelos proprietários como histórica e que pode ser classificado como Alumínicos, que podem afetar significativamente o desenvolvimento de raízes (SOLOS, 2013).

Figura 10 - Valores de pH em água, pH SMP e alumínio em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC



Nota: Tratamentos: SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliça consolidado de 10 anos, SPC: Sistema de Produção Convencional de hortaliça com 30 anos e MN: Mata Nativa não antropizada. Em cada camada, médias com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

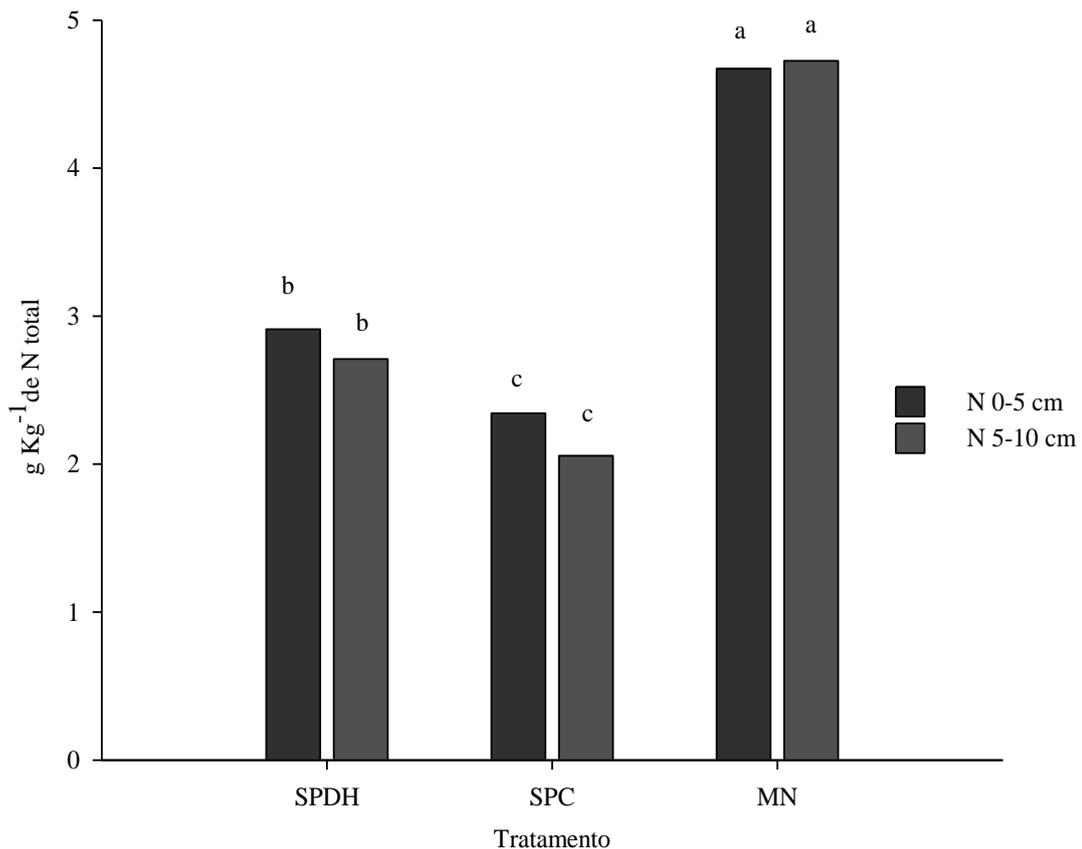
Já Pavinato; Rosolem (2008) em trabalho utilizando a decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais, relatam que o manejo adotado em SPD com a utilização de resíduos na cobertura do solo, incrementa a CTC e reduz a toxidez de Al para as plantas.

Em pesquisa realizada com a deposição de matéria seca em cobertura de SPDH em Ituporanga, SC, Souza *et al.* (2013) relatam que o pH do solo não é afetado pelo uso de cobertura em consórcio ou em cultivo solteiro, sendo a aplicação de calcário e o manejo adotado os principais responsáveis pela alteração do pH do solo, além de outros fatores químicos.

Na área referência (MN), o teor de N total encontrado (Figura 11) apresentou maior teor nas duas camadas avaliadas, onde a deposição de material de origem orgânica como folhas, galhos, raízes, associados a presença de serapilheira e outras espécies nativas que habitam este

ambiente contribuem para a manutenção de N total, ou seja, um valor alto em relação aos outros tratamentos e sendo um ambiente considerado em equilíbrio ambiental.

Figura 11 - Valores de nitrogênio total em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC



Nota: Tratamentos: SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortalíça consolidado de 10 anos, SPC: Sistema de Produção Convencional de hortalíça com 30 anos e MN: Mata Nativa não antropizada. Em cada camada, médias com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nas áreas cultivadas, os níveis encontrados em SPDH de N total foram superiores ao SPC, e este indicador demonstra que o SPDH com 10 anos desde a implementação, mantém os níveis de N total superior ao manejo convencional, demonstrando que a série de técnicas utilizadas em SPDH supre em grande parte a necessidade de reposição de N total em lavouras de cebola.

Para elucidar os valores encontrados em SPC, é necessário observar a forma de manejo da área, onde as plantas utilizadas como sucessão de culturas, milho e/ou feijão, o preparo de solo utilizado ocasiona a degradação dos restos culturais aumentando a decomposição, deixando a área pré-disposta a lixiviação.

Convém ressaltar que o fornecimento de nutrientes pela fitomassa das plantas se dá normalmente de maneira mais gradual em comparação aos adubos minerais solúveis (Kurtz *et al.*, 2013), porém pode estar disponível em quantidade em uma fase da planta que não seja tão necessário.

O uso de plantas de cobertura, geralmente resulta na melhoria de aproveitamento do N total proveniente dos resíduos, como também pela potencialização de outras modificações benéficas da cobertura vegetal, em termos biológicos, químicos e físicos no solo, afetando a dinâmica do N total, e poderão alterar as respostas da cultura em relação ao sistema convencional de manejo (Camargo, 2011), sendo um nutriente que afeta diretamente a produtividade (Higashikawa; Menezes Junior, 2017) e requerido em maior quantidade pela cebola (PÔRTO *et al.*, 2007).

Em pesquisa realizada em Ituporanga, SC, com a utilização de plantas de cobertura solteiras e consorciadas analisando a mineralização de N total, Martins *et al.* (2014) relatam que a utilização de adubos verdes confere maior disponibilidade de N total para a cebola ao longo do ciclo, interferindo na produtividade e com menor dependência de fontes solúveis.

Em lavouras que utilizam o SPDH, as doses de N total recomendadas são menores por dois motivos, o primeiro pois é focado na curva de absorção conforme a necessidade da cultura e a segunda é pela manutenção de N total proporcionada pela fitomassa de cobertura do solo (KURTZ *et al.*, 2019).

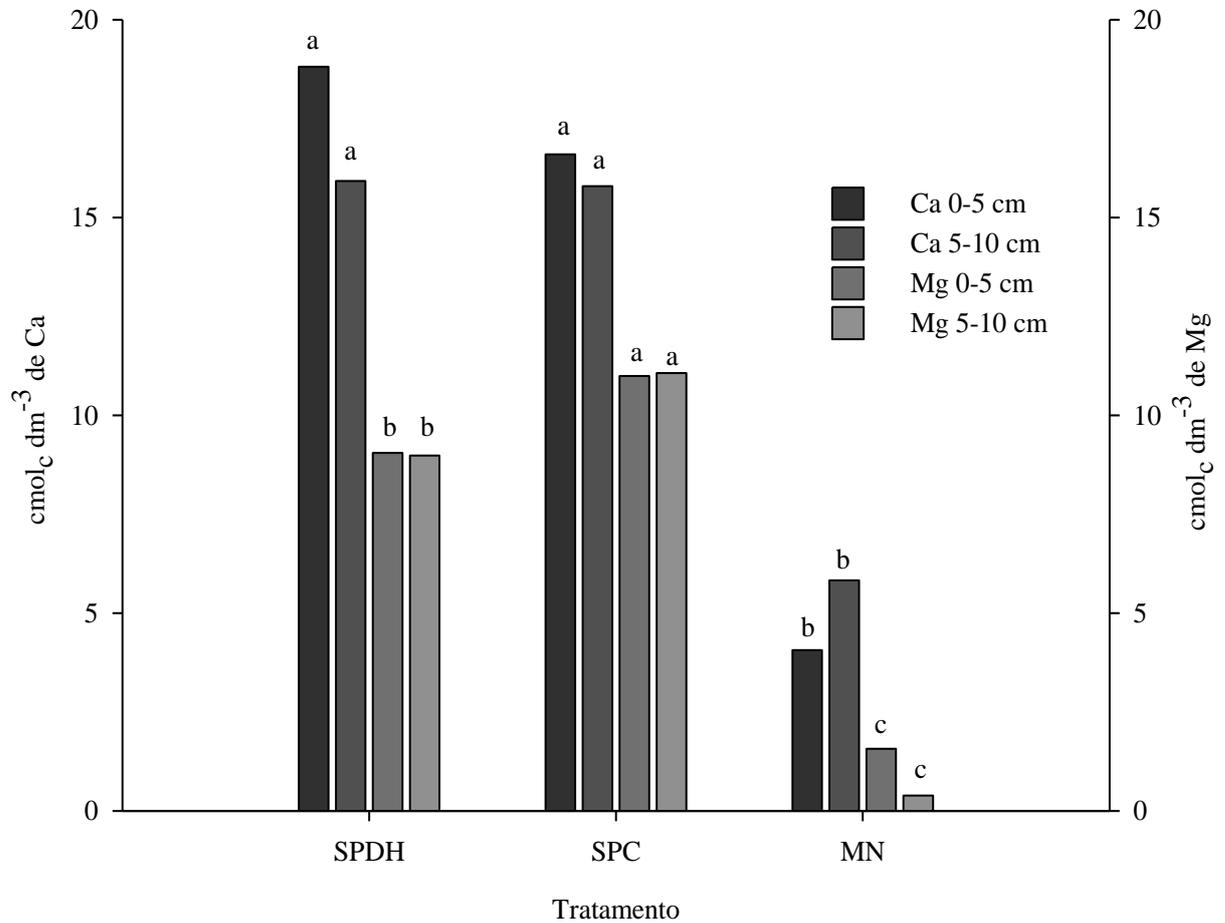
Sobre os valores de Ca e Mg pela interpretação da CQFS–RS/SC (2016) apresentaram valores altos nos tratamentos de SPDH e SPC nas duas profundidades, inclusive estes valores interpretados como alto foram encontrados em MN.

Os teores de Ca variaram em profundidade nos três tratamentos e foram semelhantes entre as áreas de produção SPDH e SPC e superior à MN, ocorrendo o contrário com o Mg, onde os tratamentos SPDH e SPC diferiram estatisticamente.

Esta diferença encontrada entre os ambientes produtivos, SPDH e SPC está ligada ao manejo adotado em cada área, e uma conseqüente interferência no desenvolvimento do sistema radicular das plantas utilizadas como cobertura, além da mobilização do solo no SPC.

Silveira; Stone (2001) observaram que cultivos manejados em SPDH, têm se encontrado maiores teores de Ca e Mg nas camadas mais superficiais em relação a camadas mais profundas, com conseqüente manutenção de níveis nutricionais no solo. Concomitantemente a distribuição nutricional no perfil do solo, principalmente pelo fato da ausência de preparo de solo, sendo concentrado na camada superficial (Camargo, 2011), nesta pesquisa este comportamento foi encontrado em Ca mas não foi observado com relação o Mg (Figura 12).

Figura 12 - Valores de cálcio e magnésio em Cambissolo Háplico em SPDH, SPC de cultivo de cebola e MN, no município de Alfredo Wagner, SC

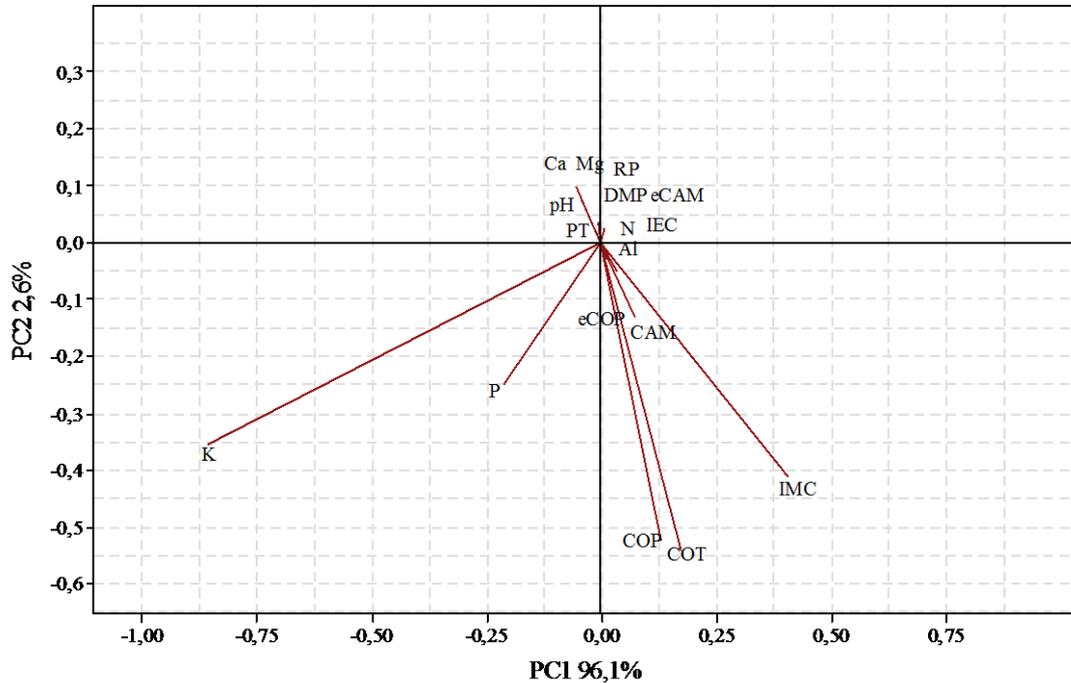


Nota: Tratamentos: SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliça consolidado de 10 anos, SPC: Sistema de Produção Convencional de hortaliça com 30 anos e MN: Mata Nativa não antropizada. Em cada camada, médias com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em relação a utilização de componentes principais (PCA), as variáveis com maior contribuição para separação das áreas avaliadas foram COT, COP, IMC, K e P, os componentes principais 1 e 2 explicaram 96,1% e 2,6% respectivamente da variabilidade dos dados, sendo que juntos correspondem a 98,7% (Figura 13) (Tabela 5).

Figura 13 - Análise de componentes principais (PCA) com as variáveis explicativas entre SPDH e SPC de cultivo de cebola e MN no município de Alfredo Wagner – SC



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Tabela 5 - Contribuição das variáveis PCA no primeiro e segundo componente

Tratamento	PC1	PC2
	%	
RP	0,5	1,3
DMP	0,3	0,3
PT	0,0	0,0
COT	8,4	19,7
COP	6,3	19,0
eCOP	2,3	7,0
CAM	3,4	4,7
eCAM	0,4	0,9
IEC	0,1	0,2
IMC	19,4	15,0
pH	0,5	0,6
Ca	2,7	3,5
Mg	2,1	2,9
Al	1,5	1,8
K	41,3	13,0
P	10,3	9,1
N	0,5	1,0
Total	100	100

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ocorreu um agrupamento de COP, COT e IMC indicando que estas variáveis são as que mais ajudam a explicar a diferença entre os manejos adotados no sistema de produção de cebola em relação a MN. K e P possuem uma relação negativa, as quais se agrupam no quadrante oposto negativo, e como forma de identificar a diferença encontrada entre as variáveis, que apresentaram maior força em PCA, a análise discriminante evidenciou diferença significativa entre as variáveis COT, COP, IMC, K e P.

A diferença em COT e COP ocorreu pela diferença apresentada em MN em relação as áreas de produção SPDH e SPC e não ocorrendo diferenças significativas entre as áreas de produção.

Em relação ao IMC demonstrou que o SPDH está em processo de reestruturação, diferentemente do ocorrido em SPC.

Sobre os valores encontrados de K demonstrou que os altos valores encontrados são de fontes de adubação mineral em SPDH e SPC.

Os valores de P foram semelhantes em SPC e SPDH e podem ser explicados pela adubação mineral, porém em SPDH o acúmulo de fitomassa e o não revolvimento promoveram as modificações químicas, sendo observado em SPDH.

2.4 CONCLUSÃO

O SPDH apresentou maior capacidade de armazenamento de carbono em relação ao SPC, mas menos eficiente que MN.

O SPDH melhorou agregação em relação ao SPC, embora tenha apresentado maior resistência à penetração mecânica em SPDH, os demais aspectos estruturais não indicam comprometimento da qualidade física do solo nesta forma de manejo.

O SPDH demonstrou eficiência na manutenção da fertilidade do solo pela adoção de fitomassa de cobertura, com a prática de rotação de culturas, mantendo teores de K, P, N e Mg semelhantes e maior teor de Ca em relação ao SPC;

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A., SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300021>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000300021&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 fev. 2020.
- ALMEIDA, J. A. de *et al.* Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445, mai./jun. 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832005000300014&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2019.
- BASTOS, R. S. *et al.* Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 21-31, jan./fev. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000100003>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000100003&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 25 mai. 2020.
- BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, jun. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000700009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2019.
- BAYER, C.; *et al.* Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, mar. 2000. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00090-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00090-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198700000908>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- BELTRAME, L. F. de S. *et al.* Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 145-149, 1981. Disponível em: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALAGROLINEINRA82X0181857>. Acesso em: 11 set. 2019.
- BERTOL, I. *et al.* Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, jul./set. 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000300018>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000300018&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 jan. 2020.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; MIQUELLUTI, D. J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, n. 2, p. 199-206, dez. 1997. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/548>. Acesso em: 10 mai. 2020.
- BLAIR, G.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian journal of agricultural research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9951459>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/cp/AR9951459>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. *In*: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 363-375.
- BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. *In*: ARKIN, G. F., TAYLOR, H. M. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p.21-57.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. **Nature and properties of soils, the: Pearson new international edition**. Pearson Higher. 2013.

- CAMARGO, E. S. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola**. 2011. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2011. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1462/dissertacao_estefania_camargo_15688946065201_1462.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Society of America Journal**, v. 56, n. 3, may.1992. DOI: doi:10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>. Acesso em: 01 fev. 2018.
- CLAESSEN, M. E. C. *et al.* Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997.
- COMIN, J. J. *et al.* 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. dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718305312?via%3Dihub>. Acesso em: 11 mai. 2020.
- CONCEIÇÃO, P. C. *et al.* Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, set./out. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000500013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 mai. 2020.
- CONCEIÇÃO, P. C. *et al.* Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 44, n. 5, p. 794-800, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000004>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014000500006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2020.
- CQFS-RS/SC. Comissão De Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2016.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. *In*: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Part 1. American Society of Agronomy, Madison, p. 545-566, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c43>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr9.1.c43>. Acesso em: 05 mai. 2016.
- DIECKOW, J. *et al.* Sistemas de Preparo do Solo e Características Espectroscópicas da Matéria Orgânica em Ambientes Tropicais e Subtropicais Brasileiros. **Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Brasília: Embrapa, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/30394/1/BPD122005.pdf> Acesso em: 05 mai. 2020.
- DOURADO, M. C. *et al.* Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 287-293, abr./jun. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000200011>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000200011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 abr. 2019.
- DUTRA, G. R. D. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1919.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Cultivo do Milheto**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2016. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018. Acesso em: 10 jun. 2020.

ERNANI, P. R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2. ed. Lages: O Autor, 2016.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. SPDH – Sistema de Plantio Direto de Hortaliças – Cebola. 09 de out. 2018.

FAO, ITPS. Status of the world's soil resources (SWSR) – main report. **Food and agriculture organization of the United Nations and intergovernmental technical panel on soils**, Rome, Italy, v. 650, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/> Acesso em: 10 ago. 2020.

FORSYTHE, W. **Física de solos; manual de laboratório**. New York: University Press, 1975.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy, 1 ed. Madison: ASA, 1986, p. 383-411. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>. Acesso em: 10 set. 2016.

GOOGLE MAPS. In: Google maps. Alfredo Wagner, 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Alfredo+Wagner+++SC,+88450-000/@-27.716438,-49.4697576,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x9520885e79e28a0d:0xb638e7216ac462b2!8m2!3d-27.6959489!4d-49.3320694>. Acesso em: 10 abr. 2020.

GUARESCHI, R, PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Estoque de carbono em Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 4, p. 597-602, out./dez. 2012. DOI: 10.5039/agraria.v7i4a1767. Disponível em: http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v7i4a1767. Acesso em: 01 mar. 2020.

HIGASHIKAWA, F. S.; MENEZES JÚNIOR, F. O. G. Adubação mineral, orgânica e organomineral: efeitos na nutrição, produtividade, pós-colheita da cebola e na fertilidade do solo. **Scienta Agraria**. Curitiba, v. 18, n. 2, p. 1-10, abr./jun. 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6111907>. Acesso em: 10 dez. 2018.

IAC – Instituto Agronomico de Campinas – **Centro de grãos e fibras**. Campinas; SP, 2020. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/crotalaria.php> Acesso em: 10 jul. 2020.

IJIMA, M. *et al.* Effects of soil compaction on the development of rice and maize root systems. **Environmental and Experimental Botany**, v. 31, n. 3, p. 333-342, jul. 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(91\)90058-V](https://doi.org/10.1016/0098-8472(91)90058-V). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/009884729190058V>. Acesso em: 01 out. 2019.

INMET - **Instituto nacional de meteorologia**, 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em 10 de abr. 2020.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E. & CLARK, F. E. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical propriets, including statistcs of measurement and sampling**. Part 1. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c39>. Acesso em: 10 abr. 2017.

KHIEL, E. J. Manual de edafologia. **São Paulo: Editora Agronomica Ceres**, 1979.

KURTZ, C. *et al.* **Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina**. 4. ed. Florianópolis: Epagri, 2013.

KURTZ, C. *et al.* Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34: n. 2, p. 279-288, abr/jun, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/hb.v34i2.620>. Disponível em: <http://editor.horticulturabrasileira.com.br/index.php/HB/article/view/620>. Acesso em: 10 ago. 2019.

KURTZ, C. *et al.* Conceito de fertilidade em SPDH. In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 85-103.

DA SILVEIRA, Caroline Perez Lacerda. aplicação de dejetos líquidos suínos em superfície e incorporado e propriedades físicas e hídricas do solo em sistemas de plantio direto. Relatório de qualificação (Não publicado). 2017.

LEFÈVRE, C. *et al.* **Carbono Orgânico del Suelo: El Potencial Oculto**. 2017. Disponível em: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/29070>. Acesso em: 10 out. 2019.

