

## **Estoques de carbono e nitrogênio totais e propriedades químicas do solo em diferentes sistemas de cultivo de cebola**

Eduardo Ribeiro Nazarian<sup>(1)\*</sup>, Leonardo Khaoê Giovanetti<sup>(2)</sup>, Arcângelo Loss<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Acadêmico do curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Ademar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Ademar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

<sup>(3)</sup> Professor, Depto. de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Ademar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

\* Autor correspondente: [eduardo.nazarian18@gmail.com](mailto:eduardo.nazarian18@gmail.com)

### **Resumo**

O aumento dos eventos climáticos extremos devido ao efeito estufa e ao aquecimento global tem levado à busca por alternativas para minimizar danos ambientais, como a degradação do solo. Uma alternativa é o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), que pode melhorar a ciclagem de nutrientes e reter carbono (C) e nitrogênio (N) no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades químicas e os estoques de C e N do solo sob cultivo de cebola no sistema de preparo convencional (SPC), plantio direto (SPD) e SPDH. O SPDH teve um potencial maior de armazenar C em comparação aos outros tratamentos. Quanto ao N, o SPDH foi superior apenas em algumas profundidades do solo. Para o P disponível, o SPDH e o SPD apresentaram os maiores valores para as camadas 0-5 e 5-10 cm. O SPDH apresentou maiores teores de K trocável para a camada 10-30 cm. Concluiu-se que o SPDH melhora os atributos do solo e armazena mais C e N do que os demais sistemas, devido ao não revolvimento do solo e ao uso de plantas de cobertura, representando uma estratégia eficaz na mitigação das mudanças climáticas e na preservação do solo.

**Palavras-chave:** sistema plantio direto de hortaliças; ciclagem de nutrientes; consórcio de plantas de cobertura; acúmulo de carbono.

### **Abstract**

The increase in extreme weather events due to the greenhouse effect and global warming has led to the search for alternatives to minimize environmental damage, such as soil degradation. One alternative is the no-till vegetable system (NTVS), which can improve nutrient cycling and retain carbon (C) and nitrogen (N) in the soil, components of greenhouse gases. This study aimed to assess the chemical properties and C and N stocks of the soil under onion cultivation in the conventional-tillage-system (CTS), no-tillage (NTS) and NTVS. NTVS had a greater potential for storing C compared to the other treatments. As for NTS, the NTVS was superior only in some soil layers. For available P, the NTVS and NTS had the highest values for the 0-5 and 5-10 cm layers. The NTVS showed the highest levels of exchangeable K in the 10-30 cm layer. The study concluded that NTVS, due to the lack of soil tillage and the use of cover crops, can improve soil attributes and store more C and N than other conventional systems, representing an effective strategy for mitigating climate change and preserving the soil.

**Keywords:** no-tillage vegetable system; nutrient cycling; cover crop consortium; carbon accumulation.

### **Introdução**

A degradação do solo tem sido motivo de preocupação constante da sociedade, devido à redução na produtividade dos cultivos, aumento no custo de produção e danos causados ao meio ambiente (Kogut, 2023). Entretanto, há opções que são eficientes para combater este fenômeno, como o sistema de plantio direto - SPD (Silva *et al.*, 2014), sendo esse um método de cultivo conservacionista com menor perturbação em virtude do menor uso de máquinas e equipamentos, fundamentando num menor revolvimento do solo, uso de rotação de culturas e cobertura permanente do solo. Além das buscas por alternativas que minimizem a degradação do solo, o ecossistema agrícola passou a ser entendido como um sumidouro biológico para o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e tem sido considerado uma importante opção para o sequestro de carbono (C) (Campos *et al.*, 2011). O processo de estocagem de carbono e de nitrogênio no solo se dá a partir da biomassa depositada sobre a superfície que

é posteriormente processada e incorporada ao solo, gerando diversos benefícios, como a incorporação e ciclagem de nutrientes, redução da erosão e da amplitude térmica e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Gomes; Cardoso, 2021).

Contudo, a agricultura ainda é manejada em sua maioria sob o preparo convencional do solo, um exemplo de importância é a cebola (*Allium cepa* L.) (Fayad, 2018). Este sistema é responsável pela desagregação e redução da matéria orgânica do solo (Piva *et al.*, 2024), devido ao uso intensivo de máquinas agrícolas, revolvimento do solo e produtos químicos, acarretando na degradação física, química e biológica do solo (Loss *et al.*, 2015).

A cebola é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo e engloba uma grande área de produção, tendo no ano de 2022 uma produção total mundial na casa dos 111 milhões de toneladas para uma área de 230 mil hectares (FAOSTAT, 2023). O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais, e nele, a cebola é a terceira hortaliça de maior importância econômica, com destaque para Santa Catarina, estado que detém um terço da produção nacional (Kurtz *et al.*, 2018).

Apesar da maior parte do cultivo de cebola ser no SPC, a partir da década de 90 outro sistema passou a ser utilizado em Santa Catarina, sendo este conhecido como Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), que consiste no revolvimento do solo restrito a linha de plantio, uso de rotação de culturas, cultivos de cobertura, parcelamento de adubações, entre outros manejos que reduzem o uso de agroquímicos (Kurtz *et al.*, 2013; EPAGRI, 2019) com enfoque na promoção da saúde da planta a partir da minimização de estresses como: salinidade, disponibilidade hídrica, temperatura e entre outros, como o sequestro de carbono e nitrogênio (Masson; Arl; Wuerges, 2019).