LIMA FILHO, O. F. *et al.* Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053840.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2020.

LOSS, A. *et al.* Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 523-528, jul./set. 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i3.322. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/322>. Acesso em: 03 ago. 2019.

LOSS, A. *et al.* Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 113, n. 1, p. 1-8, abr. 2014. Disponível em: <http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/12>. Acesso em: 10 fev. 2020.

LOSS, A. *et al.* Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000401212&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 set. 2019.

LOSS, A. *et al.* Atributos físicos do solo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional em cultivo de cebola. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**. v. 11, n. 1, p. 105-113, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/6144. Acesso em: 10 ago. 2019.

LOSS, A. *et al.* Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno. In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 175-212.

LOSS, A. *et al.* Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16587-16606, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-507>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8323/7182>. Acesso em: 20 jun. 2020.

LUCIANO, R. V. *et al.* Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háptico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 9-19, set. 2010. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5281/3491>.

MARASCHIN G. E.; BARRETO I. L. Efeito da adubação nitrogenada e das frequências de corte no manejo inicial de *Phalaris tuberosa* L. E Beun. Anual Sociedade Brasileira de Zootecnia, Porto Alegre, p. 416-417, 1973. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MARASCHIN,%20G.%20E.%22>.

MARTINS, R. P. *et al.* Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Ceres**. Viçosa, v. 61, n. 4, p. 587-596, jul./ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040020>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000400020&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 fev. 2020.

MASLE, J.; PASSIOURA, J. B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Functional Plant Biology**, Canberra, v. 14, n. 6, p. 643-656, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP9870643>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/fp/PP9870643>. Acesso em: 15 abr. 2020.

MASSON, I. *et al.* Trajetória, concepção metodológica e desafios estratégicos junto ao sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019, p. 25-37.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. UNESP. São Paulo. 2010. *E-book* (569 p.). Disponível em: http://www.outorga.com.br/pdf/Livro%2041%20-%20Historia_das_agriculturas_no%20mundo_Mazoyer_e_Roudart.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

MELO, P. C. T. *et al.* Retrospectiva e avanços da cebolicultura brasileira na década de 2010. **Revista Nosso Alho** (ANAPA) 6. ed. 2010. p. 1-60. Disponível em: http://anapa.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Nosso_Alho_N6.pdf. Acesso em: 12 dez. 2019.

MEROTTO JUNIOR, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v. 23, n. 2, p. 197-202, jun. 1999. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/119149> Acesso em: 01 set. 2019.

MURPHY, J. & RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267000884445?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2016.

OLIVEIRA, R. de A. *et al.* Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, n. e0150099, jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150099>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832016000100520&lng=en&tlng=en. Acesso em: 15 dez. 2019.

PANDOLFO, C. *et al.* **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. Disponível em: http://www.ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/atlasClimatologico/atlasClimatologico.pdf. Acesso em: 10 set. 2015.

PAULETTI, V. *et al.* Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, mar./abr. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200014&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 jan. 2020.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. 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, mai./jun. 2008. DOI: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000300001&lng=pt&tlng=pt. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>. Acesso em: 05 jan. 2020.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, v. 1, 1996.

PÔRTO, D. R. Q. *et al.* Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37 n. 4, p. 949-955, jul./ago. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400005>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000400005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 dez. 2019.

RIBON, A. A. *et al.* Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 6 p. 1065-1071, nov./dez. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600011>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000600011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 out. 2019.

RODRIGUES, G. B. *et al.* Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Ceres**, v. 59, n. 3, p. 380-385, mai./jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2012000300013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 mai. 2020.

SANTOS, L. H. dos *et al.* Total nitrogen and humic substances in aggregates of soils with onion crops under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Colombiana de Ciências Horticolas**, v. 12, n. 1, may. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7339>. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_horticolas/article/view/7339. Acesso em: 15 dez. 2019.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000200014&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 dez. 2019.

SILVEIRA, P. M. da. *et al.* Atributos químicos do solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, jul./set. 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i3.5841. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2530/253019612002.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

SIX, J. *et al.* 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, sep. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704000881?via%3Dihub>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SOKAL, R. R. Assumptions of analysis of variance. **Biometry**, p. 392-450, 1995.

SOLOS, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. Disponível em: <http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/sibcs> Acesso em: 10 jan. 2017.

SOUZA, M. *et al.* Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 21-27, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 dez. 2019.

TALGRE, L. *et al.* Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 30, n. 4, p. 264-271, ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.953582>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01448765.2014.953582>. Acesso em: 13 mar. 2020.

TAYLOR, H. M. Effect of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K. K. Compaction of agricultural soils. Madison, **American Society of Agricultural Engineers** 1971. p. 292-305.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ufrgs, 1995.

THIVIERGE, M-N. *et al.* Predicted yield and nutritive value of an alfalfa-timothy mixture under climate change and elevated atmospheric carbon dioxide. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 2, p. 585-603, feb. 2016. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0484>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2015.0484>. Acesso em: 07 jul. 2020.

VIEIRA, F. C. B. *et al.* Carbon management index based on physical fractionation of soil matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 195-204, oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.06.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198707001110?via%3Dihub>. Acesso em: 12 dez. 2019.

VOMOCIL, J.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 4, p. 242-246, 1961. Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi->

bin/wxis.exe/?IsisScript=ACERVO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=026296.
Acesso em: 10 out. 2019.

WINCK, B. R. *et al.* Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 980-989, mai./jun. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300030>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000300030&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 mai. 2020.

XU, Xia. *et al.* Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 6, nov. 1992. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>. Acesso em: 10 out. 2019.

3 CAPÍTULO 2: DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTE EM PLANTAS DE COBERTURA EM CAMBISSOLO HÁPLICO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE CEBOLA (SPDH)

RESUMO

As plantas de cobertura protegem o solo contra a erosão e é importante componente no manejo em SPDH. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de espécies de cobertura em cultivos solteiro e em consórcio. O experimento foi realizado em casa de vegetação, os fatores avaliados constituíram fatorial $3 \times 2 \times 5 \times 3$, três camadas (0-5 cm em amostra preservada do campo, 5-12,5 cm e 12,5-20 cm com solo destorroado e peneirado) com duas condições de solo, com 10 e 20 anos de SPDH, cinco épocas de coleta, 15, 30, 60, 90 e 120 dias, três coberturas (crotalária, capim doce e consórcio de milheto e mucuna) com três repetições. As avaliações foram os teores de P, K, Ca, Mg e N, em camadas e teores remanescentes na cobertura. Os resultados obtidos em cada camada foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett, ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5% e regressão, teste de verossimilhança Scott-Knott para grupamentos. O capim doce demonstrou cobertura do solo mais persistente com liberação mais lenta dos nutrientes para o solo em relação a cobertura com leguminosa e o consórcio de gramínea e leguminosa. O consórcio de milheto e mucuna em cobertura apresentou resultados intermediários na liberação de nutrientes para o solo. O maior aumento nos teores de nutrientes no solo foi para Ca, já o K e P variaram em função do aporte superficial de cobertura.

Palavras chave: Cobertura do solo. Olericultura. Manejo conservacionista.

CHAPTER 2: DECOMPOSITION AND NUTRIENT RELEASE FROM COVER CROPS ON A HAPLIC CAMBISSOL IN NO-TILL ONION SYSTEM

ABSTRACT

The cover plants protect the soil against erosion and are important practices in no-till vegetable production system. The objective of this research was to evaluate the decomposition and nutrient release from cover species in single and intercropping. The experiment was carried out in a greenhouse, the factors evaluated constituted a 3x2x5x3 factorial, three layers (0-5 cm in a preserved field sample, 5-12.5 cm and 12.5-20 cm with disturbed and sieved soil) with two soil conditions, with 10 and 20 years of SPDH, five sampling times, 15, 30, 60, 90 and 120 days, three cover plants crotalaria (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.), marmalade grass (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D. Webster) and intercropping of millet (*Pennisetum glaucum* L.) and mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC.) with three replications. The evaluations were the concentrations of P, K, Ca, Mg and N, in layers and contents remaining in the cover phytomass. The results obtained by layer were subjected to the Bartlett homogeneity test of variances, the 5% normal Shapiro-Wilk test and regression, Scott-Knott probability test for groups. Marmalade grass showed more persistent soil cover with more slow nutrient release to the soil in relation to the legume and the consortium of grass and legume cover. The intercrop of millet and mucuna cover showed intermediate results in the nutrient release to the soil. The higher increase in soil nutrient concentration was Ca, and the K and P varied depending on the surface coverage.

Keywords: Soil cover. Horticulture. Conservationist management.

3.1 INTRODUÇÃO

A rotação de culturas é uma prática agrícola que consistem em alternar espécies em uma área de cultivo, e seu uso é antigo e remonta há tempos, nos séculos XV e XIX há relatos de alternagem de cereais e espécies forrageiras na Europa (MAZOYER; ROUDART, 2010).

No Egito antigo também se cultivava trevo a cada dois anos alternado com trigo e cevada, e desta forma, por observações, descobriu-se melhores rendimentos produtivos, além de contribuir na redução na erosão do solo (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Com o passar do tempo, a agricultura contemporânea buscou adaptações em relação o que estava sendo realizado, novas formas de cultivo foram implementadas por meio de observações e pesquisas, buscando uma maneira mais sustentável, com preservação do solo, com a reciclagem nutricional e mantendo o produtor no campo.

Porém, mesmo com a tecnologia e conhecimento disponível, o cultivo de espécies olerícolas, principalmente o cultivo de cebola, em grande parte ainda é realizada sob condições de preparo intenso do solo e agravado por áreas inclinadas predominantes na região produtora desta espécie no estado de SC, ocasionando degradação do solo e favorecendo a erosão, com perda de solo, água e nutrientes (PANACHUKI *et al.*, 2011).

Além disso, a cebola e outras espécies olerícolas podem favorecer a perda de solo, água e nutrientes por erosão em virtude da baixa cobertura pela cultura ao longo do ciclo, sendo necessária utilização de outras espécies para garantir proteção permanente.

Desta forma se faz necessário o cultivo de plantas de cobertura na entressafra da cultura principal e respeitando o planejamento. A rotação de culturas em SPDH é considerado fator determinante para o sucesso do sistema, e colabora com o aporte de nutrientes e na dissipação da energia cinética da chuva, com a melhoria da qualidade física, biológica e química do solo (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000; LUCIANO *et al.*, 2010; LOSS *et al.*, 2017).

A presença de cobertura fornece um ambiente de proteção, impede que as gotas de chuva incidam diretamente sobre a superfície, reduz a desagregação das partículas, o que evita o transporte de sedimentos pela erosão (Loss *et al.*, 2015), e além de proporcionar um obstáculo para o escoamento de água, proporcionando maior infiltração, diminuindo a amplitude térmica atenuando a evapotranspiração, limitando a incidência de plantas espontâneas e no aumento no teor de C e MO (WANG; MOORE, 2014; MCDANIEL *et al.*, 2014; ROBACER *et al.*, 2016).

Com a utilização de rotação de culturas, diversificam-se os sistemas radiculares e é possível explorar diferentes camadas do solo, e assim espécies com propósitos variados auxiliam na qualidade do sistema.

O uso de espécies de cobertura em SPDH, pode absorver nutrientes em camadas inferiores do solo e acumular no sistema radicular e/ou na parte aérea das plantas cultivadas, liberando nutrientes disponíveis na superfície (Ambrosano *et al.*, 2014), porém sendo necessário um período mínimo de tempo, para que seus efeitos sejam estabelecidos.

A adoção de cobertura varia conforme a época do ano, objetivo e planejamento, a escolha da espécie é importante pois é dependente do que se pretende alcançar. O manejo de plantas de cobertura contribui para o SPDH, onde o ritmo de decomposição e os benefícios para liberação de nutrientes dependem da composição da fitomassa (Santos; Meurer, 2018). Neste sentido, a utilização de fitomassa em consórcio demonstra potencial de mineralização, disponibilizando nutrientes para o cultivo alvo (MARTINS *et al.*, 2014).

Porém, para que a mineralização destas espécies utilizadas ocorra, há diversos fatores que influenciam, como: a interação de plantas (em consórcio); o manejo da cobertura (Ma *et al.*, 1999); a época de corte e plantio; relação C/N; composição química e física (Collins *et al.*, 1990); histórico da área (Parkin; Kaspar; Cambardella, 2002) e condições ambientais como a pluviosidade, temperatura (Brennan; Boyd, 2012), tipo de solo (Schomberg; Steiner; Unger, 1994; Crusciol *et al.*, 2008); e aspectos da composição, como teores de celulose e hemicelulose, lignina (Gentile *et al.*, 2009; Sanchez, 2009) e polifenóis totais (THORPE *et al.*, 2011).

O uso de fitomassa pode interferir na produtividade, incrementando nutrientes, principalmente na camada de 0-5 cm, mas com relatos que influenciam camadas até 0-30 cm com K (Brito *et al.*, 2014) e influenciado nos níveis de N no cultivo de cebola em todo o ciclo produtivo (MARTINS *et al.*, 2014).

Esta pesquisa está baseada na hipótese que a cobertura do solo com o uso de diferentes espécies provenientes da rotação de culturas, atuam na melhoria da qualidade do solo, beneficiando atributos químicos e suprimindo em parte a necessidade de nutrientes da cebola.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura utilizadas em SPDH, sendo testadas três tipos de cobertura, em solo incubado, com cultivo de cebola.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições controladas e foram avaliados três tipos de fitomassa de cobertura do solo, crotalaria (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e mucuna (*Mucuna pruriens* L. DC.), capim doce ou papuã (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D. WebsterL). Os cultivos se desenvolveram sob um Cambissolo Háplico de textura predominante franco argilosa (Solos, 2013), coletado no município de Alfredo Wagner – SC em dois locais de produção de cebola em SPDH, com coordenadas 27°42'01" S e 49°20'01" W a 750 m de altitude, sendo: 1 – Cultivo de cebola em SPDH com 10 anos (SPDH10); 2 – Cultivo de cebola em SPDH com 20 anos (SPDH20), a análise de solo prévia ao experimento encontra-se na tabela 6.

Tabela 6 - Nível inicial de nutrientes do solo em SPDH sob Cambissolo Háplico

Área/Manejo	Prof. (cm)	pH- H ₂ O	SMP	Ca	Mg (cmol _c dm ⁻³)	Al	COT g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K	CTC pH 7,0
SPDH10	0-5	6	6,2	9,94	6,06	0	2,03	28,2	191	19,99
	5-12,5	5,4	5,8	7,66	5,28	0,39	1,8	7,3	107	18,71
	12,5-25,0	4,6	4,5	3,68	3,07	5,57	1,51	3,5	81	31,36
SPDH20	0-5	5,7	6,4	5,04	1,24	0,21	1,74	65,5	355	9,99
	5-12,5	5,2	6,2	3,85	0,9	0,87	0,99	19	127	8,57
	12,5-25,0	4,7	5,6	2,68	0,91	2,35	0,87	6	86	10,71

Nota: pH – H₂O: pH em água; SMP: pH SMP; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; COT: carbono orgânico total; P: fósforo; K: potássio.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

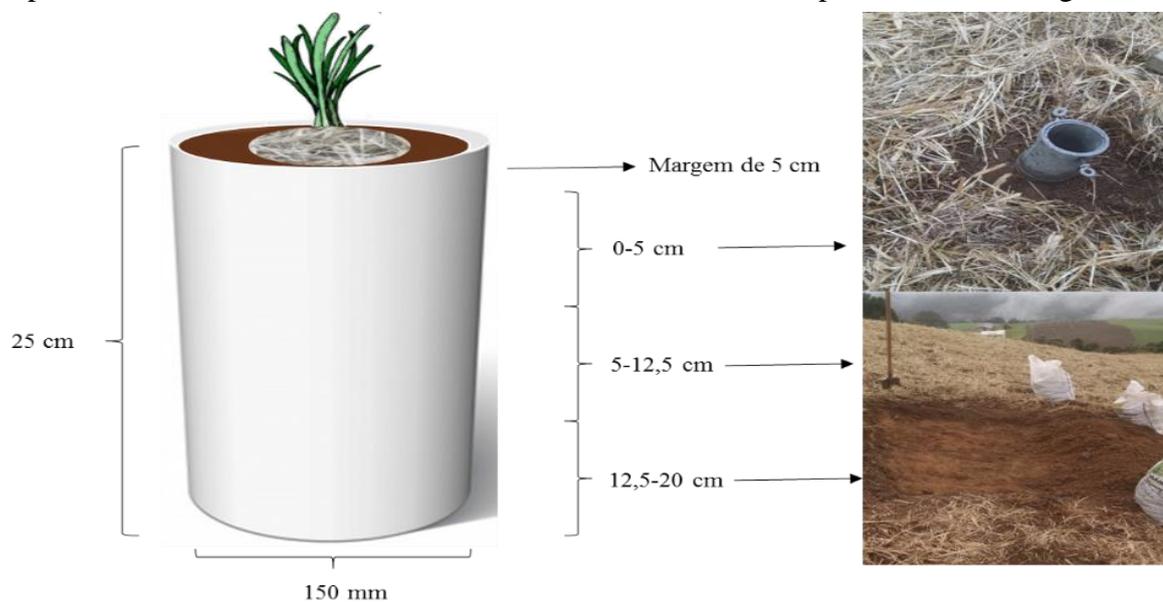
As unidades experimentais foram constituídas de tubos de PVC com diâmetro de 150 mm e 25 cm de altura, sendo utilizados 20 cm preenchidos com solo disposto em três camadas de 0-5 cm com amostras indeformadas coletadas com anel volumétrico (Figura 14), e amostras de estrutura não preservada de 5-12,5 cm e 12,5-20 cm, deixando uma margem de 5 cm sem preenchimento de solo na parte superior para manutenção da fitomassa das plantas de cobertura (Figura 15).

Figura 14 - Coleta de solo com anéis concêntricos na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo comercial de cebola com 20 anos, no município de Alfredo Wagner, SC



Fonte: O autor (2018).

Figura 15 - Coleta de solo de estrutura não preservada na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo comercial de cebola com 20 anos, no município de Alfredo Wagner, SC



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No procedimento de montagem dos vasos, na porção inferior do tubo, foi utilizado areia grossa e brita para auxílio na drenagem, utilizado de pratos plástico arredondados na parte

inferior do tubo, logo em seguida procedeu-se a montagem dos tubos da camada inferior para a superior, e utilizado tule fixado com elástico na parte superior para a manutenção da fitomassa de cobertura, (Figura 16).

Figura 16: Montagem dos vasos com a espécie teste cebola, cultivar Bola Precoce com Cambissolo Háplico em SPDH com 10 e 20 anos de cultivo



Fonte: O autor (2017)

O solo foi seco a sombra, destorroado e moído em moinho de martelo e tamisado em malha de 4mm nas camadas de 5-12,5 cm e 12,5 a 20 cm.

A fitomassa utilizada como cobertura de solo em SPDH10 e SPDH20, foi amostrada em campo com auxílio de quadro de 0,5 m², acondicionada em sacos de papel pardo, e após sendo determinada a massa úmida (MU), e após secagem em 60 °C por 72 horas, determinada a massa seca (MS).

Os fatores avaliados foram dispostos em fatorial 2x3x3x5 em dois solos diferenciados pelo tempo de adoção de SPDH, 10 e 20, com densidade de 1,2 g cm⁻³ utilizando três coberturas e 5 épocas de coleta (15, 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio - DAP), com três repetições, totalizando 90 vasos.

O plantio da cebola (*Allium cepa* L.) cultivar Bola Precoce foi realizado com mudas de 15 cm de altura, ocorrendo em 15 de outubro de 2017 e cultivo desenvolvido até 12 de fevereiro de 2018. Na implantação foram utilizadas duas plantas por vaso, sendo contabilizado neste

período 10 dias para pegamento, e posteriormente realizado o desbaste mantendo a muda mais vigorosa.

A cobertura do solo foi realizada conforme o nível de produção das espécies a campo, crotalária com 6329 kg de MS/ha, capim doce com 2790 kg de MS/ha e o consórcio entre milho e mucuna com 4254 kg de MS/ha. O material foi fragmentado com tamanho entre 5 a 10 cm, e a irrigação foi realizada conforme regime hídrico mensal histórico da região de Alfredo Wagner, SC, durante a produção, a cada 48 horas.

Em cada época de avaliação da decomposição da cobertura do remanescente, o solo (Figura 17 a) e a fitomassa (Figura 17 b) foram coletados, delimitando a profundidade de cada camada. O material foi seco em estufa de circulação forçada a 60°C por 72 horas.

Figura 17 - a) Cambissolo Háplico incubado; b) Fitomassa de cobertura em cultivo de cebola sob Cambissolo Háplico



Fonte: O autor, 2018.

Para a determinação de nutrientes a fitomassa seca foi moída em moinho tipo Willey® e sendo os macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) analisados conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação dos nutrientes, ajustou-se modelo matemático exponencial descrito por Stanford; Smith (1972) equação 11.

$$y = y_0 e^{-kt} \quad (\text{eq. 11})$$

Onde em y é a quantidade de matéria seca ou nutriente remanescente após um período de tempo (t) em dias; y_0 é a quantidade inicial de matéria seca ou de nutriente; e k , a constante de decomposição do resíduo. Com o valor de k , foi calculado o tempo de meia-vida ($t_{1/2} = 0,693/k$) (Paul; Clark, 1989), que representa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada.

Para o controle de tripes (*Frankliniella schultzei*) foi utilizado óleo de neem em concentração de 0,005% em aplicações semanais, após seu surgimento.

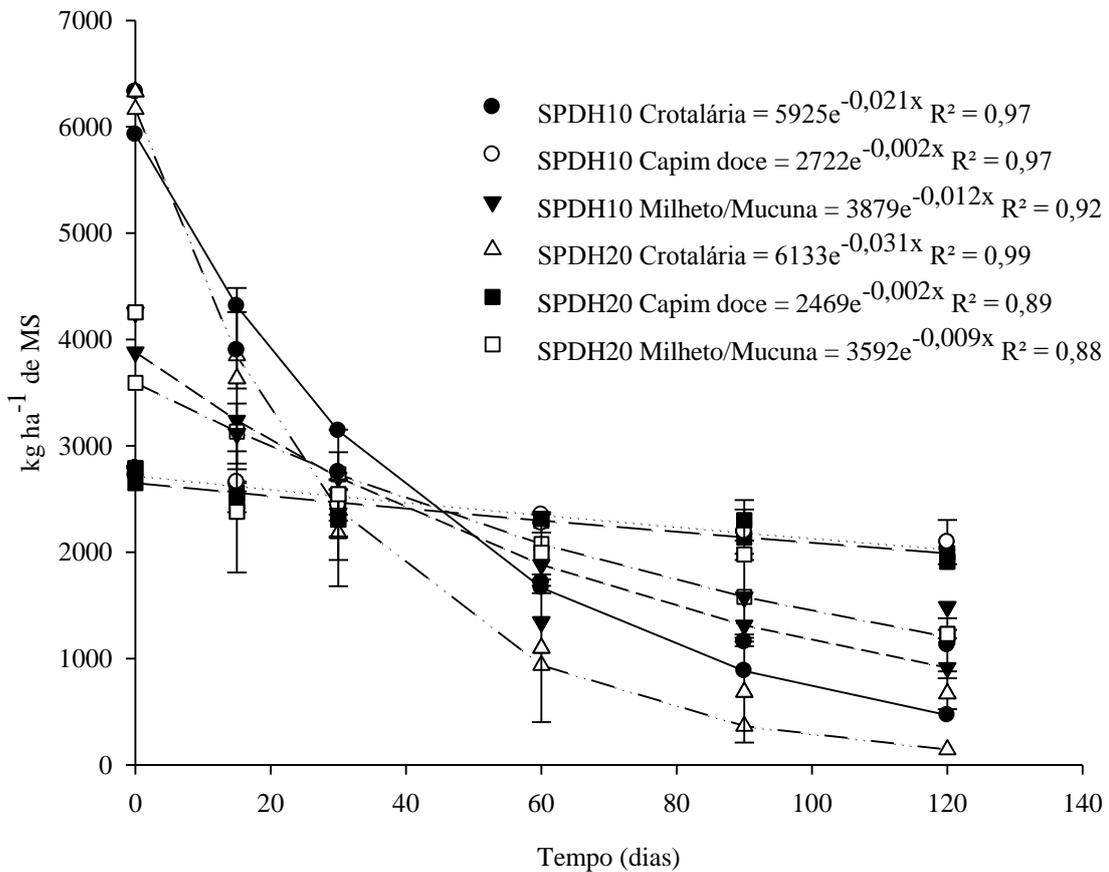
Os resultados obtidos por período de decomposição foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett de acordo com Sokal (1995), e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5%, regressão, e teste de verossimilhança Scott-Knott a 5% de significância para grupamentos. Os programas utilizados foram Action e Sigmaplot 11.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fitomassa de crotalária apresentou teor remanescente de 61% e 36% aos 15 dias de cultivo e reduziu para 17% e 10% aos 120 dias em SPDH10 e SPDH20, respectivamente. A crotalária apresenta baixa relação C/N (Aita *et al.*, 2001), e tem decomposição rápida, com redução na cobertura e maior liberação de nutrientes, apresentando $t_{1/2}$ (tempo de meia vida) de 32 e 25 dias em SPDH10 e SPDH20 respectivamente.

A fitomassa remanescente de capim doce aos 15 dias foi de 95% e 88%, e aos 120 dias de cultivo 75% e 68% em SPDH10 e SPDH20, respectivamente, apresentando relação C/N alta (40), com decomposição mais lenta em relação às leguminosas, e maior permanência na cobertura do solo, com $t_{1/2}$ de 225 e 192 dias em SPDH10 e SPDH20 respectivamente (Figura 18).

Figura 18 - Quantidade de fitomassa seca (MS) remanescente como cobertura do solo, conforme o decorrer do tempo



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

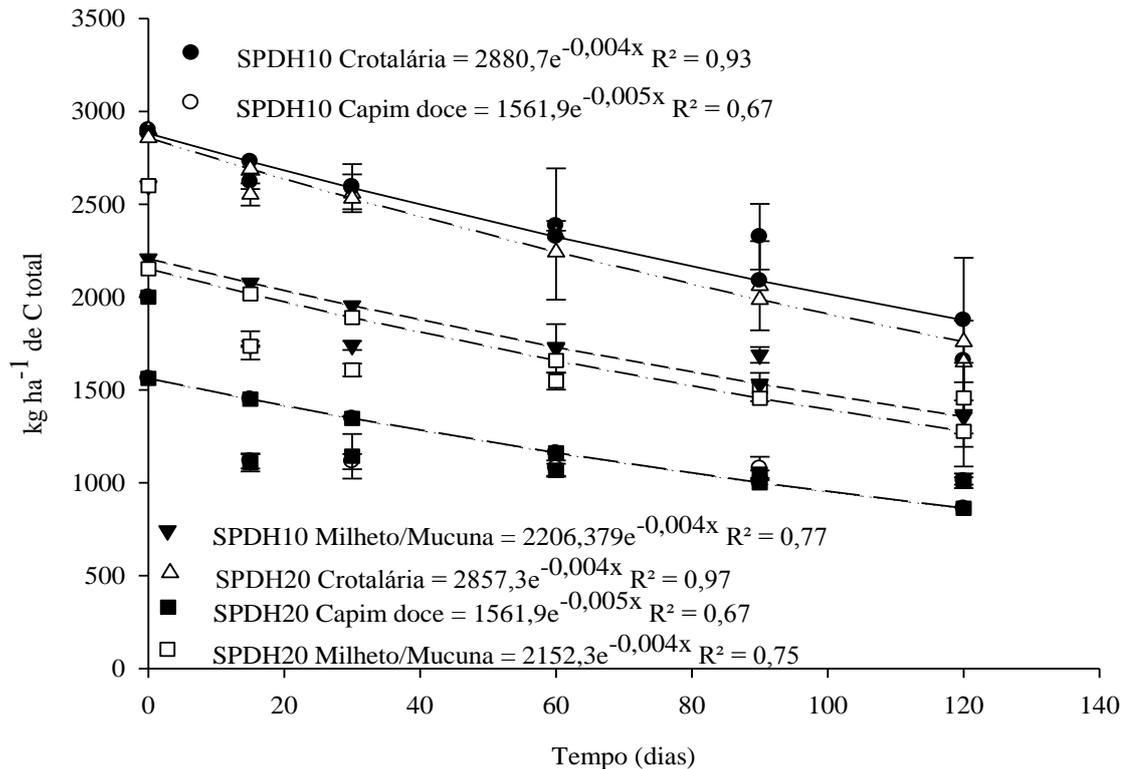
Como relatado por Pantoja *et al.* (2014) e Perdigão *et al.* (2017) em experimento com centeio, a liberação de nutrientes foi limitada, mas favoreceu o controle da água e erosão, pela maior permanência da cobertura, o que pode dissipar até 90% da energia cinética da chuva (Young; Wiersma, 1973). De forma semelhante, a maior persistência do capim doce e sua menor taxa de decomposição está ligada a maior teor de lignina e relação C/N alta (HEINZ *et al.*, 2011)

A fitomassa de milheto e mucuna apresentou teor remanescente aos 15 dias 73% e 55% e aos 120 dias com 34% e 28% em SPDH10 e SPDH20, respectivamente, e possui relação C/N intermediária, de 34 e o $t_{1/2}$ foi de 50 e 52 dias SPDH10 e SPDH20, respectivamente. A combinação de duas espécies é vantajosa para sistemas conservacionistas, uma vez que leguminosas fixam N_2 atmosférico e beneficiam a gramínea ao fornecer N, favorecendo o desenvolvimento (FAGERIA; BALIGAR, 2005).

A fitomassa de crotalária em SPDH10 apresentou decréscimo para carbono, com $t_{1/2}$ médio de 102 dias. Esta variável foi de 121 dias para capim doce e 106 dias para o consórcio

entre milho e mucuna em SPDH10. Já em SPDH20 o $t_{1/2}$ para crotalária foi de 121 dias, o capim doce foi 113 dias e milho e mucuna de 71 dias (Figura 19).

Figura 19 - Teor de carbono na palhada em SPDH10 e SPDH20 disposta na superfície de um Cambissolo Háplico



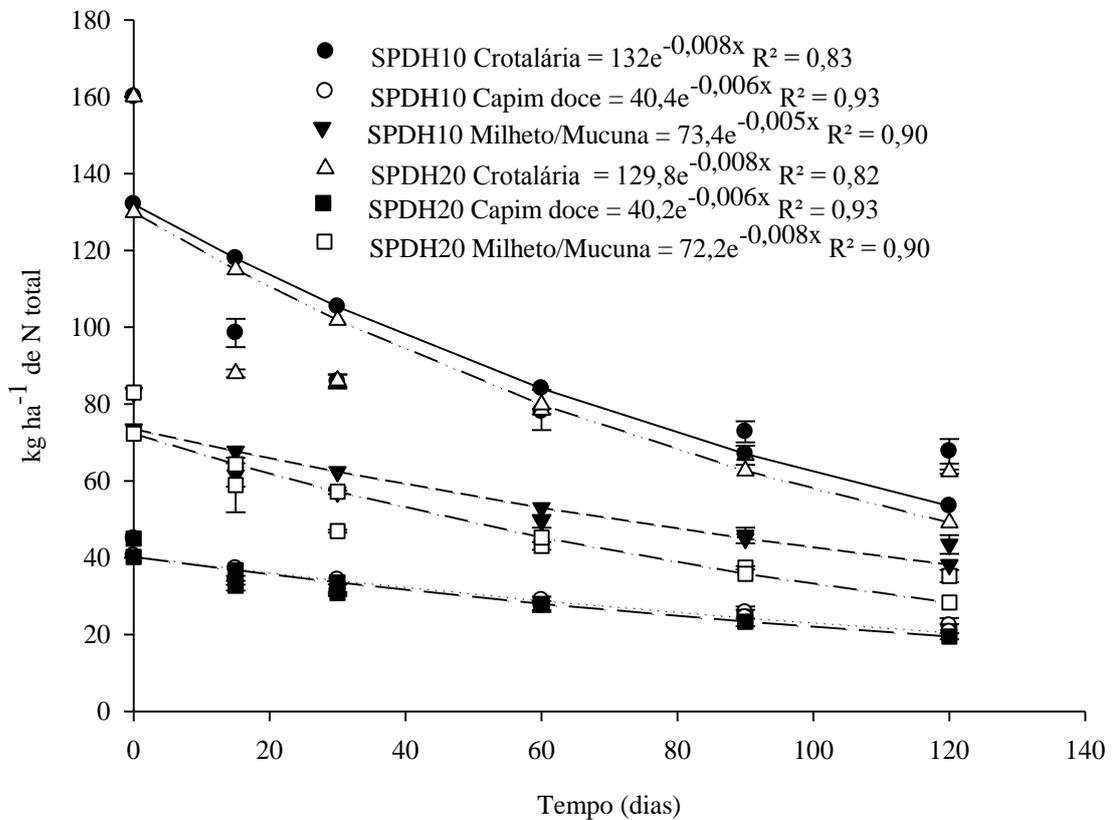
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A liberação de N ao longo do período de 120 dias de crotalária, capim doce e milho e mucuna foi de 50%, 62% e 62%, respectivamente em SPDH10 e de 47%, 60% e 52%, respectivamente em SPDH20 apresentando a menor variação do início do ciclo de cultivo até o fim.

O N apresentou maior redução nos tratamentos com crotalária em SPDH10 e SPDH20. A liberação de N a partir do capim doce e do consórcio entre milho e mucuna foi menos intensa.

O $t_{1/2}$ para N na crotalária foi de 57 dias, no capim doce foi de 82 dias e no consórcio entre milho e mucuna foi de 80 dias em SPDH10. Já em SPDH20 o $t_{1/2}$ para crotalária foi de 53 dias, para capim doce foi de 76 dias e para milho e mucuna foi de 60 dias (Figura 20).

Figura 20 - Teor de nitrogênio na palhada em SPDH10 e SPDH20 aplicada na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A decomposição de crotalária em relação a MS demonstrou-se positiva em relação ao N, e diferentemente ocorrido com o C, e segundo Gama-Rodrigues *et al.* (2007); Giongo *et al.* (2011), a correlação entre C e N é positiva com a taxa de decomposição da MS, sendo possível determinar que a liberação de nutrientes é acompanhada a perda de massa.

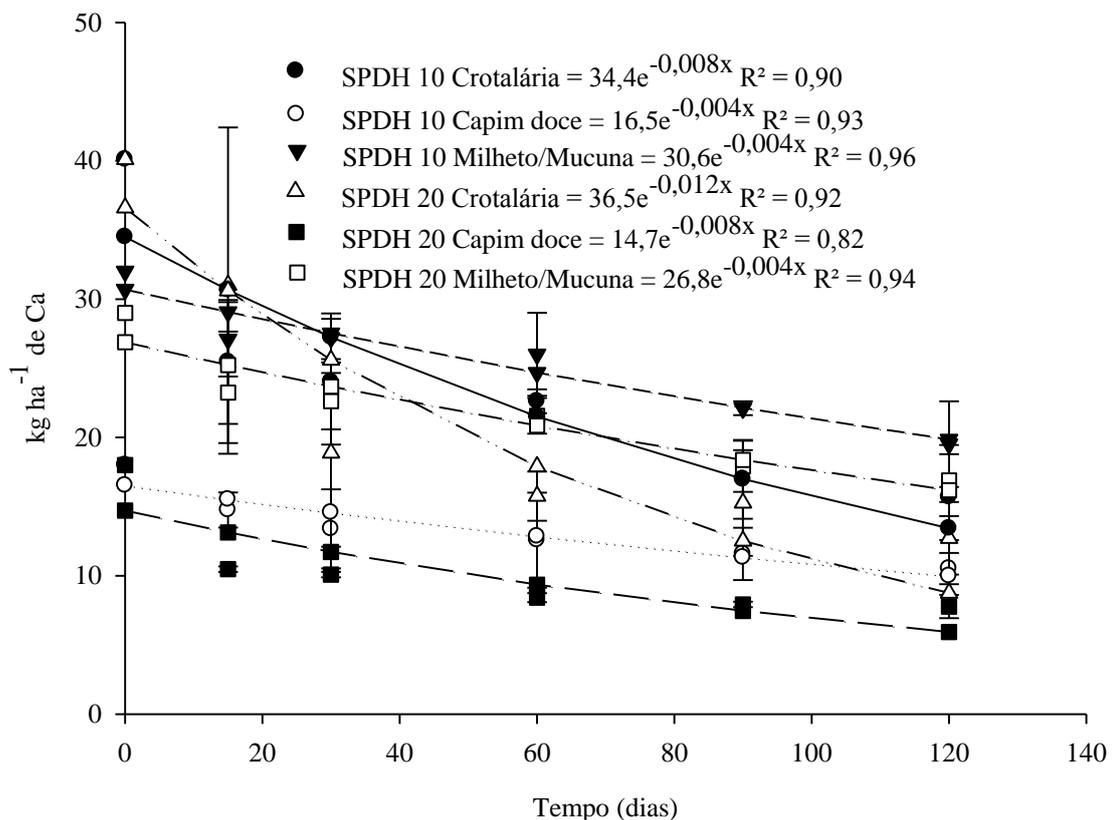
Destaca-se o N como elemento fundamental para o desenvolvimento e produção de culturas. Neste sentido Pantoja *et al.* (2016) em pesquisa realizada com centeio, relatam que o N presente no solo em manejo conservacionista pode ser importante para o suprimento de nutrientes para os cultivos.

Talgre *et al.* (2014) relatam que o fornecimento de N a partir do adubo verde pode trazer benefícios diretos as culturas, principalmente em áreas que possuem baixo teor de MO, onde os rendimentos das culturas subsequentes podem ser incrementados (Talgre *et al.*, 2012), e utilizados para reduzir a necessidade de adubação nitrogenada das plantas no SPDH.

A liberação de Ca com o uso de leguminosa (crotalária) foi distinta no SPDH10 e SPDH20, o $t_{1/2}$ médio foi de 60 dias e 39% do Ca foi liberado em SPDH10 até os 120 dias de cultivo. Em SPDH20 o $t_{1/2}$ foi de 50 dias com 31% do Ca liberado aos 120 dias.

O capim doce teve decomposição de 58% no SPDH10 e o $t_{1/2}$ médio foi de 93 dias até o fim do ciclo da cebola. O SPDH20 teve 43% do Ca liberado até o fim do ciclo, com $t_{1/2}$ médio de 66 dias. No consórcio a decomposição atingiu em SPDH10 aos 120 dias 60% e o $t_{1/2}$ médio foi de 145 dias, em SPDH20 52% do Ca foi liberado aos 120 dias e o $t_{1/2}$ médio foi de 87 dias (Figura 21).

Figura 21 - Teor de cálcio na palhada em SPDH10 e SPDH20 aplicada em superfície em um Cambissolo Háplico



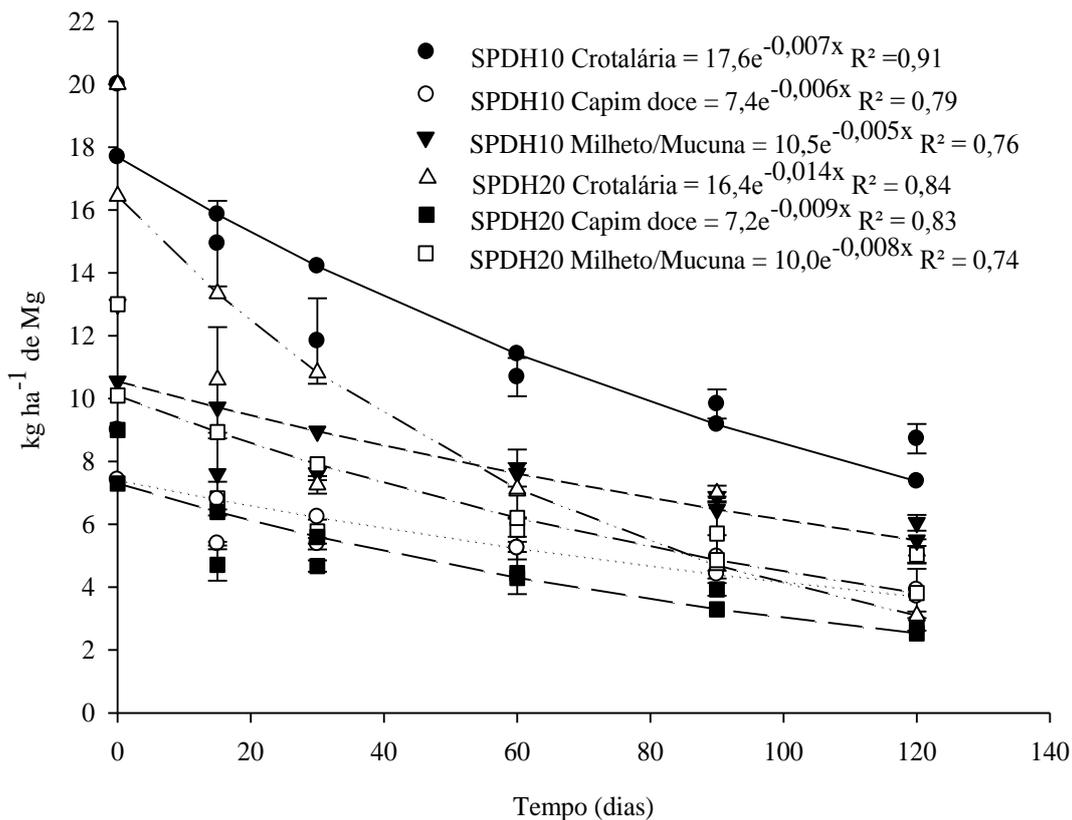
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em pesquisa realizada com várias composições de espécies, Giongo *et al.* (2011) relatam que o Ca apresentou resultados distintos na composição de coquetéis, ocorrendo maior proporção em espécies não leguminosas, onde ocorreu maior liberação deste nutriente. Este resultado é semelhante com o ocorrido nesta pesquisa, em que os valores apresentados pelo

capim doce foram semelhantes em relação aos do consórcio de milho e mucuna. Além disso, este nutriente teve maior acúmulo na camada superficial do solo, o que foi relacionado com a ausência de preparo de solo no SPDH em relação ao SPC.

A liberação de Mg na crotalária atingiu em SPDH10 43% e o $t_{1/2}$ foi de 69 dias e em SPDH20 25% e o $t_{1/2}$ foi de 40 dias ao fim do ciclo da cebola. O teor remanescente do capim doce em SPDH10 atingiu 41% e o $t_{1/2}$ foi de 67 dias e 31%, com $t_{1/2}$ de 50 dias em SPDH20, já com a utilização de consórcio de leguminosa e gramínea no fim do ciclo de produção em SPDH10 atingiu 46% e o $t_{1/2}$ foi de 70 dias, e 38% e o $t_{1/2}$ foi de 51 dias em SPDH20 (Figura 22).

Figura 22: Teor de magnésio na palhada em SPDH10 e SPDH20 aplicada na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Giongo *et al.* (2011) relatam que o Mg é liberado de forma diferente em relação a outros elementos, ocorrendo maior liberação em consórcio com espécies não leguminosas, mas a concentração deste elemento no solo é dependente da época de acamamento da fitomassa de

cobertura, sendo em muitas vezes, disponibilizado o Mg em período fora da alta demanda nutricional (BENITES *et al.*, 2010).

A quantidade remanescente de K aos 120 dias com a fitomassa de crotalária chegou a 52% total com $t_{1/2}$ de 73 dias no SPDH10. Já no SPDH20 aos 120 dias de cultivo o teor remanescente de K chegou a 46% com $t_{1/2}$ de 72 dias no cultivo com crotalária.

Vale destacar que no capim doce o teor remanescente de K aos 120 dias atingiu 47% e $t_{1/2}$ médio de 78 dias em SPDH10. Já no SPDH 20 no fim do ciclo de cebola o teor remanescente foi 31% com $t_{1/2}$ de 64 dias. No consórcio com milho e mucuna aos 120 dias atingiu 31% com $t_{1/2}$ médio de 65 dias em SPDH10, em SPDH20 ao fim do ciclo o teor remanescente foi 48% com $t_{1/2}$ médio de 60 dias.

Kurtz *et al.* (2016) em trabalho realizado com a cultivar Bola Precoce em Ituporanga, SC, relatam que o K é o segundo nutriente mais absorvido pela espécie, e que 87% de todo K absorvido ocorre na fase de bulbificação, em torno de 60 dias após o transplante (Fayad *et al.*, 2018) com resultados neste experimento, aos 60 dias em SPDH10 as fitomassas de cobertura já haviam mineralizado 37%, 47% e 36% para crotalária, capim doce e milho/mucuna, respectivamente. Já em SPDH20 foram 50%, 60% e 42 para crotalária, capim doce e milho/mucuna, respectivamente.

O K é um nutriente pouco estável no solo, por ser monovalente e ter raio iônico hidratado maior que outros elementos (Benites *et al.*, 2010) e por ser um elemento não estrutural, com rápida liberação para o solo (Taiz; Zieger, 2009), as perdas por lixiviação são recorrentes, um indício deste fenômeno é a baixa quantidade remanescente de K presente no capim doce e no consórcio entre milho e mucuna.