O uso de plantas de cobertura é uma prática essencial para este sistema que favorece o aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS) (Giumbelli *et al.*, 2021). A partir de uma produção mínima de 10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca (Nicholls *et al.*, 2019), há melhoria dos atributos edáficos (Higashikawa *et al.*, 2019), como: modificação do pH próximo a superfície, ciclagem de nutrientes, melhoria na capacidade de troca de cátions (CTC), adição de nitrogênio no sistema, entre outros (Silva *et al.*, 2021).

No sul do Brasil, a pesquisa tem selecionado diversas espécies de plantas de cobertura, tanto de primavera/verão, quanto de outono/inverno, sendo estas Fabaceae ou Poaceae, ou outras famílias (Redin *et al.*, 2016). Dentro das Poaceae, uma que se destaca e que está sendo muito utilizada como planta de cobertura é o milheto (*Pennisetum glaucum* L.), devido ao seu rápido estabelecimento e crescimento a campo (Soratto *et al.*, 2012),

produzindo uma alta quantidade de massa seca (6 a 9 ton/ha) (Cherubin *et al.*, 2024) e reciclando nutrientes como nitrogênio e potássio, dificultando assim a perda por lixiviação no sistema (Algeri *et al.*, 2018). Contudo, segundo Torres *et al.* (2014), a alta relação C/N da palhada das gramíneas, na maioria dos casos, colabora para maior imobilização microbiana do nitrogênio (N). Devido a biomassa microbiana ter em sua composição do N e pelo custo energético empregado pelos microrganismos na decomposição da fitomassa, haverá uma necessidade do consumo de N para suprir estas necessidades, gerando a imobilização do nutriente (Moreira; Siqueira, 2006). Para a família Fabaceae, a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) é outra planta bastante utilizada para a promoção da cobertura do solo e adubação verde, através de sua capacidade para fixar N atmosférico por meio de simbioses com bactérias e reciclagem de nutrientes devido ao seu intenso crescimento do sistema radicular (Pereira; Miller, 2000). Entretanto, devido à baixa relação C/N que plantas desta família apresentam, sua decomposição é bastante acelerada, podendo acarretar numa baixa cobertura do solo para a cultura posterior (Fonseca, 2017).

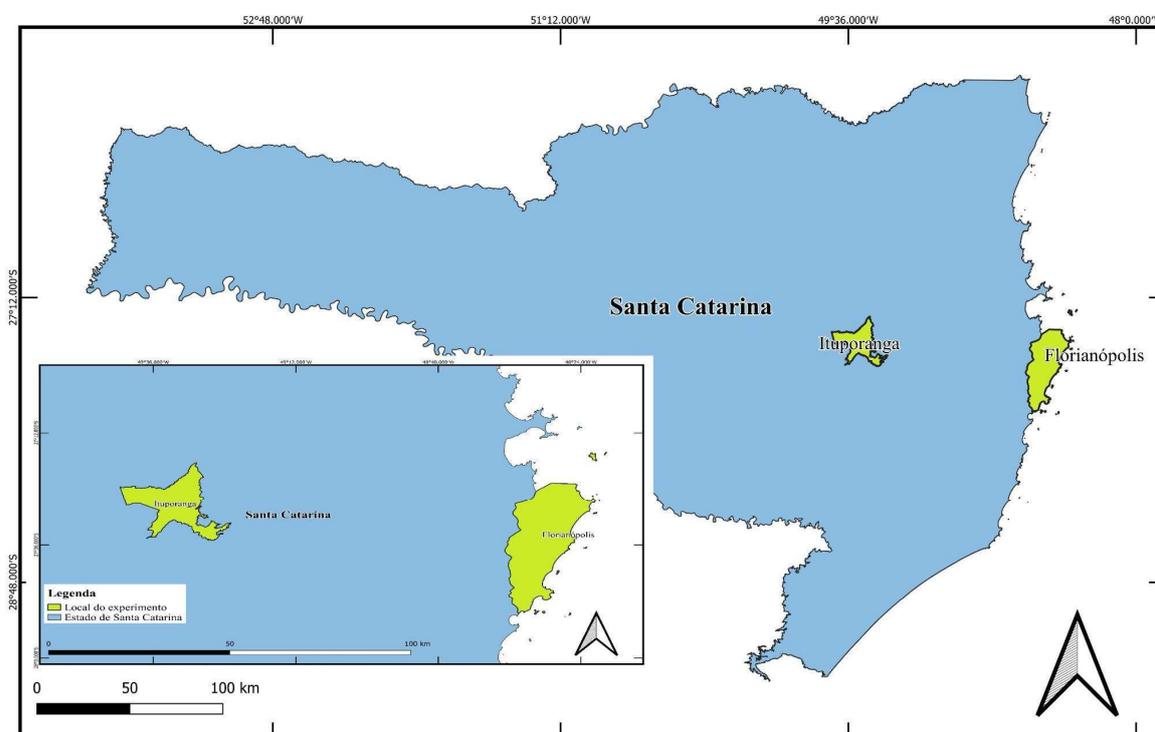
Sob esta perspectiva, o mix ou consórcio de plantas de cobertura (em sua maioria Fabaceae e Poaceae), tem sido recomendado com o objetivo de melhorar os atributos do solo, apresentando uma palhada com relação C/N intermediária (entre 20 e 30) (Brandani; Santos, 2016) já que contará com a rápida velocidade de decomposição e liberação de N e uma lenta decomposição provocada pela palhada das gramíneas (Silva *et al.*, 2021).

As modificações ocasionadas no ambiente edáfico devido ao uso das plantas de cobertura dependem do tempo de utilização, além do sistema de cultivo empregado. Após quatro pré-cultivos de plantas de cobertura, Souza e Guimarães (2013) analisaram as propriedades químicas para a produção de cebola e não encontraram diferenças nos teores de carbono orgânico total (COT). Bianchini *et al.* (2013), após três anos de SPDH, reportaram resultados contraditórios nos teores de COT e nitrogênio total (NT), em que estes atributos não foram influenciados pelo SPDH. Resultados contrastantes podem ocorrer por diversos fatores, como clima, diferença nos aportes de matéria seca e momentos distintos de avaliação no SPDH (MELO, 2016).

Diante das contradições se faz necessário novos levantamentos entre os diferentes sistemas de produção de cebola, principalmente sistemas que utilizam plantas de coberturas por longo prazo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades químicas e os estoques de COT e NT do solo sob cultivo de cebola no SPC, SPD e SPDH por longo prazo.

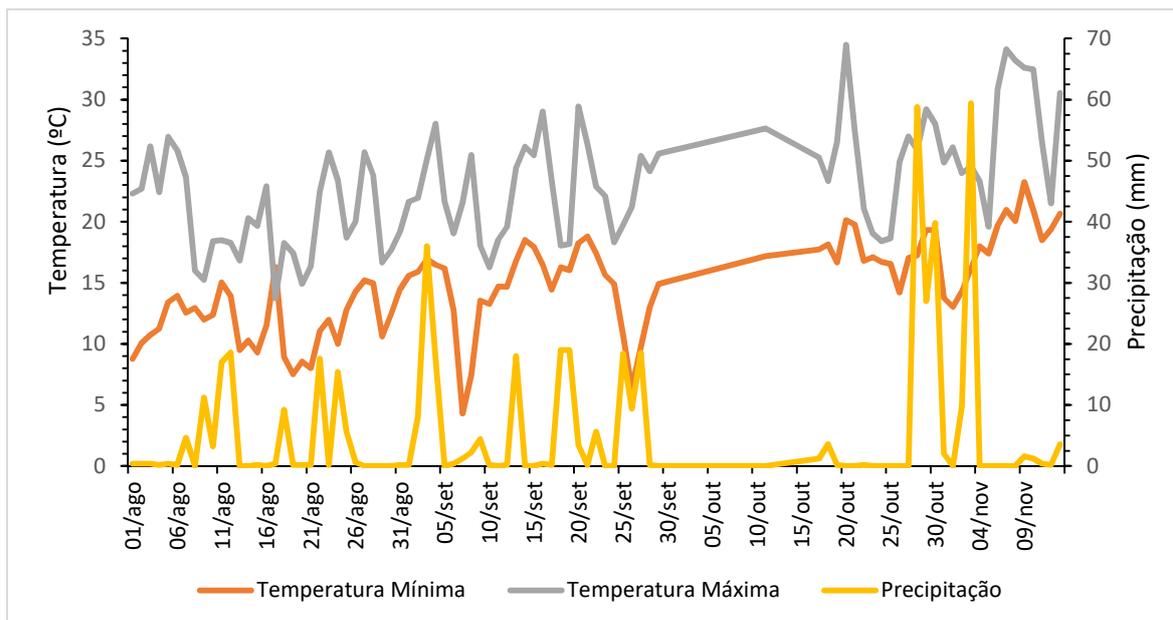
## Material e Métodos

O presente estudo foi realizado em 2023 em um experimento de longa duração (16º ano de experimento a campo), localizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em Ituporanga/SC (27°25'02.0"S, 49°38'51.9"W) (Figura 1). O solo da área foi classificado como Cambissolo Húmico distrófico (EMBRAPA, 2018), com 41% de areia (410 g kg<sup>-1</sup>), 26,4% de silte (264 g kg<sup>-1</sup>) e 32,6% de argila (326 g kg<sup>-1</sup>), conforme Tedesco *et al.* (1995).



**Figura 1.** Localização do município de Ituporanga no estado de Santa Catarina. Fonte: elaborado pelo autor.

O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico, Cfa (Köppen), com precipitação média anual de 1.400 mm bem distribuídos e temperatura média de 17,6°C, apresentando geadas pouco frequentes e verões quentes. Na Figura 2 são apresentados os valores de precipitação, temperatura mínima e máxima durante o período de estudo.



**Figura 2.** Precipitação e temperaturas mínima, média e máxima entre os dias 25/07/23 e 13/11/23. Fonte: Dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2023).

Em 2007, quando o experimento foi implantado, a área recebeu a semeadura de um mix de sementes com aveia-preta (*Avena strigosa*), ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) durante o período de inverno. A partir de 2010, os três tratamentos seguem uma linha cronológica de cultivos, conforme observado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos em escala temporal.

ANO	ESTAÇÃO	TRATAMENTOS		
		SPD	SPC	SPDH
2011 a 2023	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio
	Primavera	Cebola	Cebola	Cebola
	Verão	Milho	Milho	Milheto + Mucuna + Girassol

Espécies vegetais: Cebola (*Allium cepa* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), girassol (*Helianthus annuus* L.). Tratamento SPD- sistema de plantio direto de cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual; tratamento SPC- sucessão milho/cebola anual e com preparo convencional anual do solo desde 2011; tratamento SPDH- sistema de plantio direto, utilizando mix de plantas de cobertura durante o verão para posterior plantio da cebola.