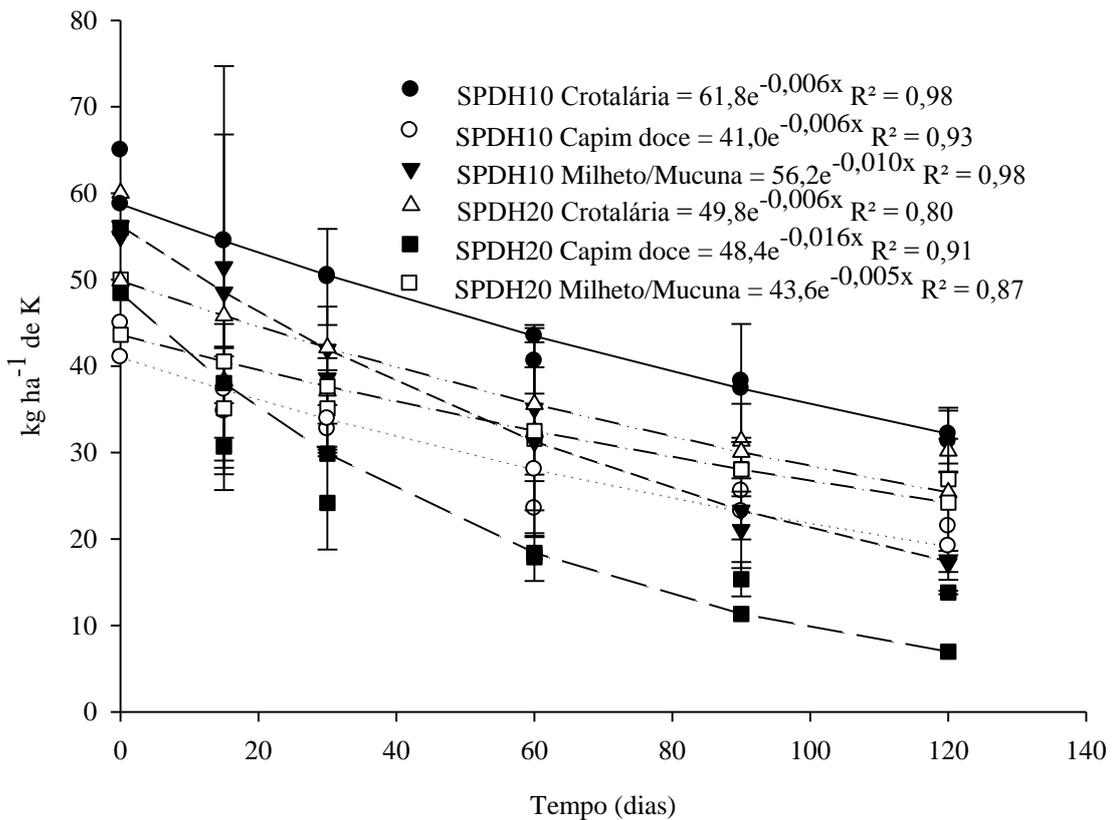
A não aplicação de K poderá causar o esgotamento por lixiviação, mesmo em solos com média a alta capacidade de troca de cátions (Ernani *et al.*, 2007), especialmente em períodos muito chuvosos. Por outro lado, Talgre *et al.* (2014) relatam maior permanência deste elemento no solo, estimando que 89% de todo o K contido na fitomassa de cobertura utilizando leguminosas foi liberado ao longo do período de 6 meses.

De uma maneira geral, o K possui uma mobilidade vertical, e seus níveis são incrementados conforme o aumento da quantidade de fitomassa aplicada na superfície do solo, chegando até a 30 cm de profundidade (Brito *et al.*, 2014), porém a fitomassa de cobertura não contribui significativamente para o aumento em K, por ser um elemento propenso a lixiviação, mas também indicando ser necessário um período maior de observação, além dos 120 dias.

A sua forma prontamente disponível é o K trocável, e a não trocável é a reserva que poderá ser utilizada a medida que o K trocável diminui (Oliveira *et al.*, 2017) e devido a

problemas de lixiviação, o K possui recomendação de incorporação, e irá formar o gradiente no perfil só o K que estiver na solução do solo, sendo um elemento influenciado diretamente pelo pH e aumento das cargas elétricas negativas (Ernani, 2016) (Figura 23).

Figura 23 - Teor de potássio na palhada em SPDH10 e SPDH20 aplicada em superfície em um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A liberação de P ao longo do período de 120 dias pelas coberturas de crotalária, capim doce e o consórcio entre milheto e mucuna foram 54% e t $\frac{1}{2}$ de 87 dias, 72% e t $\frac{1}{2}$ de 112 dias e 71% e t $\frac{1}{2}$ de 100 dias respectivamente em SPDH10, e de 54% com t $\frac{1}{2}$ de 82 dias, 73% e t $\frac{1}{2}$ de 158 dias e 73% com t $\frac{1}{2}$ de 144 dias respectivamente em SPDH20.

Com resultados obtidos neste experimento, aos 60 dias onde a demanda por P é maior, em SPDH10, as fitomassas de cobertura já haviam liberado 43%, 22% e 23% de crotalária, capim doce e milheto/mucuna, respectivamente. Já em SPDH20 foram 40%, 22% e 16 de crotalária, capim doce e milheto/mucuna, respectivamente.

Kurtz *et al.* (2016) relatam em pesquisa realizada com a cultivar Bola Precoce em Ituporanga, SC, que o P foi o quarto elemento mais absorvido pela cebola, e que 83% de todo o P absorvido se concentra no período de bulbificação da cultura, em torno dos 60 dias após o transplante (Fayad *et al.*, 2018).

A utilização de plantas de cobertura para o fornecimento de P demonstra ser uma alternativa interessante para o suprimento deste elemento, porém a concentração ocorre em época diferente da maior demanda nutricional, e é possível verificar a ocorrência de um certo desbalanço que poderia causar na lavoura comercial se caso o produtor optasse por somente utilizar a adubação verde como fonte de nutrientes.

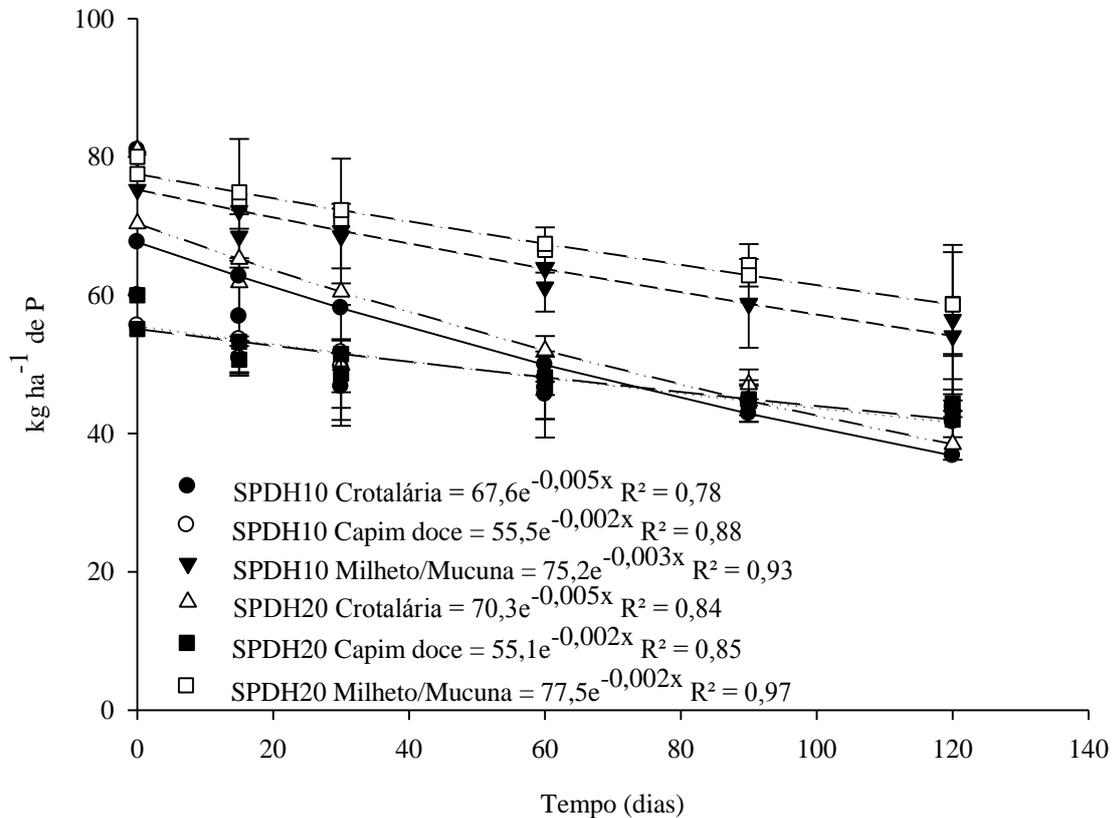
Por ser um elemento pouco móvel no solo, destaca-se a importância de ocorrer níveis adequados nas camadas inferiores, o que aumenta a eficiência de uso da água e o rendimento da cultura. Este comportamento de P demonstra que é necessário mais tempo para a liberação deste nutriente, conforme afirmado por Giongo *et al.* (2011) não somente pela fitomassa de cobertura, mas sim na construção do perfil de P, com a rizosfera e a cada ciclo de rotação de culturas.

Em pesquisa realizada em Ituporanga, SC, Oliveira *et al.* (2017) afirmam que a utilização de cobertura de solo com plantio solteiro de gramínea promove maior mineralização de P no início da deposição e estabiliza aos 45 dias. Já a utilização de outras espécies de cobertura ocasionou maior mineralização de P 45 dias após a deposição.

Uma tendência demonstrada neste experimento, em relação ao capim doce, foi maior liberação de P até os primeiros 60 dias e estabilização após este período em SPDH10 e SPDH20 apresentando $t_{1/2}$ de 238 e 274 dias, diferente da fitomassa de crotalária, que apresentou liberação deste nutriente mais intensa nos primeiros 15 dias.

Mas para que o P se torne disponível para as plantas, a liberação irá depender de certos fatores como a quantidade acumulada no tecido e também o tipo de resíduo utilizado, sendo disponibilizado na forma mais rápida na fração inorgânica solúvel (Souza *et al.*, 2013; Santos; Meurer, 2018; Oliveira *et al.*, 2017; Loss *et al.*, 2020) e é o que pode ter ocorrido com a leguminosa (crotalária) (Figura 24).

Figura 24 - Teor de fósforo na palhada em SPDH10 e SPDH20 aplicada na superfície de um Cambissolo Háplico



Ainda Oliveira *et al.* (2017) relatam que a liberação de P da fitomassa é influenciada pela composição de material vegetal, onde a utilização de várias espécies, como rabanete, centeio e aveia apresentam maior liberação após os 45 dias, diferentemente do ocorrido com a aveia solteira, ocorrendo maior acúmulo de P na fração solúvel de P inorgânico.

A liberação de nutrientes variou conforme o período de coleta da fitomassa, sendo diferente conforme a fitomassa utilizada (Figura 18). As variações apresentadas entre os dois solos estudados (10 e 20 anos de SPDH), demonstraram comportamentos distintos, a fitomassa de cobertura utilizando a crotalária apresentou maior decomposição no início do experimento, apresentando uma média de $t_{1/2}$ em SPDH10 de 32 dias e em SPDH20 de 25 dias, porém não apresentando uma cobertura de solo com maior tempo de permanência.

Diferente do consórcio utilizado com milho e mucuna que também apresentou maior liberação de nutrientes no início do experimento, porém em uma taxa inferior ao cultivo solteiro

de crotalária, diminuindo com o passar do tempo, apresentando um $t_{1/2}$ maior 50 e 52 dias de massa seca em SPDH10 e SPDH20, respectivamente.

Já a fitomassa de capim doce, no geral, apresentou variações menores em relação as outras coberturas estudadas, em média um $t_{1/2}$ para MS de 224 e 192 dias. Esses valores são considerados altos, demonstrando maior tempo de permanência, superior aos demais tratamentos, sendo uma espécie interessante na utilização em sistemas que preconizam a rotação de culturas por apresentar alta relação C/N.

A liberação de cálcio (Ca) foi mais lenta, diminuindo o teor ao longo do tempo, com $t_{1/2}$ alto.

A liberação de Ca, ocorreu mais intensamente até a primeira metade do experimento, sendo a crotalária e o consórcio entre milho e mucuna as coberturas que mais contribuíram (Figura 21) para os níveis de Ca em SPDH10.

Em relação as comparações (tabela 6) é possível verificar que houve contribuição de Ca em 15 e 30 dias na camada de 0-5 cm para a fitomassa com crotalária e capim doce em SPDH10, e em 5-12,5 cm para a cobertura utilizada com capim doce em SPDH10, exercendo efeito significativo em relação ao teor inicial deste nutriente no solo (Tabela 7).

Tabela 7 - Teor de cálcio em Cambissolo Háplico com cultivo de cebola em diferentes épocas após aplicação de fitomassa na superfície

Camada (cm)	Área/Manejo	Período (dias)	Crotalária	Capim doce	Milheto/Mucuna
			-----cmol _c dm ⁻³ -----		
0-5	SPDH 10	15	19,1 a	17,1 a	15,5 b
0-5	SPDH 20	15	12,8 b	13,1 b	13,6 b
5-12,5	SPDH 10	15	11,1 b	14,5 a	10,2 b
5-12,5	SPDH 20	15	10,1 b	10,2 b	9,5 b
12,5-20	SPDH 10	15	8,9 a	6,4 a	2,6 b
12,5-20	SPDH 20	15	8,6 a	8,0 a	7,7 a
0-5	SPDH 10	30	23,4 a	14,4 b	16,1 b
0-5	SPDH 20	30	13,5 b	11,2 b	12,0 b
5-12,5	SPDH 10	30	19,1 a	9,2 b	12,6 ab
5-12,5	SPDH 20	30	10,8 ab	8,7 b	9,8 b
12,5-20	SPDH 10	30	3,6 b	3,8 b	2,7 b
12,5-20	SPDH 20	30	7,6 a	7,3 b	6,8 b
0-5	SPDH 10	60	18,2 a	13,5 b	17,7 a
0-5	SPDH 20	60	14,1 b	14,0 b	13,6 b
5-12,5	SPDH 10	60	15,7 a	13,4 b	15,5 a
5-12,5	SPDH 20	60	12,0 c	10,3 c	9,9 c
12,5-20	SPDH 10	60	5,7 a	4,7 a	6,9 a
12,5-20	SPDH 20	60	8,1 a	7,3 a	7,7 a
0-5	SPDH 10	90	23,4 a	19,2 b	16,9 b
0-5	SPDH 20	90	7,1 d	11,9 b	12,7 c
5-12,5	SPDH 10	90	9,5 ab	13,4 a	13,3 a
5-12,5	SPDH 20	90	5,4 b	11,0 a	10,2 ab
12,5-20	SPDH 10	90	3,5 a	4,3 a	5,1 a
12,5-20	SPDH 20	90	4,3 a	6,9 a	7,4 a
0-5	SPDH 10	120	18,3 a	13,4 bc	15,6 ab
0-5	SPDH 20	120	11,2 c	14,4 bc	13,0 bc
5-12,5	SPDH 10	120	12,6 a	10,9 ab	11,9 ab
5-12,5	SPDH 20	120	8,7 b	9,0 ab	9,6 ab
12,5-20	SPDH 10	120	4,9 ab	5,7 ab	4,7 ab
12,5-20	SPDH 20	120	5,8 ab	5,8 ab	7,4 a

Nota: Comparação de médias entre as coberturas na mesma profundidade, e no mesmo período de incubação (decomposição da fitomassa) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ainda, é possível observar conforme a CQFS-RS/SC (2016), o teor de Ca demonstra estar em nível alto, principalmente nos primeiros 5 cm, e apresentando algumas exceções de níveis mediano na camada de 12,5-20 cm.

Os teores de Ca foram maiores aos 120 dias, como no caso no consórcio de milho e mucuna, que pode ser explicado pela sua lenta liberação, por estar ligado na lamela média da parede celular (Taiz; Zeiger, 2009), o que resultou em $t_{1/2}$ de 145 e 114 dias em SPDH10 e SPDH20, respectivamente.

A maior liberação de Mg foi obtida pela crotalária em SPDH10 aos 15 dias (Tabela 8) com efeito positivo nos teores do solo na camada de 5-12,5 cm com a fitomassa capim doce,

apresentando resultados superiores à camada superficial do solo (0-5 cm) e isso pode ser explicado devido ao tempo de meia vida do Mg ser baixo, contribuindo assim para o aumento no teor desse elemento na camada de 5-12,5 cm.

Tabela 8 – Teor de magnésio em Cambissolo Háplico com cultivo de cebola em diferentes épocas após aplicação de fitomassa na superfície

Camada (cm)	Área/Manejo	Período (dias)	Crotalária	Capim doce	Milheto/Mucuna
			-----cmol _c dm ⁻³ -----		
0-5	SPDH 10	15	5,9 a	5,2 b	5,3 b
0-5	SPDH 20	15	3,3 c	2,1 d	2,0 d
5-12,5	SPDH 10	15	4,7 b	4,9 a	5,4 a
5-12,5	SPDH 20	15	2,6 c	1,6 d	1,0 e
12,5-20	SPDH 10	15	4,2 a	4,0 a	3,9 a
12,5-20	SPDH 20	15	2,1 b	1,2 b	1,3 b
0-5	SPDH 10	30	5,9 a	5,7 a	5,5 a
0-5	SPDH 20	30	3,2 b	1,6 c	1,7 c
5-12,5	SPDH 10	30	6,0 a	4,8 ab	5,5 ab
5-12,5	SPDH 20	30	2,6 c	0,9 d	1,3 cd
12,5-20	SPDH 10	30	3,3 a	3,1 a	3,8 a
12,5-20	SPDH 20	30	2,5 b	0,9 c	1,2 bc
0-5	SPDH 10	60	3,7 ab	5,7 a	5,5 a
0-5	SPDH 20	60	3,7 ab	1,9 b	2,2 b
5-12,5	SPDH 10	60	5,4 a	5,4 a	5,4 a
5-12,5	SPDH 20	60	2,8 b	1,1 c	1,4 bc
12,5-20	SPDH 10	60	3,8 ab	4,5 a	4,5 a
12,5-20	SPDH 20	60	2,0 bc	1,0 d	1,2 cd
0-5	SPDH 10	90	6,4 a	6,1 ab	5,4 ab
0-5	SPDH 20	90	2,0 b	2,0 b	2,0 b
5-12,5	SPDH 10	90	4,8 a	6,1 a	5,1 a
5-12,5	SPDH 20	90	1,0 b	1,5 b	1,4 b
12,5-20	SPDH 10	90	3,1 a	3,4 a	3,0 a
12,5-20	SPDH 20	90	0,9 c	1,1 bc	1,2 b
0-5	SPDH 10	120	5,1 a	5,3 a	5,6 a
0-5	SPDH 20	120	1,6 c	1,7 bc	2,0 b
5-12,5	SPDH 10	120	4,7 b	5,2 a	5,4 a
5-12,5	SPDH 20	120	1,1 d	1,1 d	1,3 c
12,5-20	SPDH 10	120	2,1 b	3,4 a	3,7 a
12,5-20	SPDH 20	120	0,9 d	0,9 d	1,1 c

Nota: Comparação de médias entre as coberturas na mesma profundidade, e no mesmo período de incubação (decomposição da fitomassa) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Porém é possível observar conforme a tabela 6, os níveis de Mg se mantiveram estáveis ou inferiores em relação ao início do experimento, demonstrando que o uso somente da fitomassa de cobertura do solo não aumenta substancialmente o Mg. Conforme critérios da CQFS-RS/SC (2016), os níveis de Mg demonstraram níveis altos em todas as camadas, com alguns valores pontuais em níveis médios na camada de 12,5-20 cm.

A liberação de K a partir da cobertura do solo foi mais pronunciada nos primeiros 60 dias em todos os tratamentos estudados, indicando que a cobertura não influencia diretamente no aumento de K do solo, mas sim na sua manutenção.

O movimento no solo de K é dependente da capacidade de troca de cátions (CTC) e a relação com outros íons (Tisdale *et al.*, 1985), a liberação de K demonstrou ser bastante peculiar, devendo ser considerado que o K é um elemento estrutural, a liberação deste nutriente ocorre mais facilmente por ação da chuva e umidade do solo, e segundo Talgre *et al.* (2014) o K contido na fitomassa de leguminosas é liberado no período de 6 meses, fato este que pode explicar os níveis de K encontrados na tabela 9, com a fitomassa de crotalária.

Os valores de K interpretados conforme a CQFS-RS/SC (2016) foram médios a altos na camada de 0-5 cm com baixa concentração e redução dos níveis de K em 5-12,5 e 12,5-20 cm.

Tabela 9 - Teor de potássio em Cambissolo Háplico com cultivo de cebola em diferentes épocas após aplicação de fitomassa na superfície

Camada (cm)	Tratamento	Período (dias)	Crotalária	Capim doce	Milheto/Mucuna
			-----mg dm ⁻³ -----		
0-5	SPDH 10	15	188 a	171 a	226 a
0-5	SPDH 20	15	234 a	210 a	183 a
5-12,5	SPDH 10	15	72 a	106 a	109 a
5-12,5	SPDH 20	15	76 a	113 a	97 a
12,5-20	SPDH 10	15	59 ab	60 ab	92 a
12,5-20	SPDH 20	15	97 a	68 ab	52 ab
0-5	SPDH 10	30	146 a	138 a	133 a
0-5	SPDH 20	30	179 a	144 a	145 a
5-12,5	SPDH 10	30	102 a	118 a	78 a
5-12,5	SPDH 20	30	64 a	98 a	88 a
12,5-20	SPDH 10	30	25 b	62 a	46 a
12,5-20	SPDH 20	30	64,2 a	60 ab	60 a
0-5	SPDH 10	60	175 b	149 b	66 c
0-5	SPDH 20	60	275 a	226 a	233 a
5-12,5	SPDH 10	60	70 b	93 a	32 c
5-12,5	SPDH 20	60	59 b	90 a	107 a
12,5-20	SPDH 10	60	53 b	57 b	21 c
12,5-20	SPDH 20	60	66 b	63 b	73 a
0-5	SPDH 10	90	21 d	188 bc	38 cd
0-5	SPDH 20	90	260 a	256 a	229 ab
5-12,5	SPDH 10	90	65 bc	81 b	23 c
5-12,5	SPDH 20	90	107 a	116 a	151 a
12,5-20	SPDH 10	90	54 bc	55 b	14 c
12,5-20	SPDH 20	90	118 a	65 a	66 a
0-5	SPDH 10	120	128 b	140 ab	25 c
0-5	SPDH 20	120	211 a	125 ab	130 ab
5-12,5	SPDH 10	120	50 bc	64 b	16 c
5-12,5	SPDH 20	120	94 a	78 ab	74 ab
12,5-20	SPDH 10	120	29 cd	51 bc	14 d
12,5-20	SPDH 20	120	66 a	74 bc	66 a

Nota: Comparação de médias entre as coberturas na mesma profundidade, e no mesmo período de incubação (decomposição da fitomassa) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Plantas de ciclo curto, como a cebola, poderiam utilizar muito pouco o K disponibilizado pelas plantas de cobertura, o qual seria mais aproveitado em plantas de ciclo longo, como cultivos perenes (Gatiboni *et al.*, 2020) mas em SPDH, pela ocorrência de rotação de culturas e ao longo do tempo as plantas acabam se beneficiando do K estrutural e não estrutural, inclusive plantas de ciclo curto, como a cebola.

Os teores de P do solo permaneceram estáveis nos primeiros 15 dias, na camada de 0-5 cm. Já na camada de 5-12,5 cm foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos com crotalária, capim doce e milho e mucuna nas camadas inferiores.

O P por ser um elemento pouco móvel, teve maior concentração na camada superficial do solo em todos os tratamentos em função do aporte superficial de cobertura, com variações conforme a fitomassa de cobertura e o período de decomposição.

Em relação ao teor inicial conforme a tabela 6, o P apresentado demonstrou aumento com a utilização de cobertura do solo, sendo observado efeitos em todas as camadas ao longo do período de pesquisa (Tabela 10).

Tabela 10 - Teor de fósforo em Cambissolo Háplico com cultivo de cebola em diferentes épocas após aplicação de fitomassa na superfície

Camada (cm)	Tratamento	Período (dias)	Crotalária	Capim doce	Milheto/Mucuna
			-----mg dm ⁻³ -----		
0-5	SPDH 10	15	79,1 a	67,8 a	52,1 a
0-5	SPDH 20	15	74,8 a	70,5 a	67,1 a
5-12,5	SPDH 10	15	29,1 a	36,6 a	18,4 b
5-12,5	SPDH 20	15	30,4 a	37,8 a	22,6 b
12,5-20	SPDH 10	15	10,8 b	13,3 ab	12,2 ab
12,5-20	SPDH 20	15	23,4 a	16,3 ab	8,1 b
0-5	SPDH 10	30	63,8 a	42,8 ab	48,0 b
0-5	SPDH 20	30	50,7 ab	64,2 a	56,6 ab
5-12,5	SPDH 10	30	38,7 a	32,4 a	17,4 b
5-12,5	SPDH 20	30	25,8 a	33,6 a	25,5 b
12,5-20	SPDH 10	30	12,0 a	4,7 b	7,6 b
12,5-20	SPDH 20	30	34,7 a	13,0 a	12,8 a
0-5	SPDH 10	60	80,4 a	39,5 a	71,9 a
0-5	SPDH 20	60	61,2 a	71,0 a	80,9 a
5-12,5	SPDH 10	60	21,3 b	36,8 a	18,5 b
5-12,5	SPDH 20	60	37,9 a	35,7 a	38,6 a
12,5-20	SPDH 10	60	21,0 a	11,8 b	10,1 b
12,5-20	SPDH 20	60	12,6 ab	13,6 ab	18,9 a
0-5	SPDH 10	90	70,1 abc	63,7 c	68,4 bc
0-5	SPDH 20	90	84,5 a	75,6 ab	76,0 ab
5-12,5	SPDH 10	90	20,4 bc	18,9 c	16,0 c
5-12,5	SPDH 20	90	37,5 b	40,6 a	51,1 a
12,5-20	SPDH 10	90	11,6 ab	13,7 a	10,5 ab
12,5-20	SPDH 20	90	11,2 ab	14,0 a	9,5 b
0-5	SPDH 10	120	70,4 a	56,7 ab	55,5 ab
0-5	SPDH 20	120	57,3 ab	53,7 ab	33,7 b
5-12,5	SPDH 10	120	21,2 b	17,0 b	20,1 b
5-12,5	SPDH 20	120	36,9 a	32,3 a	25,3 b
12,5-20	SPDH 10	120	10,5 c	11,6 c	7,0 d
12,5-20	SPDH 20	120	11,0 c	21,1 ab	25,4 a

Nota: Comparação de médias entre as coberturas na mesma profundidade, e no mesmo período de incubação (decomposição da fitomassa) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Oliveira *et al.* (2017) em pesquisa realizada com SPDH em Ituporanga, SC, relatam que a utilização de cobertura de solo com a utilização de fitomassa solteira, ocorreu maior liberação de P no início do experimento, ocorrendo estabilização aos 45 dias, já com a utilização de outras espécies de cobertura, possui a tendência de liberar o P 45 dias após o início da deposição.

Os teores de P interpretados conforme critérios da CQFS-RS/SC (2016) na classe de teor de argila, são altos a muito altos, com redução da concentração conforme o aumento de profundidade chegando a níveis em grande parte de muito baixo a baixo, e podem ser explicados pela pequena mobilidade deste nutriente no solo.

A maior liberação de N ocorreu pelo uso de crotalária em relação ao capim doce, e ao consórcio de milho e mucuna ao longo das avaliações, por apresentar relação C/N menor, disponibilizando mais rapidamente N ao cultivo.

Espécies com maior relação C/N, como o capim doce podem ocasionar imobilização pelos micro-organismos, que consomem o N liberado e assim, reduz temporariamente a disponibilidade do nutriente para as plantas.

Os teores de N na camada de 0-5 cm foram semelhantes entre os tratamentos. Na camada intermediária de 5-12,5 cm houve mais diferenças entre os tratamentos, sendo explicadas pelo efeito que a lixiviação proporciona, porém, não sendo evidente na camada mais inferior (12,5-20 cm).

A utilização do consórcio de milho e mucuna apresentou maior liberação de nutrientes nos primeiros dias e segundo Aita; Giacomini (2003) a liberação ocorre nos primeiros 15 dias, corroborando com os resultados obtidos.

Observando os resultados encontrados e o tempo que a cobertura ficou incubada, é possível afirmar que até a cultura teste atingir seu período produtivo, em geral alcançaram aproximadamente 50 % de liberação de N aos 120 dias na profundidade de 12,5-20 cm, como o capim doce (Tabela 11).

Tabela 11 - Teor de nitrogênio em Cambissolo Háplico com cultivo de cebola em diferentes épocas após aplicação de fitomassa na superfície

Camada (cm)	Tratamento	Período (dias)	Crotalária	Capim doce	Milheto/Mucuna
			-----g kg ⁻¹ -----		
0-5	SPDH 10	15	3,3 a	3,8 a	3,8 a
0-5	SPDH 20	15	3,9 a	3,8 a	4,0 a
5-12,5	SPDH 10	15	3,1 b	3,3 a	2,8 b
5-12,5	SPDH 20	15	2,7 b	2,7 b	2,9 b
12,5-20	SPDH 10	15	2,0 a	2,9 a	2,4 a
12,5-20	SPDH 20	15	2,6 a	2,1 a	2,5 a
0-5	SPDH 10	30	4,7 a	3,4 a	3,9 a
0-5	SPDH 20	30	2,3 a	3,5 a	3,0 a
5-12,5	SPDH 10	30	2,2 a	2,6 a	2,5 a
5-12,5	SPDH 20	30	2,0 a	2,0 a	2,0 a
12,5-20	SPDH 10	30	3,1 a	2,1 b	2,3 b
12,5-20	SPDH 20	30	1,9 b	2,1 b	2,0 b
0-5	SPDH 10	60	2,5 a	2,8 a	3,4 a
0-5	SPDH 20	60	3,2 a	3,8 a	3,1 a
5-12,5	SPDH 10	60	1,4 b	2,6 ab	2,9 a
5-12,5	SPDH 20	60	2,4 ab	3,3 a	2,0 ab
12,5-20	SPDH 10	60	2,4 a	1,8 a	2,2 a
12,5-20	SPDH 20	60	2,3 a	2,2 a	2,2 a
0-5	SPDH 10	90	2,92 a	3,0 a	2,8 a
0-5	SPDH 20	90	2,8 a	3,0 a	3,3 a
5-12,5	SPDH 10	90	2,7 a	2,4 a	2,3 a
5-12,5	SPDH 20	90	2,2 a	2,7 a	1,8 a
12,5-20	SPDH 10	90	1,2 a	2,2 a	2,4 a
12,5-20	SPDH 20	90	1,6 a	2,2 a	2,0 a
0-5	SPDH 10	120	3,0 ab	2,8 b	3,0 ab
0-5	SPDH 20	120	3,3 a	3,2 ab	2,9 ab
5-12,5	SPDH 10	120	2,1 ab	2,3 a	2,2 a
5-12,5	SPDH 20	120	2,0 bc	2,2 ab	1,7 c
12,5-20	SPDH 10	120	2,1 ab	2,3 a	2,1 ab
12,5-20	SPDH 20	120	2,1 ab	1,8 ab	1,6 b

Nota: Comparação de médias entre as coberturas na mesma profundidade, e no mesmo período de incubação (decomposição da fitomassa) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

3.4 CONCLUSÃO

A cobertura do solo com fitomassa de capim doce apresentou maior persistência e liberação mais lenta de nutrientes, conferindo proteção mais prolongada na superfície do solo em relação ao consórcio de gramínea e leguminosa, e leguminosa solteira que apresentou cobertura menos persistente, mas conferiu maior disponibilidade de N.

O aporte de nutrientes pela biomassa de cobertura manteve os teores de N total e no solo e incrementou os teores de Ca, o K e P variaram em função do aporte superficial de cobertura, conforme a fitomassa e o período de decomposição.

REFERÊNCIAS

- AITA, C. *et al.* Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, jan./mar. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100017>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832001000100017&script=sci_arttext. Acesso em: 10 mai. 2020.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400004>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 fev. 2020.
- AMBROSANO, E. J. *et al.* Adubação verde na agricultura orgânica. In: LIMA FILHO, O. F. O de. *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 45-80.
- BENITES, V. de M. *et al.*; O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira. In: BERNARDI, A.; DE OLIVEIRA, F. A. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. 2. ed. Piracicaba. INPI, 2010. p. 53-65. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Bernardi/publication/277328049_POTASSIO_CALCIO_E_MAGNESIO_NA_AGRICULTURA_BRASILEIRA_Potassim_calcium_and_magnesium_in_Brazilian_agriculture/links/5568511d08aec226830140d4/POTASSIO-CALCIO-E-MAGNESIO-NA-AGRICULTURA-BRASILEIRA-Potassim-calcium-and-magnesium-in-Brazilian-agriculture.pdf. Acesso em: 15 abr. 2020.
- BRENNAN, E. B.; BOYD, N. S. Winter cover crop seeding rate and variety affects during eight years of organic vegetables: I. Cover crop biomass production. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 3, p. 684-698, may. 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0330>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2011.0330>. Acesso em: 05 jun. 2020.
- BRITO, O. R. *et al.* The influence of crop residues in vertical soil mobility of potassium. **Ciências agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3043-3051, nov./dez. 2014. DOI:10.5433/1679-0359.2014v35n6p3043. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285973524_The_influence_of_crop_residues_in_vertical_soil_mobility_of_potassium. Acesso em: 10 dez. 2019.
- COLLINS, H. P. *et al.* Decomposition and interactions among wheat residue components. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 3, p. 780-785, may. 1990. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400030026x>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1990.03615995005400030026x>. Acesso em: 10 may. 2020.
- CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2016. 376p.
- CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/brag/v67n2/a24v67n2.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ERNANI, P. R. *et al.* Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-401, mar./abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000200022>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000200022&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 mar. 2020.
- ERNANI, P. R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2. ed. Lages: O Autor, 2016.

FAGERIA, N. K; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)88004-6. Disponível em: <http://europemc.org/article/AGR/IND43763836>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FAYAD, J. A. *et al.* **Sistema de Plantio direto de Hortaliças (SPDH) O cultivo da cebola**. Florianópolis: Epagri, 2018.

GAMA-RODRIGUES, A. C. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, nov./dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600019>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000600019&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 02 fev. 2020.

GATIBONI, L. C. *et al.* Use of exchangeable and nonexchangeable forms of calcium, magnesium, and potassium in soils without fertilization after successive cultivations with *Pinus taeda* in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 2, p. 665-674, feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02460-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-019-02460-x>. Acesso em: 15 set. 2020.

GATIBONI, L. C. *et al.* Establishing environmental soil phosphorus thresholds to decrease the risk of losses to water in soils from Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 44, p. e0200018, aug. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbc20200018>. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/article/establishing-environmental-soil-phosphorus-thresholds-to-decrease-the-risk-of-losses-to-water-in-soils-from-rio-grande-do-sul-brazil/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

GENTILE, R. *et al.* Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 131, n. 3-4, p. 308-314. 2009. DOI: [doi:10.1016/j.agee.2009.02.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.02.003). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880909000528>. Acesso em: 22 abr. 2020.

GIONGO, V. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611-618, jul/set, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902011000300006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 02 dez. 2019.

HANSEL, F. D. *et al.* Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 6, p. 2936-2944, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0202>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2017.04.0202>. Acesso em: 20 mai. 2020.

HEINZ, R. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, set. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000900010>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000900010&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 02 abr. 2020.

KURTZ, C. *et al.* Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34: n. 2, p. 279-288, abr./jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/hb.v34i2.620>. Disponível em: <http://editor.horticulturabrasileira.com.br/index.php/HB/article/view/620>. Acesso em: 10 ago. 2019.

LOSS, A. *et al.* Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, jul, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000401212&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 set. 2019.

LOSS, A. *et al.* Atributos físicos do solo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional em cultivo de cebola. **Revista Colombiana de Ciencias Horticolas**. v.11, n. 1, p.105-113, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_horticolas/article/view/6144. Acesso em: 10 ago. 2019.

LOSS, A. *et al.* Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola/Effect of crop succession or rotation on soil fertility after seven years of onion cultivation. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16587-16606, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-507>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8323/7182>. Acesso em: 20 jun. 2020.

LUCIANO, R. V. *et al.* Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 9-19, set. 2010. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5281/3491>. Acesso em: 15 mar. 2019.

MA, L. *et al.* 1999. Decomposition of surface crop residues in long-term studies of dryland agroecosystems. **Agronomy Journal**. **91**: 401– 409. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100030008x>, Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1999.00021962009100030008x>. Acesso em: 14 jul. 2020.

MARTINS, R. P., *et al.* Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Ceres**. Viçosa, v. 61, n. 4, jul./ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040020>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000400020&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 fev. 2020.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. UNESP. São Paulo. 2010. *E-book* (569 p.). Disponível em: http://www.outorga.com.br/pdf/Livro%2041%20-%20Historia_das_agriculturas_no%20mundo_Mazoyer_e_Roudart.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

MCDANIEL, M. D. *et al.* Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 243-254, nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071714002740?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jun. 2020.

OLIVEIRA, R. A. de *et al.* Release of Phosphorus Forms from Cover Residues in Agroecological No-Till Onion Production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160272>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832017000100502&lng=en&tlng=en. Acesso em: 15 mar. 2020.

PANACHUKI, E. *et al.* Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, set./out. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500032>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000500032&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 dez. 2019.

PANTOJA, J. *et al.* Winter Rye Cover Crop Biomass Production, Degradation, and Nitrogen Recycling. **Agronomy Journal Abstract**, Madison, v. 108, n. 2, mar. 2016. DOI: [doi:10.2134/agronj2015.0336](https://doi.org/10.2134/agronj2015.0336). Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2015.0336>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PARKIN, T. B.; KASPAR, T. C.; CAMBARDELLA, C. Oat plant effects on net nitrogen mineralization. **Plant and soil**, v. 243, n. 2, p. 187-195, jun, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1019949727575>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1019949727575>. Acesso em: 12 abr. 2020.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego, Academic Press, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.3620300622>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jobm.3620300622>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PERDIGAO, A. *et al.* Carbon and nitrogen mineralisation from green manures as alternative nitrogen sources in Mediterranean farming. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 11, feb. 2017. DOI:

<https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1294754>. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2017.1294754>. Acesso em: 15 mar. 2020.

ROBACER, M. *et al.* Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, v. 208, p. 104-110, aug, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.029>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815303514?via%3Dihub>. Acesso em: 01 dez. 2019.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 2, p. 185-194, mar./abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975008001092?via%3Dihub>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SANTOS, B. S. de A.; MEURER, N. V. F. Liberação de NPK por leguminosas e gramíneas – Análise comparativa. **Revista Pensar – BioUSU**, v. 4, p. 20-29, 2018. Disponível em:

http://revistapensar.com.br/biologia/pasta_upload/artigos/a158.pdf. Acesso em: 05 jan. 2020.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest ecology and management**, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, nov. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112700004230?via%3Dihub>. Acesso em: 11 jun. 2020.

SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L.; UNGER, P. W. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 2, p. 372-381, mar. 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800020019x>. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800020019x>. Acesso em: 11 jun. 2020.

SOKAL, R. R. Assumptions of analysis of variance. **Biometry**, p. 392-450, 1995.

SOUZA, M. *et al.* Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 21-27, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150> Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 02 dez. 2019.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 36, n. 3, p. 465-472, 1972. DOI: [doi:10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x](https://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x). Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x>. Acesso em: 12 jan. 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 849p.

TALGRE, L., *et al.* Green manure as a nutriente source for succeeding crops. **Plant soil Enviromental**, v. 58, n. 6, p. 275-281, 2012. Disponível em: https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/22_2012-PSE.pdf. Acesso em: 13 mar. 2020.

TALGRE, L. *et al.* Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 30, n. 4, p. 264-271, aug. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.953582>. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01448765.2014.953582>. Acesso em: 13 mar. 2020.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ufrgs, 1995.

THORPE, A. S., *et al.* Interactions among plants and evolution. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 3, p.729-740, feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01802.x>. Disponível em:

<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2745.2011.01802.x>. Acesso em: 29 abr. 2020.

TISDALE, S. L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers**. Collier Macmillan Publishers, 1985. Disponível em: 19851998321. Acesso em: 10 mar. 2020.

WANG, M.; MOORE, T. R. Carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium stoichiometry in an ombrotrophic peatland reflects plant functional type. **Ecosystems**, v. 17, n. 4, p. 673-684, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9752-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10021-014-9752-x>. Acesso em: 11 jun. 2020.

YOUNG, R. A.; WIERSMA, J. L. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resources Research**, v. 9, n. 6, p. 1629-1636, dez. 1973. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR009i006p01629>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR009i006p01629>. Acesso em: 28 abr. 2020.

4 CAPÍTULO 3: PALHA DE AVEIA PRETA NA COBERTURA DE SOLO EM CULTIVO DE CEBOLA SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA

RESUMO

A cobertura do solo pode melhorar atributos do solo e favorecer o desenvolvimento das culturas. O objetivo foi avaliar a fitomassa de aveia preta (*Avena strigosa* L.) como cobertura de solo em cultivo de cebola, associada à adubação de cobertura e restrição hídrica. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação em um fatorial 2x2x2x2x3, composto por cobertura do solo (com e sem cobertura); adubação (com e sem); restrição hídrica (com e sem), época de amostragem (30 e 60 dias após o plantio) e três repetições, avaliando a liberação de P, K, Ca, Mg e N a partir da fitomassa em três camadas, totalizando 48 vasos. Os resultados em cada camada foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5% e regressão, e teste de verossimilhança Scott-Knott para grupamentos. A fitomassa de aveia preta manteve os teores de Ca e Mg no solo, principalmente nos tratamentos de ocorrência com restrição hídrica. A liberação de K pela fitomassa foi rápida e houve mobilidade no solo. Os maiores suprimentos de nutrientes para cebola a partir da fitomassa de cobertura foram de N e P.

Palavras-chave: Manejo do solo. Plantio direto. Olericultura.

CHAPTER 3: BLACK OAT STRAW AS SOIL COVER IN ONION CULTIVATION UNDER WATER RESTRICTION

ABSTRACT

Soil cover can improve soil properties and positively affect crop development. The objective was to evaluate black oats (*Avena strigosa* L.) phytomass as soil cover in onion cultivation, associated with topdressing fertilization and water restriction. The study was carried out in greenhouse conditions with a 2x2x2x2x3 factorial, composed of soil cover (with and without cover); fertilization (with and without); water restriction (with and without), sampling time (30 and 60 days after planting) and three replications, evaluating P, K, Ca, Mg and N release from phytomass in three soil layers, totaling 48 pots. The results obtained by layer were subjected to the Bartlett homogeneity test of variances and the 5% Shapiro-Wilk normality test and regression, and the Scott-Knott likelihood test for groups. Black oats phytomass maintained soil Ca and Mg concentrations, especially in treatments with water restriction. K release from phytomass was rapid and there was its mobility in the soil. The more effective nutrient supplies to onion from cover crop were of N and P.

Keywords: Soil management. No-tillage. Olericulture.

4.1 INTRODUÇÃO

A formação do solo é um processo lento (Amundson *et al.*, 2015) e os impactos atuais ocorridos pelo intenso manejo comprometem a conservação, interferindo nos sistemas produtivos e causando sua degradação. Para a manutenção de altos níveis produtivos, a saúde do solo é fundamental.

O manejo adequado do solo na cultura da cebola é fundamental. Esta cultura tem grande destaque no estado de SC, por ser produzida em unidades familiares, sendo o maior produtor nacional desta cultura (IBGE, 2017).

Entretanto, a maior parte do sistema de produção de cebola ainda é baseado no preparo convencional (PC) do solo, que resulta em baixa cobertura, e torna o terreno sujeito à erosão e degradação do solo, especialmente se realizado em áreas declivosas, sendo característico da região de maior produção em SC, a região do médio e alto Vale do Rio Itajaí.

O uso contínuo do PC pode reduzir a disponibilidade de nutrientes, degradar a matéria orgânica e diminuir a disponibilidade de água no solo (Comin *et al.*, 2018), com efeitos negativos na produtividade das culturas.

Como alternativa de manejo, a adoção do sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH), surgiu como uma forma de transição para um sistema de manejo sustentável e tem foco na produção agroecológica (SOUZA *et al.*, 2013).

O cultivo de plantas de cobertura pode trazer benefícios ao solo com o aumento de MO, CTC e além de diminuir a incidência de plantas daninhas (Arrobas; Aguiar; Rodrigues, 2016). A utilização da cobertura é uma das bases de sustentação do SPDH, onde algumas espécies possuem características de modificação dos atributos químicos do solo de forma positiva e outras na melhoria e manutenção da qualidade física (LOSS *et al.*, 2015).