O delineamento adotado no experimento foi de blocos casualizados, com cinco parcelas de 3,0 metros de largura, com 3,3 metros de comprimento. A cultivar de cebola utilizada foi a Empasc 352 - Bola Precoce. O espaçamento usado foi 0,40 m entre linhas e 0,1 m entre plantas, sendo sete linhas de cebola por parcela, com uma borda de 0,3 m em cada lado das parcelas. O manejo do solo para o tratamento SPC foi feito com uma aração e duas gradagens antes da abertura do sulco de plantio. Já para os tratamentos SPD e SPDH,

foi feita dessecação das plantas espontâneas e de cobertura, respectivamente com glicina substituída. As plantas de cobertura utilizadas estão baseadas nas comúntes utilizadas em SPDH. Em seguida, foram abertos sulcos de semeadura com o auxílio de uma máquina adaptada para o plantio direto da cebola, e as mudas foram transplantadas manualmente.

A adubação de base foi feita a partir da estimativa de produtividade de 45 Mg ha<sup>-1</sup>, antes do transplante das mudas, conforme a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2016), sendo 105 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dos quais 60 kg ha<sup>-1</sup> aplicados no plantio e 45 kg ha<sup>-1</sup> aos 57 dias após o transplante (DAT), mesma época da segunda adubação de cobertura de nitrogênio. No momento de plantio, também foram aplicados 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato triplo e aplicados 20 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio. Para o nitrogênio foram aplicadas mais três adubações de cobertura, sendo 25 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio nos 36 DAT, 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 57 DAT e 25 kg ha<sup>-1</sup> 85 dias após o transplante, conforme a recomendação adaptada por Kurtz *et al.* (2012). O tratamento SPDH por apresentar dentro do seu sistema a mucuna, recebeu uma dosagem menor (25% a menos do que nos demais tratamentos) em todas as aplicações. Para o mesmo ano de análise (2023), foi feita calagem do solo para regular o pH do solo a 6,0, de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016).

Na Tabela 2 tem-se os dados de produção de massa seca remanescente, relação C/N e produtividade de cebola da safra 2021/2022 (Câmara, 2022).

**Tabela 2.** Médias de massa seca (Mg ha<sup>-1</sup>), teores de C e N (%) e relação C/N da biomassa remanescente sobre o solo e produtividade da cebola (Mg ha<sup>-1</sup>) nos tratamentos SPD, SPC e SPDH.

Tratamento	MS (Mg ha <sup>-1</sup> )	% C	% N	C/N	Produtividade
SPD	10,51	29,34	1,08	27,58	34,78
SPC	4,22	25,62	1,09	24,34	33,55
SPDH	10,92	28,01	2,08	13,38	40,92

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH- sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Fonte: Câmara (2022).

Após o ciclo e a colheita da cebola, em 13 de novembro de 2023 foram abertas trincheiras de 30 x 30 x 30 cm de largura, altura e profundidade, respectivamente, e amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0 - 5 cm; 5 - 10 cm e 10 - 30 cm para análise das propriedades químicas (amostras deformadas) e densidade do solo (amostras indeformadas)

com pá de corte e anéis volumétricos, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina.

Após a secagem das amostras deformadas ao ar, passou-se o material em malha de 2 mm e neste foi determinado o pH, K (cmolc dm<sup>-3</sup>), P (mg dm<sup>-3</sup>), Al (cmolc dm<sup>-3</sup>), Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>), Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>), conforme Tedesco *et al.* (1995). Para a quantificação do COT e do NT, as amostras foram moídas e passadas em peneira de 150 mesh, para determinação dos elementos em analisador elementar de combustão seca. A densidade do solo (Ds) g cm<sup>-3</sup> foi avaliada com a secagem das amostras indeformadas (100 cm<sup>3</sup>) à 110°C em estufa de circulação de ar forçado por 72 horas (EMBRAPA, 2011) e obtida através da relação entre a massa de solo seco pelo volume do anel, em g cm<sup>-3</sup>. Por meio dos teores de COT e NT e dos valores de Ds, foram obtidos os estoques de C e N (Mg ha<sup>-1</sup>) do solo, utilizando a metodologia da massa equivalente (Sisti *et al.*, 2004).

Após os dados obtidos, foi realizada a análise de variância (ANAVA) pelo programa SISVAR 5.8 (FERREIRA, 2019) e, quando significativo, as médias foram separadas pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

Avaliando a densidade do solo (Ds) não foram verificadas diferenças entre os tratamentos para todas as camadas coletadas (Tabela 3). Assim como ocorreu para a Ds, na camada de 5-10 cm, não foram observadas diferenças entre o pH, índice SMP e teor disponível de K entre os tratamentos. Considerando a camada de 0 a 5 cm, o pH também não se diferenciou, já para a camada de 10 a 30 cm, o maior valor deste atributo foi encontrado no tratamento SPC. Considerando a classe textural franco-argiloso do solo presente na área e utilizando os valores críticos de densidade do solo conforme proposto por Reichert *et al.* (2003), para este tipo de solo os valores críticos de densidade ficam na faixa de 1,4 a 1,5 g cm<sup>3</sup>, assim pode-se inferir que não há restrição de crescimento radicular das plantas para nenhum dos tratamentos analisados.

**Tabela 3.** Densidade do solo, pH, índice SMP e teor de P disponível para os tratamentos avaliados.

Tratamento	Prof. (cm)	Ds g cm <sup>-3</sup>	pH	SMP	P mg dm <sup>-3</sup>
SPC	0 - 5	1,24 ns	6,29 ns	6,97 A	31,74 C
SPD		1,21	6,30	6,32 B	52,28 A

<b>SPDH</b>		1,24	6,27	6,51 B	42,86 B
<b>CV (%)</b>		7,51	0,38	5,89	12,40
<b>SPC</b>	<b>5 - 10</b>	1,36 ns	6,28 ns	6,45 ns	16,07 B
<b>SPD</b>		1,32	6,25	6,16	22,06 A
<b>SPDH</b>		1,27	6,26	6,25	25,58 A
<b>CV (%)</b>		8,29	0,34	5,24	21,77
<b>SPC</b>	<b>10 - 30</b>	1,29 ns	6,32 A	6,45 A	5,65 ns
<b>SPD</b>		1,33	6,25 B	6,04 B	9,05
<b>SPDH</b>		1,31	6,24 B	6,29 A	7,10
<b>CV (%)</b>		5,61	0,62	3,62	33,58

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns=não significativo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). CV= coeficiente de variação.