A cobertura do solo protege a superfície do terreno contra a energia da chuva e de escoamento, além de contribuir na disponibilidade de nutrientes e de carbono orgânico na camada superficial. A distribuição de nutrientes no perfil do solo é influenciada pela taxa de decomposição das plantas de cobertura, que podem ser concentrados na camada superficial principalmente os elementos pouco móveis, influenciada pelo não revolvimento do solo.

Esta pesquisa está ligada na hipótese que a aveia preta é capaz de melhorar os atributos químicos do solo, sendo espécie de importância para manutenção da cobertura, e fundamental pela reduzida quantidade de folhas presentes na cebola, sendo necessário a complementação com outras espécies em sistema de rotação de culturas.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento de aveia preta (*Avena strigosa*) na cobertura de solo incubado, em cultivo de cebola em diferentes épocas de desenvolvimento da espécie teste com a adoção de adubação de cobertura e restrição hídrica.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições controladas em casa de vegetação com uso de Cambissolo Háplico, de textura franco argilosa, coletado no município de Alfredo Wagner, SC, em local de produção comercial de cebola em SPDH com 20 anos, de coordenadas 27°42'01" S e W 49°20'01" a 820 m de altitude. A cobertura do solo foi coletada com auxílio de um quadro de 0,5 m², e foi equivalente a 4 Mg ha⁻¹ de MS.

As unidades experimentais foram tubos de PVC, com diâmetro de 150 mm, com 25 cm de altura, sendo utilizados 20 cm preenchidos com solo, divididos em três camadas de 0-5 cm (com amostras indeformadas de solo coletadas com anel volumétrico de 475 cm³), e em camadas de 5-12,5 cm e 12,5-20 cm com estrutura deformada, provenientes de área comercial de cebola com 20 anos de SPDH (Figura 25).

Figura 25 - Coleta de solo com anéis concêntricos na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo de comercial de cebola com 20 anos no município de Alfredo Wagner, SC

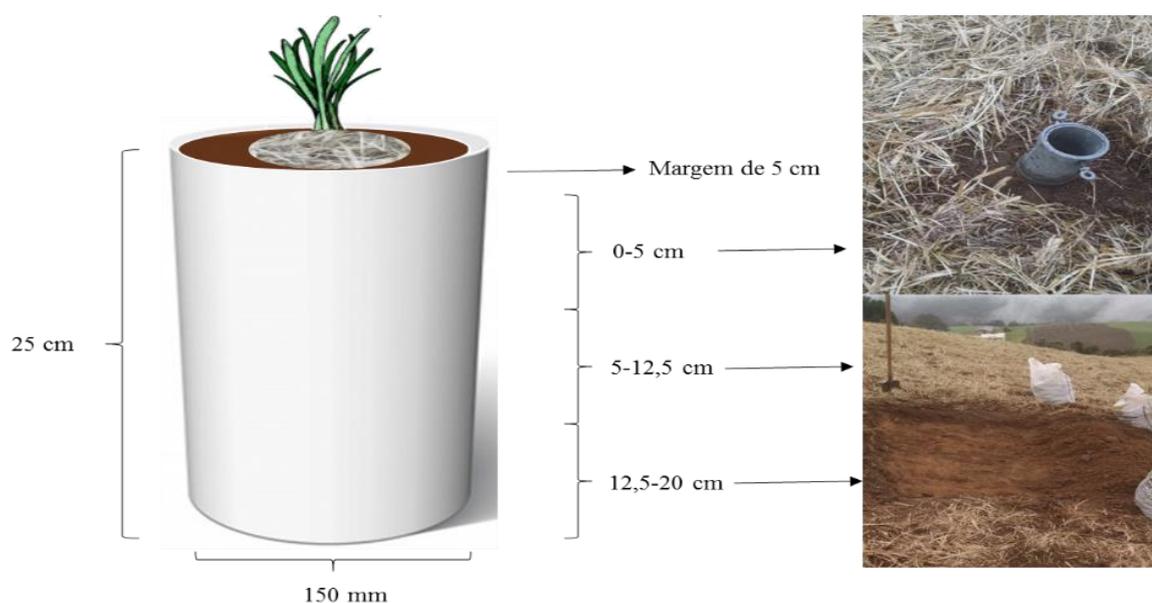


Fonte: O autor (2020).

Após o transporte o solo até o município de Lages, SC, o solo foi armazenado em casa de vegetação e utilizado bancadas para a acomodação do solo, distribuindo-o uniformemente e seco à sombra.

Após seco, o solo foi processado em moinho de martelo tamisado à 4 mm. No processo de montagem das colunas, foi utilizado densidade do solo de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 26).

Figura 26 - Coleta de solo de estrutura não preservada na camada de 0-5 cm, em Cambissolo Háplico em cultivo de comercial de cebola com 20 anos no município de Alfredo Wagner, SC



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Na porção inferior do tubo, foi utilizado areia grossa e brita para auxílio na drenagem, e logo em seguida procedeu-se a montagem dos tubos, da camada inferior para a superior. A porção inferior do tubo foi fechada com tule fixado com elástico e utilizado prato de plástico arredondado.

A palhada de aveia preta utilizada para cobertura de solo foi cortada em fragmentos de 5 a 10 cm, sendo coberta com tule fixado com elástico na parte superior para a manutenção da fitomassa de cobertura (Figura 27).

Figura 27 - Cultivo de cebola em Cambissolo Háplico com 20 anos de SPDH



Fonte: O autor (2020).

A fitomassa utilizada como cobertura de solo foi acondicionada em sacos de papel pardo, após a coleta de campo foi determinada a massa úmida (MU), e após secagem em 60°C por 72 horas, foi determinada a massa seca (MS).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado. Os tratamentos foram arranjos em fatorial 2x2x2x2x3 composto por: com e sem restrição hídrica, com e sem adubação, com e sem cobertura do solo, em duas épocas de coleta de 30 e 60 dias, com três repetições, totalizando 48 vasos.

A adubação utilizada foi equivalente a 100 kg N/ha, 120 kg P/ha e 90 kg de kg/ha aplicada 10 dias após a implantação do experimento, distribuída sobre o solo. A restrição hídrica quando adotada foi por 72 horas.

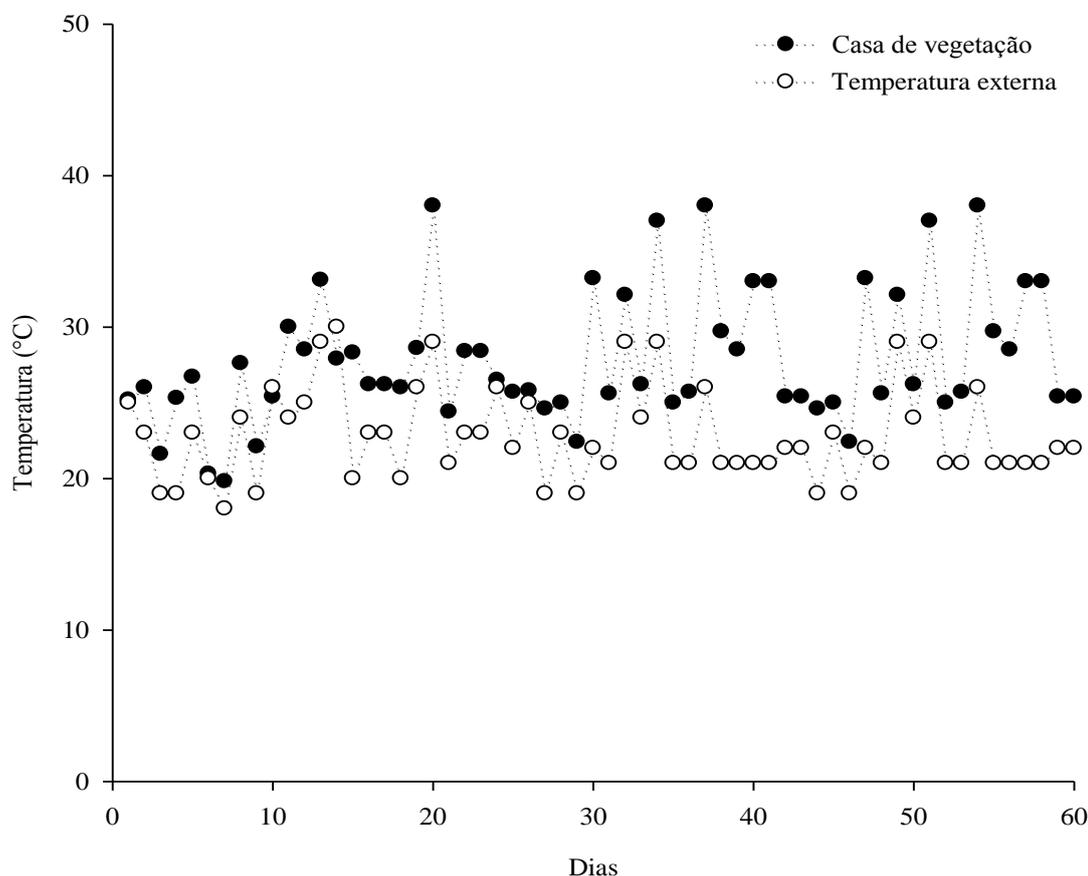
A quantidade de água a ser aplicada foi conforme a equação de Blaney; Criddle (1962) (equação 12) e utilizada o coeficiente da cultura (kc) para relacionar a evapotranspiração da cultura com a evapotranspiração de referência conforme o ciclo de desenvolvimento da espécie teste.

$$ETP = kc \cdot (0,24 + 0,0312 \cdot T) \cdot (0,813 + 0,457 \cdot T) \cdot p \quad (\text{eq.12})$$

O plantio de cebola (*Allium cepa* L.) cultivar Bola Precoce, foi realizado com mudas de 15 cm de altura, em 01 de novembro de 2018, com três plantas por vaso. O desbaste foi realizado 10 dias após o pegamento das mudas, mantendo a muda mais vigorosa. Durante o experimento

foi realizado o acompanhamento da temperatura externa e da casa de vegetação, conforme a figura 28.

Figura 28 - Temperatura média do ar durante o experimento



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A temperatura na casa de vegetação foi acompanhada pelo termômetro interno que regula o exaustor, e a temperatura externa foi acompanhada por dados fornecidos por aplicativo de telefone móvel.

A coleta de solo (Figura 29, a) e da fitomassa (Figura 29, b) de cobertura remanescente foi realizada em duas épocas, sendo o material seco em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 horas. O tecido vegetal seco foi moído em moinho tipo Willey® para posterior análise química, realizada conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

Para o controle de tripses (*Frankliniella schultzei*) foi utilizado óleo de neem em concentração de 0,005% em aplicações semanais, após o seu surgimento.

Figura 29 - Coleta de solo e fitomassa de cobertura, após cada período de avaliação da decomposição da fitomassa presente sobre o solo



Fonte: O autor (2019); CamStockPhoto (2018).

A decomposição dos resíduos vegetais e a liberação dos nutrientes, foi ajustada ao modelo exponencial, descrito por Stanford; Smith (1972) equação 13.

$$y = y_0 e^{-kt} \quad (\text{eq. 13})$$

Onde y é a quantidade de matéria seca ou nutriente remanescente após um período de tempo t , em dia; y_0 , é a quantidade inicial de matéria seca ou de nutriente; e k , a constante de decomposição do resíduo. Com o valor de k , foi calculado o tempo de meia-vida ($t_{1/2} = 0,693/k$) (Paul; Clark, 1989), que representa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada, e foi realizada análise de solo prévia, a instalação do experimento, conforme a tabela 12.

Tabela 12 - Teor inicial de nutrientes em Cambissolo Háptico em SPDH com 20 anos de SPDH

Profundidade (cm)	pH-H ₂ O	SMP	Ca	Mg	Al	COT	P	K	CTC
			(cmol _c dm ⁻³)			g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		pH 7,0
0-5	5,7	6,4	5,04	1,24	0,21	1,74	65,5	355	9,99
5-12,5	5,2	6,2	3,85	0,9	0,87	0,99	19	127	8,57
12,5-25,0	4,7	5,6	2,68	0,91	2,35	0,87	6	86	10,71

Nota: pH – H₂O: pH em água; SMP: pH SMP; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; COT: carbono orgânico total; P: fósforo; K: potássio.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Os resultados obtidos por período de decomposição, foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett de acordo com Sokal (1995), e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5% e regressão, e teste de verossimilhança Scott-Knott para grupamentos. Para a realização das análises, foram utilizados os programas Action e Sigmaplot 11.0.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aveia acondicionada em cobertura do solo somente recebendo a restrição hídrica (T1), apresentou menor decomposição, de 33% do total de massa aos 30 dias, apresentando um $t_{1/2}$ de 53 dias, sendo semelhante ao tratamento que recebeu a adubação e restrição hídrica de 72 horas (T3), que obteve 35% de decomposição aos 30 dias e 54% aos 60 dias.

A presença de palhada sem restrição hídrica e sem adubação (T0) teve biomassa remanescente de 46% aos 30 dias, com $t_{1/2}$ de 40 dias, e aos 60 dias um total de 40%, com $t_{1/2}$ de 56 dias.

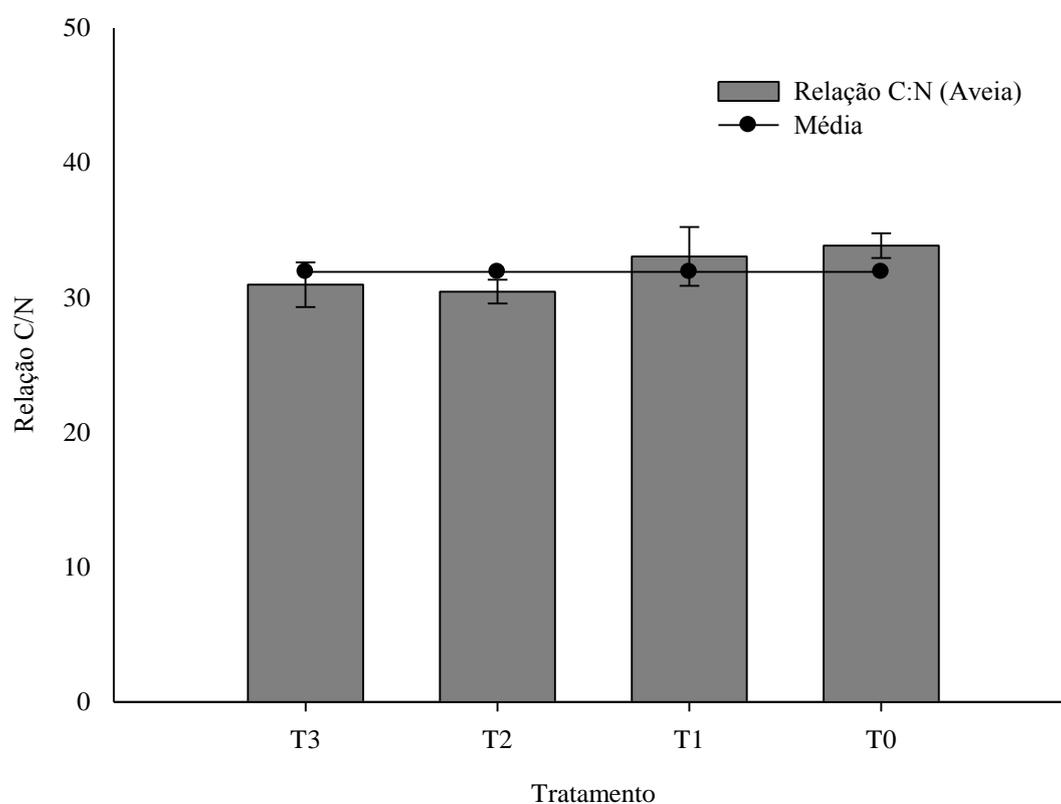
Já no tratamento com a utilização de adubação e sem restrição hídrica (T2), a redução da palhada de cobertura aos 30 dias chegou a 51%, cerca de 16% a mais que o tratamento que foi utilizado com a restrição hídrica, com $t_{1/2}$ de 35 dias.

A aveia preta apresentou relação C/N média de 31,9, com decomposição mais lenta em relação as leguminosas (MARTINS *et al.*, 2014).

Souza *et al.* (2013) em trabalho realizado em Ituporanga, avaliando a produção de cebola com a utilização de fitomassa de cobertura de aveia solteiro, relatam diferença significativa no desenvolvimento ao longo dos anos, por apresentar liberação mais lenta de nutrientes (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

Giacomini *et al.* (2003) relatam que a aveia utilizada em cobertura, atingiu relação C/N de 36,5, valores muito próximos a esta pesquisa (Figura 30) e corroboram com Heinrichs *et al.* (2001) demonstrando ser um importante aliado na determinação da disponibilidade de N para áreas que utilizam fitomassa de cobertura (NICOLARDOT; RECOUS; MARY, 2001)

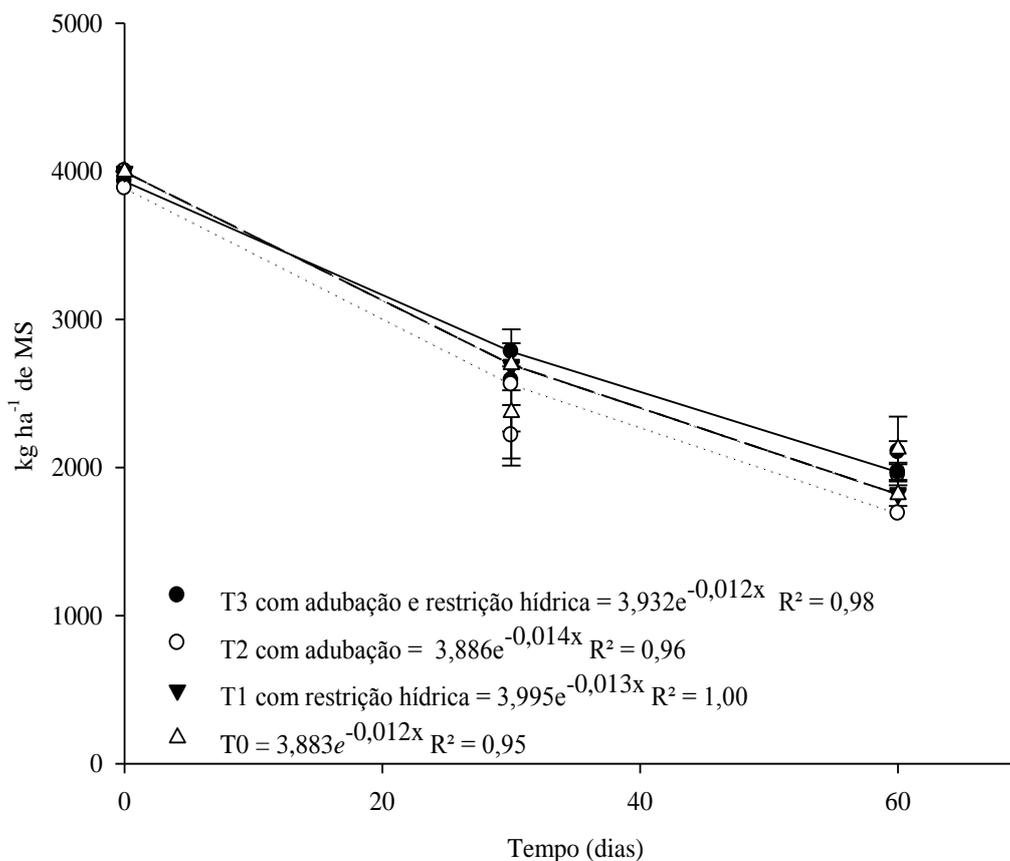
Figura 30 - Relação C/N de fitomassa de aveia em cobertura



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A utilização da aveia como cobertura em sistemas de rotação é importante no manejo conservacionista por ser uma espécie adaptada as condições climáticas no estado de SC, por apresentar manejo simples em relação a outras culturas, como apresentado na figura 31, onde apresentou decomposição em torno de 45% em todos os tratamentos até os 60 dias.

Figura 31 - Teor remanescente de fitomassa de aveia em cobertura



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A aveia por ser uma espécie com boa produtividade, seu uso promove proteção da superfície do solo do impacto das gotas de chuva, e por consequência diminuindo a perda de solo e água, além de diminuir a lixiviação de nutrientes (PANACHUKI *et al.*, 2011; PANTOJA *et al.*, 2014; PERDIGAO *et al.*, 2017).

A contribuição da aveia na produtividade de espécies é descrita por Pacheco *et al.* (2011) que possui importante papel na produção de cebola em SPDH, em geral, a sua utilização em cobertura está associada com o uso de uma ou mais espécies, geralmente consorciada com uma leguminosa e/ou crucífera por apresentarem objetivos distintos, mas com resultados positivos para o solo.

Em relação a contribuição da aveia preta para o Ca, o T3 diminuiu o teor conforme o tempo transcorrido do experimento, o $t_{1/2}$ foi de 50 dias e 27% do total de Ca foi liberado no primeiro período de avaliação (30 dias), aos 60 dias de experimento liberou 49% do total com $t_{1/2}$ de 61 dias.

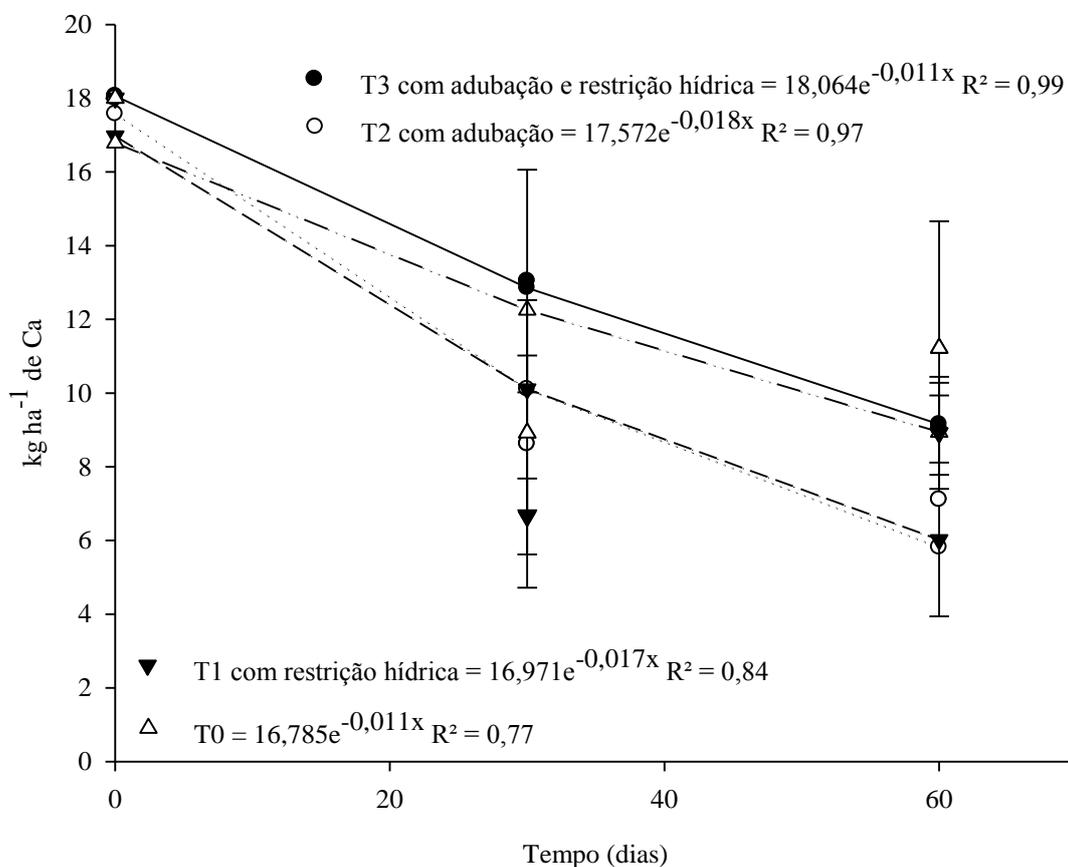
O T2 aos 30 dias liberou 38% do valor inicial da fitomassa de cobertura do solo e $t_{1/2}$ de 55 dias, já no mesmo tratamento aos 60 dias, liberou 47% da quantidade inicial de Ca com $t_{1/2}$ de 81 dias.