Analisando a densidade do solo em manejos com diferentes práticas no cultivo orgânico de hortaliças sob um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico após cinco anos de implantação, Silva *et al.* (2020) também não encontraram diferenças entre tratamentos em SPC (1,46 e 1,59 Mg.m<sup>-3</sup>) e SPD (1,44 e 1,64 Mg. m<sup>-3</sup>) para as camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm; resultados que corroboram aos obtidos neste estudo. Também neste sentido, Tezolin *et al.* (2021), avaliaram os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção, dentre eles plantio direto de milho e plantio direto de aveia, os quais não se diferenciaram para a camada de 0 a 10 cm. Ao analisar os atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo do solo e por plantas de cobertura, Cunha *et al.* (2011), em um Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que não houve diferença para os valores de pH depois de 4 anos da implantação, entre os diferentes tratamentos em SPC com cultivo de milho (pH 6,2 e 6,3) e SPD com cultivo de feijão e plantas de cobertura como mucuna (*Mucuna aterrima*) (pH 6,1 e 6,2), sorgo (*Sorgum technicum*) (pH 6,2 e 6,1) e crotalária (*Crotalaria juncea*) (pH 6,1 e 6,0) para as camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade, corroborando com os dados obtidos neste estudo.

Os altos valores de pH e índice SMP em todas as camadas e tratamentos analisados (Tabela 3), podem ser explicados pela aplicação de calcário feito no mesmo ano de coleta do solo. Fato este que também explica a ausência de Al e os teores adequados de Ca e Mg trocáveis do solo. A aplicação de calcário gera oxidrilas e bicarbonatos, a partir da dissolução dos carbonatos capazes de neutralizar os cátions de hidrogênio e alumínio (Meurer; Bissani; Carmona, 2012).

Com relação ao teor disponível P entre os tratamentos, os maiores valores foram encontrados no SPD e SPDH para a camada de 0-10 cm (Tabela 3). No SPD e SPDH, devido ao não revolvimento do solo, há um menor contato do P com os coloides organo-minerais, o que provoca diminuição das reações de adsorção e acompanha o aumento dos teores

matéria orgânica superficial (Tabela 4, com maiores teores de COT no SPDH), cuja mineralização, lenta e gradual, proporciona o surgimento de formas orgânicas de P menos suscetíveis às reações de adsorção (Lopes *et al.*, 2004; Anghinoni, 2007). Comportamento contrário ocorreu no SPC, onde a menor disponibilidade de P pode estar relacionada ao revolvimento do solo, que promove maior contato do íon fosfato com as cargas dos colóides do solo aumentando a atividade de adsorção do solo (Anghinoni, 2007). Resguardando os devidos teores, Santana *et al.* (2018) também observaram maior teor de P em tratamento de SPD comparado ao SPC. Contudo, em sistemas onde não há revolvimento do solo, os fertilizantes aplicados a lanço ou no sulco tem elevado os teores de P apenas nas camadas mais superficiais, onde há dissolução do grânulo, não alterando os teores nas camadas subsuperficiais (Casali *et al.*, 2016). Estes resultados corroboram aos obtidos neste estudo, já que os maiores valores de P estão contidos nas camadas mais superficiais analisadas (Tabela 3).

Para o teor de K trocável, na camada de 0 a 5 cm, os maiores valores foram encontrados no tratamento SPD, já na camada de 10 a 30 cm, o tratamento SPDH apresentou os maiores teores (tabela 4). No SPD e no SPDH, devido ao não revolvimento do solo, o manejo realizado preserva a planta e seus resíduos sobre o solo, propiciando um aumento da MO, principalmente no SPDH. Desta forma torna a adubação potássica mais eficiente, principalmente em função de sua reciclagem via plantas de interesse econômico (no caso do milho no SPD) e de cobertura do solo, no caso do consórcio de milho+mucuna+girassol no caso do SPDH.

Em um estudo realizado por Boer *et al.* (2007), ao analisarem a ciclagem de nutrientes por três plantas de cobertura na entressafra no Cerrado, verificaram que o milho em comparação a outras espécies apresentou maior capacidade de acúmulo de potássio em sua biomassa, sendo este nutriente o de liberação mais rápida (75,5% do K liberado pelo milho até os 30 dias após a dessecação das plantas de cobertura). Estes resultados corroboram os maiores valores de K no SPDH na camada de 10-30 cm, que faz uso do milho no consórcio de plantas de cobertura. Considerando a rápida liberação de K pelo milho conforme o estudo citado acima e visto que o K é um elemento altamente móvel no solo, é possível inferir que a maior parte ciclada deste nutriente pelo milho se acumulou em subsuperfície.

Em um trabalho realizado por Lanzasova *et al.* (2023), ao avaliarem a influência de diferentes plantas de cobertura nos atributos químicos do solo, verificaram que os teores de

K disponível para as camadas de 0-7 cm e 13-20 cm, dos tratamentos SPD com milho grão e SPD com mix de plantas de cobertura não diferiram entre si, contrapondo os resultados obtidos para o estudo presente.

**Tabela 4.** Teores trocáveis de K, H+Al, Al, Ca e Mg.

Tratamento	Prof. (cm)	K	H+Al	Al	Ca	Mg
cmolc dm <sup>3</sup>						
SPC	0 - 5	0,41 B	2,79 A	0,00 ns	8,26 ns	3,73 ns
SPD		0,56 A	2,53 B	0,00	8,92	4,44
SPDH		0,40 B	2,61 B	0,00	8,98	4,70
CV (%)		15,44	5,87	0,00	12,40	24,25
SPC	5 - 10	0,42 ns	2,58 ns	0,00 ns	7,23 ns	2,98 ns
SPD		0,45	2,46	0,00	5,75	2,34
SPDH		0,34	2,50	0,00	5,20	2,39
CV (%)		24,77	5,22	0,00	24,18	40,85
SPC	10 - 30	0,17 C	2,58 A	0,00 ns	6,75 A	2,17 A
SPD		0,28 B	2,41 B	0,00	5,88 A	1,35 B
SPDH		0,42 A	2,52 A	0,00	4,53 B	1,32 B
CV (%)		23,23	3,60	0,00	19,87	20,18

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns=não significativo pelo teste Scott-Knott ( $p<0,05$ ). CV= coeficiente de variação.

O revolvimento do solo aplicado no tratamento SPC acarreta numa maior diluição do K nas camadas analisadas, já que são anualmente incorporados pelo manejo (Brown *et al.*, 2016). Além da calagem promover a mudança do pH e reduzir o efeito tóxico do alumínio, também é um insumo que fornece cálcio e magnésio (Oliveira *et al.*, 2005) e assim a superfície dos minerais e da matéria orgânica passam a ser ocupadas por esses nutrientes, aumentando seus teores trocáveis no solo (Meurer; Bissani; Carmona, 2012). Este fato é comprovado pela ausência de alumínio trocável e dos elevados valores de Ca e Mg em todos os tratamentos, tanto em superfície como em subsuperfície (Tabela 4). Destaca-se que no SPC foram observados maiores valores de Ca e Mg na camada de 10-30 cm. Isto pode ser decorrente das práticas de aração e gradagem, que além de revolver o solo, fragmentam os resíduos vegetais do milho, assim pode favorecer a mobilização do Ca e Mg para as camadas mais profundas em relação aos tratamentos sem revolvimento do solo.

Em relação aos teores e estoques de COT e NT, para as camadas avaliadas que apresentaram diferenças ( $p<0,05$ ), o SPDH apresentou os maiores valores em relação aos demais, com exceção da camada de 5-10 cm que não houve diferença (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teores de COT, NT e estoques de C e N nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 30 cm.

Tratamento	Prof. (cm)	COT	NT	Est - C	Est - N
		g kg <sup>-1</sup>		Mg ha <sup>-1</sup>	
SPC	0 - 5	26,50 B	24,00 B	9,59 B	0,87 B
SPD		27,52 B	26,40 B	10,16 B	0,97 B
SPDH		34,94 A	34,80 A	12,36 A	1,23 A
CV (%)		11,10	12,61	12,96	14,01
SPC	5 - 10	21,58 B	24,60 ns	8,08 ns	0,88 ns
SPD		22,54 B	27,80	7,99	1,03
SPDH		27,24 A	33,60	9,69	1,19
CV (%)		10,27	19,61	16,55	22,73
SPC	10 - 30	19,02 B	20,80 B	29,07 A	3,54 B
SPD		19,72 B	26,60 B	31,26 A	4,10 B
SPDH		25,54 A	35,60 A	35,01 A	4,99 A
CV (%)		18,25	22,06	10,60	14,55

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns=não significativo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). CV= coeficiente de variação.

Os menores teores e estoques de COT e NT encontrados no SPC são resultantes do revolvimento periódico do solo por meio das práticas de aração e gradagem, promovendo a ruptura da sua estrutura, com conseqüente aumento da mineralização dos resíduos vegetais e perda do C e N para a atmosfera em forma de CO<sub>2</sub> (Giumbelli *et al.*, 2021; Camara, 2022).

A ausência de diferenças entre os teores e estoques de COT e NT de SPC e SPD, é resultado das sucessivas incorporações dos resíduos vegetais da cultura do milho (de 2011 a 2023), que por ter uma elevada relação C/N (Tabela 2), favorece a imobilização de nutrientes, com decomposição lenta dos resíduos vegetais, o que acarreta aumento do C e N no solo. Resultados semelhantes em estudo realizado na mesma área de avaliação com a cultura da cebola, foram relatados por Giumbelli *et al.* (2021), porém com dados coletados durante o ano de 2016, nos quais foram obtidos menores quantidades de matéria orgânica leve, COT e NT do solo em SPC e SPD em comparação ao SPDH com uso de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo

Um estudo realizado por Melo *et al.* (2016) ao avaliarem os teores de COT em SPDH e SPC com o cultivo de repolho, observaram maiores teores tanto na camada de 0 a 5 cm, como na de 5 a 10 cm, assim como nos estoques de COT. Sendo explicado pelo não revolvimento e acúmulo de matéria seca sob a superfície do solo no sistema SPDH, funcionando como a principal entrada para a formação do COT (Redin *et al.*, 2016). Aliado a isto, a utilização de diferentes espécies vegetais promove uma exploração do perfil maior, o que favorece o acúmulo de C pela rizodeposição e mineralização na massa microbiana do N presente na fitomassa (Puglisi *et al.*, 2009; Loss *et al.*, 2015; Prasad *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2021).