O T1 que utilizou a palhada de aveia na cobertura com a utilização da restrição hídrica por 72 horas, demonstrou alta liberação de Ca, com 63% aos 30 dias e $t_{1/2}$ de 21 dias, aos 60 dias de 51% de liberação e $t_{1/2}$ de 62 dias.

No T0 o teor de Ca liberado aos 30 dias foi de 51% do teor inicial e $t_{1/2}$ de 44 dias, aos 60 dias o teor de cálcio foi de 37% do total e $t_{1/2}$ de 102 dias.

Estes resultados indicam que o Ca proveniente da fitomassa é disponibilizado relativamente rápido, mesmo se tratando de uma espécie gramínea com alta relação C/N, Giongo *et al.* (2011) relataram com estudo de diferentes proporções entre gramíneas e leguminosas, as gramíneas apresentaram maior tempo de permanência em cobertura que em relação a leguminosas, sendo observado na figura 32.

Figura 32 - Teores de cálcio ao longo da decomposição da fitomassa de aveia como cobertura na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Souza *et al.* (2013), relatam que o Ca encontrado em produção de cebola após o acamamento de aveia não mostrou relação com a produtividade de bulbos, mas foi observado nível alto de Ca conforme CQFS–RS/SC (2016) pelo uso de plantas de cobertura, sendo uma alternativa para manutenção da fertilidade do solo.

A liberação de Mg em T3 aos 30 dias foi de 34% e o $t_{1/2}$ foi de 53 dias, aos 60 dias ocorreu a liberação de 30% e o $t_{1/2}$ foi de 63 dias.

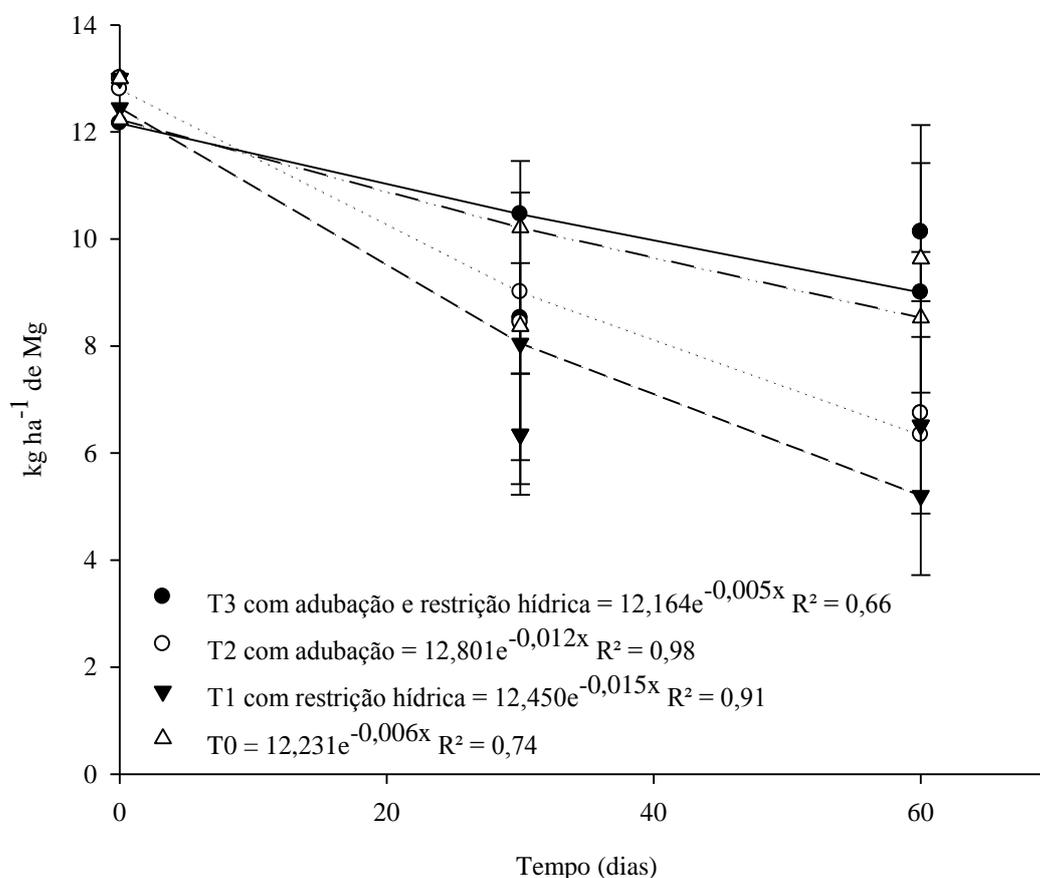
No T2, com a utilização da adubação e palhada, sem restrição hídrica de 72 horas, aos 30 dias foi liberado 51% do teor inicial e $t_{1/2}$ de 30 dias aos 60 dias apresentou 67% do teor inicial e $t_{1/2}$ de 19 dias.

Em T1, sem a adubação, com restrição hídrica de 72 horas e a utilização da palhada de cobertura, aos 30 dias a liberação de palha de aveia foi de 51% e $t_{1/2}$ de 30 dias, aos 60 dias foi de 50% e $t_{1/2}$ de 34 dias.

No T0 sem restrição hídrica e sem adubação apenas com a utilização de palha de cobertura, a liberação de Mg da palhada de aveia aos 30 dias foi de 26% e $t_{1/2}$ de 90 dias, aos 60 dias a quantidade liberada foi de 35% e $t_{1/2}$ de 154 dias.

A liberação de Mg está associada positivamente a decomposição conforme os dados apresentados, porém Giongo *et al.* (2011) relatam que esta liberação de Mg é mais eficaz com a utilização de consórcio com espécies não leguminosas (Figura 33).

Figura 33 - Teores de magnésio ao longo da decomposição da fitomassa de aveia como cobertura na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em sistema de plantio direto de grãos, Silveira; Stone (2001) relatam que o Mg é encontrado em maior quantidade na camada superficial do solo em relação as mais profundas. Porém, Benites *et al.* (2010), relatam que o Mg é um elemento móvel no solo, ocorrendo sua distribuição no perfil do solo, e pode ser absorvido por raízes e acumulado na parte aérea de tecidos mais jovens, e assim contribuindo para a manutenção e fornecimento deste elemento via fitomassa de aveia.

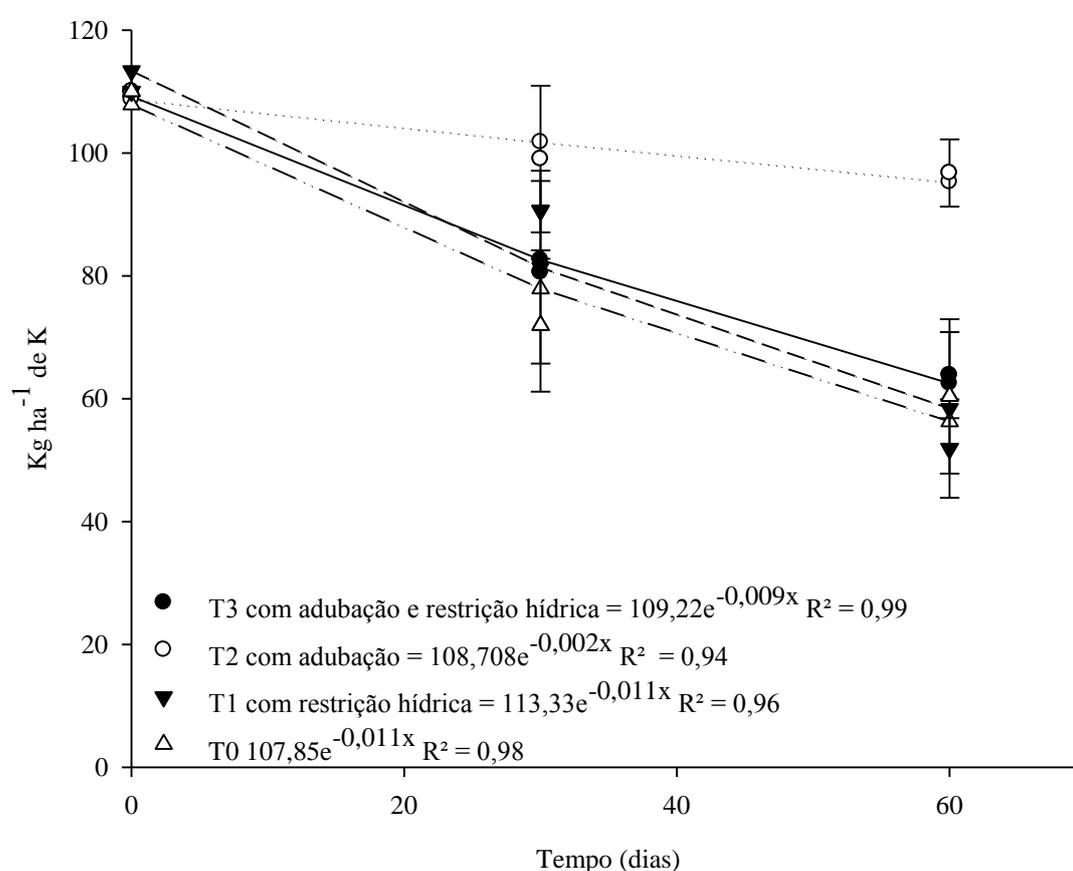
Os teores encontrados de K em cobertura de aveia com a utilização da adubação e sem a restrição hídrica (T2), apresentou a menor taxa de liberação entre os tratamentos, sendo de 25% aos 30 dias com $t_{1/2}$ de 74 dias e de 20% aos 60 dias com $t_{1/2}$ de 98 dias.

O tratamento T3 apresentou liberou aos 30 dias 45% com $t_{1/2}$ de 34 dias, aos 60 dias 42% do Mg da palhada foi liberado com $t_{1/2}$ de 40 dias.

No T1, que apresentou a restrição hídrica sem a utilização de adubação de cobertura, aos 30 dias liberou 23% com $t_{1/2}$ de 60 dias, com 60 dias a aveia apresentou de 53% do teor inicial com $t_{1/2}$ de 28 dias.

Com o tratamento que recebeu apenas a palhada de cobertura T0, a liberação aos 30 dias foi de 45% e $t_{1/2}$ de 37 dias e aos 60 dias a palhada remanescente foi de 35% com $t_{1/2}$ de 59 dias (Figura 34).

Figura 34 - Teores de potássio ao longo da decomposição da fitomassa de aveia como cobertura na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O K em cultivo de aveia preta, segundo Giacomini *et al.* (2003) libera mais de 50% do teor inicial em 29 dias durante a decomposição dos resíduos, resultado intermediário a estes foi encontrado em tratamento que ocorreram a restrição hídrica e adubação (T3 aos 30 e 60 dias).

No T2 foi utilizado a adubação os resultados de liberação de K em aveia foram inferiores, o K tem certa facilidade de ser extraído do solo e possui certa mobilidade vertical

(Brito *et al.*, 2014), e por ser um elemento não estrutural a sua liberação ocorre mais rapidamente que em relação a outros nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Giacomini *et al.* (2003), relatam que a utilização de aveia em cobertura, além de proporcionar maior produção de fitomassa, possibilita o acúmulo de K auxiliando na manutenção deste elemento.

Porém, segundo Fayad *et al.* (2018) a absorção mais intensa de K, ocorre no período de bulbificação, a partir dos 60 dias, período que demonstrou em torno de 50% da liberação do K presente na fitomassa de aveia, sendo exatamente o período que ocorre maior demanda pela cebola.

Segundo Brunetto *et al.* (2005) a aveia absorve K de camadas inferiores e em quantidade superior de sua necessidade e por apresentar uma relação C/N alta (Alisson, 1966) a mineralização deste elemento ocorrerá de forma mais gradual.

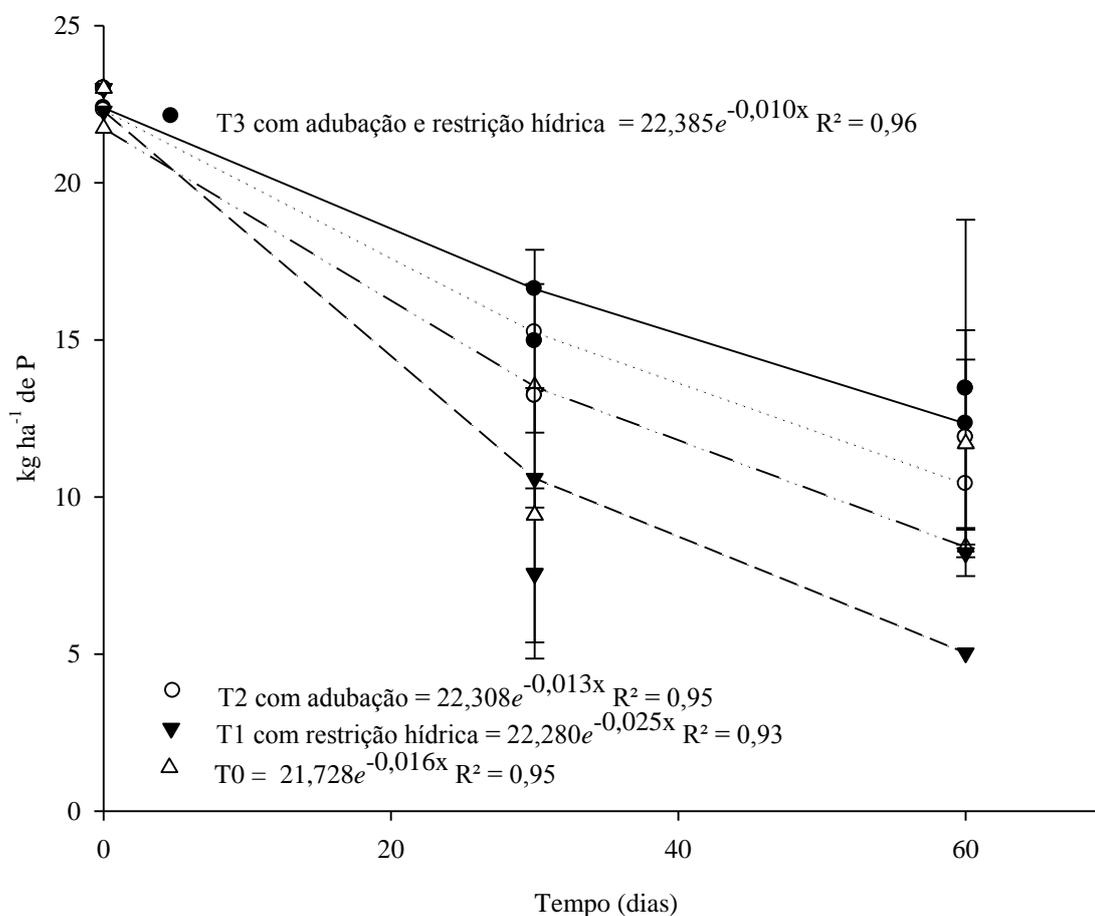
Melo *et al.* (2011) relatam que a ação da raiz de aveia por explorar as camadas profundas de solo, acumulam o K do gradiente acumulando na parte aérea e posteriormente sendo depositado na superfície, incrementando os níveis deste nutriente. Souza *et al.* (2017) relatam que a adoção do SPDH com o uso de aveia, incrementa níveis de K até os primeiros 5 centímetros, incrementando a produção de cebola.

A liberação de P no T3 aos 30 dias foi 35% do total em relação ao teor inicial com $t_{1/2}$ de 63 dias, aos 60 dias 41% do teor inicial com $t_{1/2}$ de 33 dias. No T2, a liberação aos 30 dias foi 41% com $t_{1/2}$ de 50 dias, com 60 dias de tratamento o P apresentou liberação de 48% do total com $t_{1/2}$ de 38 dias.

No T1 aos 30 dias foi 67% do total com $t_{1/2}$ de 20 dias, já com 60 dias liberou 64% com $t_{1/2}$ de 20 dias. No tratamento que utilizou apenas a palhada de cobertura (T0) aos 30 dias foi 46% do teor inicial com $t_{1/2}$ de 27 dias aos 60 dias, já com 60 dias liberou 50% com $t_{1/2}$ de 33 dias.

O P é considerado um elemento estável no solo que não ocorre lixiviação (Benites *et al.*, 2010) em pesquisa realizada em Ituporanga, SC, Oliveira *et al.* (2017) relatam que a liberação de P ocorre mais intensamente nos primeiros 45 dias, após este período ocorre uma estabilização na liberação de P, fato este que pode ser explicado o ocorrido em T3 e T2 (Figura 35).

Figura 35 - Teores de fósforo ao longo da decomposição da fitomassa de aveia como cobertura na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Giacomini *et al.* (2003) relatam que o acúmulo de P na fitomassa de cobertura, foi maior em espécies cultivadas isoladas, como a aveia, em relação as que foram submetidas ao consórcio, demonstrando eficiência para este elemento e corroborado por Da Ros (1993), Souza *et al.* (2017) e por esta pesquisa.

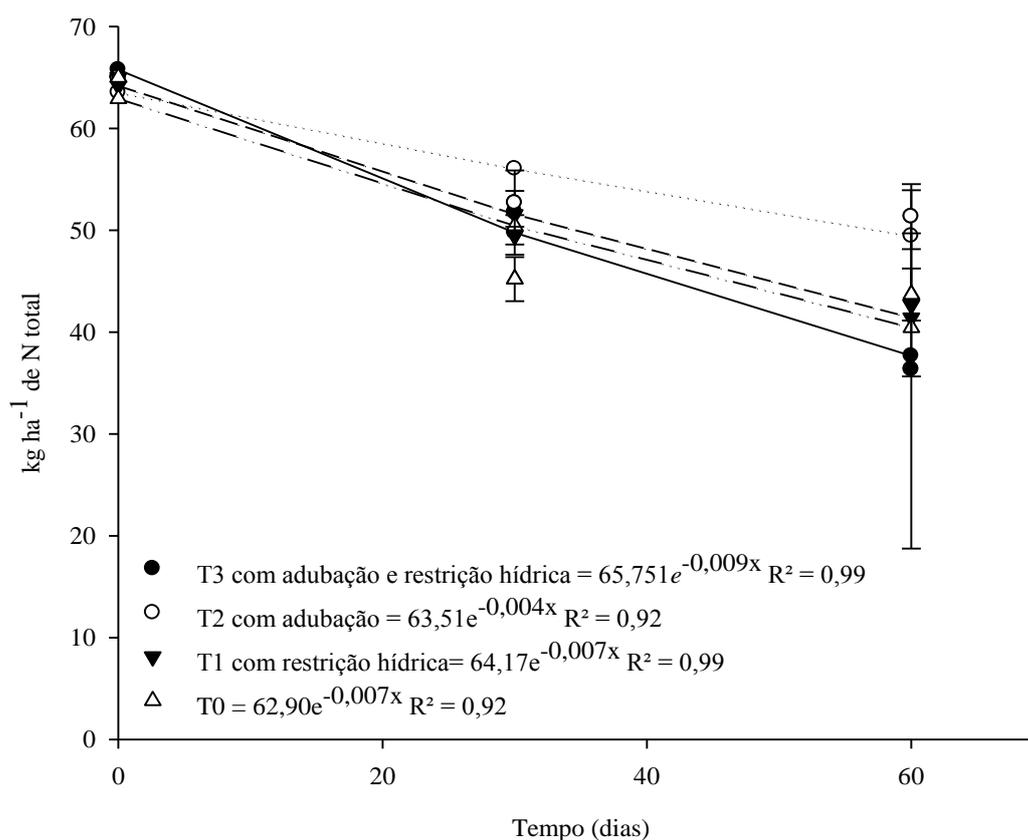
Souza *et al.* (2013) relatam que a deposição de aveia preta na cobertura do solo, aumentou os níveis de P, contribuindo significativamente com o suprimento deste nutriente.

Já Fayad *et al.* (2018) demonstram que aos 60 dias ocorre maior demanda de P, exatamente no período da bulbificação, e por apresentar baixa mobilidade do solo, a aveia contribui com manutenção dos níveis de P.

Os teores de N, no T3 aos 30 dias mineralizou 20% do teor inicial e com $t_{1/2}$ de 111 dias, já aos 60 dias foi de 44% com $t_{1/2}$ de 62 dias. No T2 aos 30 dias mineralizou 18% e $t_{1/2}$ de 100 dias, já com 60 dias foi de 21% com $t_{1/2}$ de 97 dias.

O T1 aos 30 dias a mineralização encontrada foi de 23% e $t_{1/2}$ de 76 dias, já com o experimento aos 60 dias foi 34% do teor inicial e $t_{1/2}$ de 58 dias, e o T0 aos 30 dias foi de 30% e $t_{1/2}$ de 58 dias, aos 60 dias foi de 32% com $t_{1/2}$ de 53 dias (Figura 36).

Figura 36 - Teores de nitrogênio ao longo da decomposição da fitomassa de aveia como cobertura na superfície de um Cambissolo Háplico



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O comportamento da aveia conforme a taxa de decomposição em relação a liberação de N é positivo, onde a liberação deste elemento para o solo é acompanhada pela perda de massa (Gama-Rodrigues *et al.*, 2007). A cobertura de aveia pode suprir parte da demanda de nitrogênio da cultura e com isso, incrementar sua produtividade.

A deposição constante de fitomassa em SPDH, favorece a manutenção e o incremento dos teores de N (Perdigão *et al.*, 2012; Carranca, Torres, Madeira. 2015; Vezzani *et al.*, 2018; Loss *et al.*, 2020). Apesar de ser uma espécie que possui maior relação C/N (Alessi, 1966) pode disponibilizar nutrientes e permitir cobertura mais duradoura sobre o solo (ASHS, 2010; Loss *et al.*, 2020).

Perdigão *et al.* (2017) relatam que a utilização de gramínea (centeio solteiro) supriu com aproximadamente de 13 a 22% do total de N, demonstrando a importância de o cultivo solteiro com gramíneas ser incorporado na rotação de culturas como complementação do ciclo produtivo.

Os teores de Ca do solo na profundidade de 0-5 cm foram em T3/60 e T3/60-P, profundidade de 5-12,5 cm com o tratamento T3/60 e em 12,5-20 cm com T3/30, T3/60, T3/30-P e T3/60-P, a distinção destes resultados apresentados é que ambos tratamentos receberam a adubação de cobertura em conjunto com a restrição hídrica, e foram maiores aos demais, influenciando no resultado encontrado.

Os resultados apresentados na camada de 0-5 cm e 5-12,5 cm de T3/30 e T3/60, mesmo o Ca sendo considerado elemento de certa mobilidade no solo, onde a maior quantidade foi encontrada aos 60 dias, podem ser explicados pela ocorrência da restrição hídrica, onde fica mais acumulado ao longo do período de tempo, e sendo possível observar o mesmo em T3/30-P e T3/60-P (Tabela 13).

Tabela 13 - Teores de cálcio e magnésio no solo incubado em cobertura de aveia e restrição hídrica em um Cambissolo Háplico

Área/Manejo	Ca			Mg		
	cmol _c dm ⁻³					
	Profundidade (cm)					
	0-5	5-12,5	12,5-20	0-5	5-12,5	12,5-20
T3/30	11,36 b	12,32 b	11,08 a	2,96 b	3,00 a	3,06 b
T3/60	16,44 a	15,22 a	13,66 a	2,90 b	2,76 a	2,90 b
T3/30-P	11,65 b	13,12 b	12,58 a	2,94 b	2,98 a	2,94 b
T3/60-P	14,87 a	12,80 b	12,08 a	3,06 b	2,68 a	2,66 c
T2/30	10,71 b	10,06 c	9,96 b	3,12 b	3,04 a	3,73 a
T2/60	11,35 b	9,89 c	9,17 b	2,88 b	2,56 a	2,54 c
T2/30-P	10,38 b	9,35 c	9,50 b	3,97 a	3,49 a	3,65 a
T2/60-P	9,96 b	10,34 c	9,29 b	2,64 b	2,72 a	2,66 c
T1/30	9,26 b	10,11 c	9,43 b	2,70 b	2,54 a	2,03 c
T1/60	10,27 b	10,48 c	10,42 b	2,94 b	3,31 a	3,49 a
T1/30-P	10,90 b	10,20 c	10,20 b	2,68 b	2,48 a	2,60 c
T1/60-P	10,75 b	9,84 c	9,58 b	3,31 b	3,02 a	2,94 b
T0/30	9,29 b	9,48 c	9,01 b	3,14 b	3,53 a	3,65 a
T0/60	10,16 b	9,16 c	8,60 b	2,98 b	2,64 a	2,58 c
T0/30-P	11,36 b	9,84 c	9,27 b	3,89 a	2,62 a	3,53 a
T0/60-P	9,73 b	9,18 c	8,91 b	3,04 b	3,02 a	3,14 b

Nota: T: tratamento; 30: dias incubado; 60: dias incubado; -P: sem cobertura do solo. Letras comparam as médias entre os tratamentos na mesma profundidade (decomposição da fitomassa de aveia) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

As diferenças encontradas para Ca em todas as camadas demonstram que a cobertura do solo pode manter os níveis nutricionais alto (CQFS–RS/SC, 2016) porém percebe-se que a diferença encontrada na camada de 0-5 cm e 5-12,5 cm em T3 e não ocorrendo em T1 em 12,5-20 cm pode ser explicada pelos níveis altos de Ca no solo, relacionados com as aplicações de calcário, corroborando com os resultados encontrados por SOUZA *et al.* (2013).

Santos *et al.* (2017) relatam em produção de cebola em SPDH no município de Ituporanga, SC, teores superiores de Ca foram observados com a utilização de aveia preta nos primeiros 10 cm de profundidade, diferentemente dos valores apresentados por esta pesquisa.

Já nos valores apresentados de Mg, segundo a CQFS–RS/SC (2016) estão altos na profundidade de 0-5 cm, os maiores teores foram T2/30-P e T0/30-P, sendo em comum que estes tratamentos não foram submetidos a utilização da palhada de cobertura e nem a restrição hídrica.

Na camada 5-12,5 cm os tratamentos foram semelhantes entre si. Na profundidade de 12,5-20 cm, os maiores teores foram T2/30, T2/30-P, T1/60, T0/30 e T0/30-P, o que pode ser associado com a fitomassa de cobertura, com exceção do tratamento T0/30-P.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Souza *et al.* (2013) onde a ocorrência de áreas com SPDH na produção de cebola com cobertura de aveia, embora sem influenciar os teores de Mg foi importante para proteção do solo.

Mas Santos *et al.* (2017) relatam o mesmo comportamento em Mg como já reportado no Ca com a cobertura de aveia, descrevendo a ocorrência de incrementos até 10 cm em profundidade.

O K no solo, na profundidade de 0-5 cm os tratamentos T3/30, T3/60, T3/60-P, T2/30, T2/60, T2/30-P, T2/60-P, T1/60, na profundidade de 5-12,5 cm, os tratamentos foram semelhantes e superior aos demais, já em 12,5-20 cm o tratamento T0/30-P foi o que apresentou maior teor de K, evidenciando que a ausência de efeito da palha ou de adubação não influenciou este tratamento.

Conforme pode ser observado na tabela 14, o teor de K na fitomassa de cobertura do solo diminui drasticamente nos primeiros 30 dias, ficando ainda um remanescente até a avaliação de 60 dias, no entanto segundo CQFS–RS/SC (2016) os níveis encontrados de K, estão altos em todos tratamentos e profundidades.

Tabela 14 - Teores de potássio e fósforo no solo incubado em cobertura de aveia e restrição hídrica em um Cambissolo Háplico

Área/Manejo	K			P		
	mg dm ⁻³					
	Profundidade (cm)					
	0-5	5-12,5	12,5-20	0-5	5-12,5	12,5-20
T3/30	320,1 a	151,0 a	93,9 b	76,50 a	12,63 b	1,80 b
T3/60	328,7 a	138,8 a	89,0 b	49,80 a	12,81 b	3,00 b
T3/30-P	218,9 b	123,6 a	99,0 b	42,24 b	9,81 b	5,73 b
T3/60-P	312,7 a	117,6 a	75,03 b	55,80 a	27,12 a	1,89 b
T2/30	310,4 a	154,4 a	103,6 b	55,62 a	9,66 b	2,01 b
T2/60	389,2 a	128,4 a	80,1 b	49,68 a	10,32 b	6,06 b
T2/30-P	313,0 a	141,0 a	89,4 b	28,98 b	7,92 b	21,27 a
T2/60-P	343,6 a	142,5 a	91,5 b	71,82 a	14,40 b	2,01 b
T1/30	192,5 b	140,6 a	91,3 b	14,55 b	12,87 b	2,16 b
T1/60	281,7 a	168,5 a	101,8 b	32,79 b	12,06 b	2,04 b
T1/30-P	195,8 b	142,4 a	95,6 b	42,39 b	13,68 b	2,10 b
T1/60-P	187,5 b	138,6 a	83,9 b	28,56 b	13,08 b	1,98 b
T0/30	261,3 b	141,6 a	88,9 b	36,60 b	15,33 b	21,33 a
T0/60	267,1 b	149,2 a	99,0 b	38,46 b	7,38 b	5,49 b
T0/30-P	218,5 b	134,2 a	138,6 a	48,99 a	15,42 b	2,97 b
T0/60-P	215,8 b	137,2 a	89,4 b	44,04 b	12,99 b	1,77 b

Nota: T: tratamento; 30: dias incubado; 60: dias incubado; -P: sem cobertura do solo. Letras comparam as médias entre os tratamentos na mesma profundidade (decomposição da fitomassa de aveia) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Porém, conforme apresentado anteriormente na figura 34, os níveis de K liberados pela aveia demonstraram interferência no K encontrado no solo nos tratamentos que receberam cobertura de aveia. Segundo Giacomini *et al.* (2003), a cobertura com aveia liberou a maior parte do K nos primeiros 29 dias, corroborando com o ocorrido neste experimento, auxiliando na manutenção deste elemento e no seu incremento no solo.

Brito *et al.* (2014) relatam em trabalho de mobilidade de K, que a utilização de gramínea em cobertura, além trazer benefícios físicos ao solo, o incremento de K foi observado até os 15 cm de profundidade, e com menor intensidade dos 15 aos 30 cm de profundidade, demonstrando a importância do K para o cultivo da cebola como relatado por Pôrto *et al.* (2007) sendo o nutriente absorvido em maior quantidade, e que em consequência dos resultados prévios apresentados na tabela 12, o solo apresenta teores de K na profundidade de 0-5 cm muito alto, e nas camadas de 5-12,5 e 12,5-20 cm foi alto segundo a CQFS-RS/SC (2016).

Os maiores teores de P na profundidade de 0-5 cm foram encontrados nos tratamentos T3/30, T3/60, T3/60-P, T2/30, T2/60, T2/60-P e T0/30-P, em 5-12,5 cm o maior teor de P ocorreu em T3/60-P, e na profundidade de 12,5-20 cm os maiores teores foram em T2/30-P e T0/30.

Os teores apresentados de P em sua grande parte, seja nos tratamentos com ou sem adubação foram segundo a CQFS-RS/SC (2016), na camada 0-5 cm muito alto e isso pode ser o efeito das adubações anteriores que ocorrem periodicamente.

Na profundidade de 5-12,5 cm os teores foram médios e na camada de 12,5-20 cm foram muito baixo, com algumas exceções (CQFS-RS/SC, 2016).

Por ser um elemento estável (Benites *et al.*, 2010), diferente do K, o P é liberado nos primeiros 180 dias conforme Talgre *et al.* (2014), não sendo observados incrementos pelo uso de aveia como cobertura do solo e nem houve incrementos em profundidade, corroborando com os resultados apresentados por esta pesquisa.

Oliveira *et al.* (2017) observaram que a mineralização de P irá depender da forma acumulada e do tipo de resíduo utilizado, mas a grande quantidade de P solúvel ocorre na fração inorgânica sendo a mais rápida mineralizada pelas plantas de cobertura, e a aveia preta demonstra grande capacidade de armazenar P na forma inorgânica, principalmente no vacúolo, sendo considerado um consumo de luxo e não disponível diretamente para os cultivos alvo, como a cebola.

Os teores de N total foram semelhantes entre os tratamentos nas profundidades de 0-5 e 5-12,5 cm, já na profundidade de 12,5-20 cm, o maior teor ocorreu em T0/30 (Tabela 15).

Tabela 15 - Teores de nitrogênio total no solo incubado em cobertura de aveia e restrição hídrica em um Cambissolo Háplico

Área/Manejo	N total (g kg ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-5	5-12,5	12,5-20
T3/30	2,00 a	1,33 a	1,26 b
T3/60	1,93 a	1,39 a	1,29 b
T3/30-P	2,73 a	1,40 a	1,20 b
T3/60-P	2,19 a	1,25 a	1,12 b
T2/30	1,17 a	1,47 a	1,24 b
T2/60	3,67 a	2,29 a	0,77 b
T2/30-P	2,10 a	1,39 a	1,44 b
T2/60-P	2,20 a	1,49 a	1,33 b
T1/30	1,77 a	0,93 a	1,21 b
T1/60	1,77 a	1,35 a	1,34 b
T1/30-P	1,80 a	1,52 a	1,24 b
T1/60-P	1,71 a	1,33 a	1,16 b
T0/30	1,59 a	1,26 a	3,10 a
T0/60	1,74 a	1,29 a	1,16 b
T0/30-P	1,95 a	1,51 a	1,29 b
T0/60-P	3,59 a	1,30 a	1,17 b

Nota: T: tratamento; 30: dias incubado; 60: dias incubado; -P: sem cobertura do solo. Letras comparam as médias entre os tratamentos na mesma profundidade (decomposição da fitomassa de aveia) pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Perdigão *et al.* (2017) relatam que a mineralização de N com a utilização de gramínea em cobertura solteira, não demonstrou incremento deste elemento no solo. Já Martins *et al.* (2014) ao utilizarem a aveia preta em cobertura do solo, relatam que a fitomassa de aveia preta promoveu imobilização de N do solo, o que reduz a disponibilidade desse elemento às plantas (Heirinchs *et al.*, 2001).

Entretanto, com o passar do tempo ocorre o reestabelecimento gradativo, igualando a imobilização e mineralização, liberando as formas de N para a solução do solo, e posteriormente aumentando os níveis de N do solo e fornecido aos cultivos futuros (MARTINS *et al.*, 2014).

4.4 CONCLUSÃO

A fitomassa de aveia preta como cobertura manteve altos teores de Ca e Mg no solo, principalmente nos tratamentos com restrição hídrica.

A fitomassa de aveia preta apresentou teores satisfatórios de K e teve rápida liberação nos tratamentos sem restrição hídrica. Por outro lado, nos tratamentos com restrição hídrica houve aumento do K até a profundidade de 12,5 cm, o que indica certa mobilidade deste elemento no solo.

A fitomassa de aveia preta pode liberar parte do N requerido para o cultivo subsequente de cebola. Já o aporte de P a partir da fitomassa foi suficiente para manter os teores deste elemento no solo.

REFERÊNCIAS

- ALISSON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 219-258, 1966. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60651-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60651-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308606513?via%3Dihub>. Acesso em: 10 mai. 2020.
- AMUNDSON R. *et al.* Soil and human security in the 21st century. **Science**, v. 348, n. 1261071, p. 2015. Disponível em: <http://www1.udel.edu/soilchem/pubs/Amundson2015Science.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- ARROBAS, M., AGUIAR, P., RODRIGUES, M. Â. A comparison of a pasture ley with a maize monoculture on the soil fertility and nutrient release in the succeeding crop. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 62, n.6, p. 829-839, oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1096014>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2015.1096014>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- ASHS - American Society for Horticultural Science. 2010. Cover crop mulches tested for no-till organic onions. **Science Daily**. Disponível em: www.sciencedaily.com/releases/2010/04/100421102455.htm. Acesso em: 16 mar. 2018.
- BENITES, V. de M., *et al.*; O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira. In: BERNARDI, Alberto; DE OLIVEIRA, Fábio Alvares. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. 2. ed. Piracicaba. INPI, 2010. p. 53-65. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Bernardi/publication/277328049_POTASSIO_CALCIO_E_MAGNESIO_NA_AGRICULTURA_BRASILEIRA_Potassim_calcium_and_magnesium_in_Brazilian_agriculture/links/5568511d08aec226830140d4/POTASSIO-CALCIO-E-MAGNESIO-NA-AGRICULTURA-BRASILEIRA-Potassim-calcium-and-magnesium-in-Brazilian-agriculture.pdf. Acesso em: 15 abr. 2020.
- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. **Determining consumptive use and irrigation water requirements**. US Department of Agriculture, 1962. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=B2iRgBMumV0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=blaney+e+criddle&ots=Yx9B9vQfL6&sig=nF50nHW8ZxFbk6Fv6LteCU1mVk#v=onepage&q=blaney%20e%20criddle&f=false>. Acesso em: 02 fev. 2018.
- BRITO, O. R. *et al.* Mobilidade do potássio no solo em função de diferentes tipos e doses de resíduos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3043-3052, 2014. Disponível em: <http://www.uel.br/portal/index.php?pagina=404&urlProcurada=www.uel.br/seer/index.php/semagrarias/article/download/16283/15492>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BROWN, V. *et al.* Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 1, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i1a5501. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5501>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- BRUNETTO, G. *et al.* Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 565-571, jul. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400009>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000400009&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 set. 2020.
- CAMARGO, E. S. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola**. 2011. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2011. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1462/dissertacao_estefania_camargo_15688946065201_1462.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.
- CANSTOCKPHOTO. *In*: Google imagens. Google, 2018. Disponível em: <https://www.canstockphoto.com/hay-8038108.html>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- CARRANCA, C.; TORRES, M. O; MADEIRA, M. Underestimated role of legume roots for soil N fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p. 1095-1102, mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0297-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-015-0297-y>. Acesso em: 20 jun. 2020.

CHRISTOPHER, S. F.; LAL, R. Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 26, n. 1, p. 45-64, feb. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352680601174830>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07352680601174830>. Acesso em: 10 jun. 2020.

CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2016.

COMIN, J. J. *et al.* 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. dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718305312?via%3Dihub>. Acesso em: 11 mai. 2020.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/brag/v67n2/a24v67n2.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

DA ROS, C. O. *et al.* Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaga. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 17, n. 2, p. 257-261, 1993. Disponível em: <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=3772623>. Acesso em: 10 mai. 2020.

FAYAD, J. A. *et al.* **Sistema de Plantio direto de Hortaliças (SPDH) O cultivo da cebola**. Florianópolis: Epagri, 2018.

FLOWER, K. *et al.* Nitrogen, weed management and economics with cover crops in conservation agriculture in a Mediterranean climate. **Field Crops Research**, v. 132, n. 1, p. 63-75, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429011003261?via%3Dihub>. Acesso em: 02 mar. 2020.

GAMA-RODRIGUES, A. C. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, nov./dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600019>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000600019&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 02 fev. 2020.

GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, set. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900011>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2003000900011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2019.

GIONGO, V. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611-618, jul/set, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902011000300006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 02 dez. 2019.

HEINRICHS, R. *et al.* Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-340, abr./jun. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200010>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000200010. Acesso em: 20 jan. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Tabela 188. Rendimento médio, por ano da safra e produto (notas). 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188>. Acesso em: 11 set. 2019.

LOSS, A. *et al.* Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola/Effect of crop succession or rotation on soil fertility after seven years of onion cultivation. **Brazilian**

Journal of Development, v. 6, n. 3, p. 16587-16606, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-507>.

Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8323/7182>. Acesso em: 20 jun. 2020.

LOSS, A. *et al.* Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, jul. 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000401212&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 set. 2019.

LIMA, C. E. P.; MADEIRA, N. R. Sistema de plantio direto em hortaliças (SPDH). **Embrapa hortaliças**, n. 9. 2013. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/975518> Acesso em: 10 out. 2019.

MASSON, I.; ARL, V.; WUERGES, E. W. Trajetória, concepção metodológica e desafios estratégicos junto ao sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIM, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, 2019. p. 25-38.

MARANDOLA, D. *et al.* The spread of no-till in conservation agriculture systems in Italy: indications for rural development policy-making. **Agricultural and food economics**, v. 7, n. 1, p. 7, apr. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s40100-019-0126-8>. Disponível em:

<https://agrifoodecon.springeropen.com/articles/10.1186/s40100-019-0126-8>. Acesso em: 10 jun. 2020.

MARTINS, R. P., *et al.* Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Ceres**. Viçosa, v. 61, n. 4, jul./ago. 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040020>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000400020&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 fev. 2020.

MELO, A. V. de. *et al.* Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 411-420, abr./jun. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p411> Disponível em:

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/3113>. Acesso em: 20 abr. 2020.

NICOLARDOT, B.; RECOUS, S.; MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C: N ratio of the residues. **Plant and Soil**, v. 228, n. 1, p. 83-103, jan. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004813801728>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1004813801728>. Acesso em: 10 mai. 2020.

OLIVEIRA, R. A. de *et al.* Release of Phosphorus Forms from Cover Residues in Agroecological No-Till Onion Production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, feb. 2017. DOI:

<https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160272>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832017000100502&lng=en&tlng=en. Acesso em: 15 mar. 2020.

PAUL, E. A. & CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego, Academic Press, 1989. DOI:

<https://doi.org/10.1002/jobm.3620300622>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jobm.3620300622>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PACHECO, L. P. *et al.* Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1787-1800, out. 2011. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500033>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000500033&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 10 mai. 2020.

PANACHUKI, E. *et al.* Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, set./out. 2011. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500032>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000500032&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01 dez. 2019.

PANTOJA, J. *et al.* Winter Rye Cover Crop Biomass Production, Degradation, and Nitrogen Recycling. **Agronomy Journal Abstract**, Madison, v. 108, n. 2, mar. 2016. DOI: doi:10.2134/agronj2015.0336. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2015.0336>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PERDIGAO, A. *et al.* Carbon and nitrogen mineralisation from green manures as alternative nitrogen sources in Mediterranean farming. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 11, feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1294754>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2017.1294754>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PÔRTO, D. R. Q. *et al.* Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola "Superex" estabelecida por semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37 n. 4, p. 949-955, jul./ago. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400005>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000400005&lng=pt&tlng=pt84782007000400005. Acesso em: 15 dez. 2019.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000200014&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 dez. 2019.

SANTOS, L. H. D. *et al.* Chemical properties in macroaggregates of a Humic Dystrudept cultivated with onion under no-till and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 41, n. e0160419, jun. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20160419>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832017000100515&lng=en&tlng=en. Acesso em: 15 mai. 2020.

SOKAL, R. R. Assumptions of analysis of variance. **Biometry**, p. 392-450, 1995.

SOUZA, M. *et al.* Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 21-27, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000100004&lng=pt&tlng=pt84782012005000150. Acesso em: 01 dez. 2019.

SOUZA, M. *et al.* **Desempenho agrônômico e estudo fitoquímico de plantas de cobertura em sistema de plantio direto agroecológico de cebola**. 2017. Tese (Doutorado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/185633>. Acesso em: 10 out. 2020.

STANFORD, G. & SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 36, n. 3, p. 465-472, 1972. DOI: doi:10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x>. Acesso em: 12 jan. 2018.

TALGRE, L. *et al.* Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 30, n. 4, p. 264-271, aug. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.953582>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01448765.2014.953582>. Acesso em: 13 mar. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 849p.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ufrgs, 1995.

VEZZANI, F. M. *et al.* The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 139-149. 2018: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198717301691?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de cebola em SPDH proporcionou adequada condição física do solo, indicada pela porosidade e infiltração de água, o que demonstram a saúde física do solo nesta condição.

A utilização de plantas de cobertura colabora no fornecimento de nutrientes, mas a disponibilidade a partir da fitomassa pode ocorrer em ritmo diferente da demanda da cebola. Dessa forma, a utilização de outras plantas de cobertura ou sua associação pode melhorar o sincronismo entre a liberação pela fitomassa e a absorção pela cebola.