Com relação ao estoque de carbono para a camada de 0 a 10 cm, o SPDH apresentou 17,7% e 19,8% a mais em relação aos tratamentos SPD e SPC, respectivamente (Tabela 6). De certa forma, estas diferenças são mantidas quando somados os teores dos estoques na camada de 0 a 30 cm, sendo superior na ordem de 13,4% e 18,1% em relação ao SPD e SPC, respectivamente.

**Tabela 6.** Estoques de carbono e nitrogênio nas camadas 0 a 10 cm e 0 a 30 cm.

Tratamento	Prof. (cm)	Est - C	Est - N
Mg ha <sup>-1</sup>			
SPC	0 - 10	17,67 B	1,75 B
SPD		18,15 B	2,00 B
SPDH		22,05 A	2,42 A
CV (%)		12,15	13,12
SPC	0 - 30	46,74 B	5,29 B
SPD		49,41 B	6,10 B
SPDH		57,06 A	7,41 A
CV (%)		9,90	13,64

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns=não significativo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). CV= coeficiente de variação.

Os menores valores para estoques de C e N no SPC se explicam pela falta de proteção que a matéria orgânica tem a partir do revolvimento do solo, que provoca a desagregação do solo, expondo este material (que inicialmente estava protegido) aos microrganismos e ao ar, desencadeando as atividades de agentes decompositores (Tschiedel, 2023). Neste sentido, faz-se necessário estudos que correlacionem a agregação do solo, com a capacidade de estoque de C e N do solo.

Verificando-se a quantidade adicionada de massa seca remanescente em superfície por cada tratamento e correlacionando com os resultados obtidos para os estoques de C e N do solo, pode-se inferir que mesmo que o SPDH tenha valores de MS semelhantes ao SPD (Tabela 2), o SPDH se mostrou superior para os estoques de C e N. Desta forma, sabendo-se que a quantidade de biomassa é igual e que o preparo do solo é praticamente o mesmo, pode-se inferir por meio da equação 1, onde  $k_1$  é a taxa de humificação,  $k_2$  é o coeficiente de oxidação anual de carbono,  $A$  é a adição anual de C ao solo e  $C$  é o teor de COT do solo; que há o tratamento SPDH é superior ao SPD para o  $k_1$ , já que a adição de C anual é maior no SPD (correlacionando a relação C/N com a massa seca adicionada em superfície) e o coeficiente de oxidação é o mesmo, lembrando que ambos os sistemas não revolvem o solo e portanto a oxidação é baixa.

$$\frac{dC}{dt} = (k1 \times A) - (k2 \times C)$$

Equação 1

Fonte: Embrapa (2004).

### Conclusão

O SPD e o SPDH, por não revolverem o solo, favorecem os maiores teores de P disponível no solo em relação ao SPC. O consórcio de plantas de coberturas no SPDH é eficaz para aumentar os teores de K disponível em profundidade, assim como promover maiores teores e estoques de C e N em comparação aos tratamentos SPD (que não faz uso de plantas de cobertura) e o SPC (que além de não utilizar plantas de cobertura, tem a mobilização periódica do solo).

### Considerações finais

Há necessidade de que novos estudos sejam feitos, principalmente voltados às propriedades químicas do solo. Sendo assim, é necessário que ocorra planejamento para as coletas do solo, a fim de que diferenças entre estes sistemas sejam mais pronunciadas. Visto que o estudo também compara a fertilidade entre os tratamentos e que a cultura principal é a cebola, se torna necessária a coleta de solo antes do cultivo da cebola e não somente depois. Sendo assim, fica como sugestão para próximos trabalhos que irão avaliar as propriedades químicas, que a coleta de solo seja feita antes do cultivo da cebola.

### 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, 2001.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: SBCS, 2007. p. 873-928.

BARBER, S.A. **Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach**. 2nd Ed. John Wiley, New York, 1995.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em

rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

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

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, 2007.

BRANDANI, C B; SANTOS, D G. TRANSFORMAÇÕES DO CARBONO NO SOLO. In: CARDOSO, E J B N; ANDREOTE, F D. **MICROBIOLOGIA DO SOLO**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. p. 81-98.

BROWN, V.; BANDEIRA, D.H.; BARBOSA, F.T.; MUZEKA, L.; TOMILLO, A.G. Semeadura direta e plantio convencional na produção de três culturas soja, milho e feijão na região sul do Brasil. In: COMEMORAÇÕES DO ANO INTERNACIONAL DOS SOLOS – INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA, 2016, Beja. **Anais da Comemorações do Ano Internacional dos Solos – Instituto Superior de Agronomia**. [ S.I ]: [ S.I ], 2016. p. 1-5.

CÂMARA, P.H.S. **Influência da complexidade de diferentes sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**. 2022. 105 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

CAMPOS, B.H.C.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R.S.; FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.

CASALI, C.A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; CALEGARI, A.; PICCIN, R. BENEFÍCIOS DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO NA CICLAGEM DE FÓSFORO. In: TIECHER, Tales (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: [ S.I ], 2016. p. 24.

CHERUBIN, M. R.; VANOLLI, B.S.; SOUZA, L.F.N.; CANISARES, L.C.; PINHEIRO JUNIOR, C.R.; SCHIEBELBEIN, B.E.; CARDOSO, G.M.; LIMA, A.Y.V.; LUZ, F.B.; SOUZA, V.S.; BORTOLO, L.S.; MENILLO, R.B.; MENEGHINI, V.; GRESCHUK, L.; CARVALHO, M.L.; BORBA, D.A.; RODRIGUES, A.M.S.; MAROSTICA, M.E.M. **Guia prático de plantas de cobertura: espécies, manejo e impacto na saúde do solo**. Piracicaba: Esalq/Sohma, 2024.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; FERREIRA, E.P.B.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília - Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2018.

EPAGRI. **Sistemas de produção para a cebola**. Florianópolis: Gerência de Marketing e Comunicação (Gmc)/Epagri, 2013.

FERREIRA, D.F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.

FONSECA, J.S. **PLANTAS DE COBERTURA E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NO RENDIMENTO DE CULTURAS ESTIVAS**. 2017. 46 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

GIUMBELLI, L.D.; LOSS, A.; KURTZ, C.; MAFRA, A.L.; PICCOLO, M.C.; TORRES, J.L.R.; LOURENZI, C.R.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. Combinations of Plant Species for Rotation With Onion Crops: Effects on the Light Fraction, Carbon, and Nitrogen Contents in Granulometric Fractions of the Soil Organic Matter. **Journal of Agricultural Studies**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 202, 2021.

GOMES, L.C.; CARDOSO, I.M. PAPEL DA AGRICULTURA FAMILIAR NO SEQUESTRO DE CARBONO E NA ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Ciência e Cultura**. São Paulo, p. 40-43, 2021.

HIGASHIKAWA, F.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R. CONCEITO DE FERTILIDADE DO SOLO EM SPDH. In: EPAGRI. **SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS**: método de transição para um novo modo de produção. 2. ed. Florianópolis: Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (Demc) - Epagri, 2019. Cap. 5. p. 87-95.

JAMIL ABDALLA FAYAD. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) (org.). **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) - O cultivo da Cebola**. Florianópolis: Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (Demc), 2018. 78 p.

KOGUT, Petro. **Degradação Do Solo: Efeitos Nocivos E Soluções Eficazes**. 2023. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/degradacao-do-solo/#:~:text=A%20degrada%C3%A7%C3%A3o%20da%20terra%20%C3%A9,para%20aumentar%20imediatamente%20seus%20rendimentos..> Acesso em: 24 jun. 2024.

KURTZ, C.; JÚNIOR, F. O. G. M.; HIGASHIKAWA, F. S. **FERTILIDADE DO SOLO, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO DA CULTURA DA CEBOLA**. Florianópolis: EPAGRI, 2018. 106 p. (Boletim técnico, n. 184).

KURTZ, C.; ERNANI, P.R.; PAULETTI, V.; MENEZES JUNIOR, F.O.; VIEIRA NETO, J. Produtividade e conservação de cebola afetadas pela adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Horticultura Brasileira**, [S.I.], v. 31, n. 4, p. 559-567, 2013.

LANZANOVA, M.E.; STEINHAUS, J.R.; SILVA, D.M.; GUERRA, D.; SOUZA, E.L.; PELIZZON, M.G.; GULART, E.A.; BOHRER, R.E.G. Influência de plantas de cobertura em atributos do solo e produtividade do trigo em sistema plantio direto. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [S.L.], v. 21, n. 6, p. 4948-4967, 2023.

LIMA, C.E.P.; GUEDES, I.M.R.; SILVA, J. da.; ALCÂNTARA, F.A.; MADEIRA, N.R.; CARVALHO, A.D.F.; FONTENELLE, M.R. Effects of Five Years Adoption of No-Tillage Systems for Vegetables Crops in Soil Organic Matter Contents. **Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 117–128, 2018.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 9, n. 6, 2013.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B.S.; KOUCHER, L.P.; OLIVEIRA, R.A. de.; KURTZ, C.; LOVARTO, P.E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. CARBONO ORGÂNICO TOTAL E AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO AGROECOLÓGICO E CONVENCIONAL DE CEBOLA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

SENRA, A.F.; LOUZADA, R.O.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A. de.; MOCHIVICTOR, D. Resistência à penetração em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias** (16): 31-36 (2007).

MASSON, I.; ARL, V.; WUERGES, E.W. TRAJETÓRIA, CONCEPÇÃO METODOLÓGICA E DESAFIOS ESTRATÉGICOS JUNTO AO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS (SPDH). In: EPAGRI. **SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS: método de transição para um novo modo de produção**. 2. ed. Florianópolis: Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (Demc), 2019. Cap. 1. p. 27-33.

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F. de. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

MELO, G.B.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R.F.; SOARES, P.F.C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira: Pesquisa agropecuária brasileira**, [S.L.], v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

BISSANI, C.A.; MEURER, E.J.; CARMONA, F.C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. **FUNDAMENTOS DE QUÍMICA DO SOLO**. 5. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. Cap. 6. p. 155-175.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHIN, J.C.; SILVA, V.R. da. BENEFÍCIOS DAS PLANTAS DE COBERTURA SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO. In: TIECHER, T. (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: [ S.I ], 2016. p. 34.

MOREIRA, F M; SIQUEIRA, J O. Transformações bioquímicas e ciclo dos elementos no solo. In: MOREIRA, F M s; SIQUEIRA, J O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora Ufla, 2006. Cap. 7. p. 338-364.

NICHOLLS, C.I.; ALTIERI, M.A.; VAZQUEZ, L.; VENTURA, B.S.; FERREIRA, G.W.; COMIN, J.J. SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS: PRINCÍPIOS DE TRANSIÇÃO PARA SISTEMAS DE PRODUÇÃO ECOLÓGICOS E REDESENHO DE PROPRIEDADES FAMILIARES. In: EPAGRI. **SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS: método de transição para um novo modo de produção**. 2. ed. Florianópolis: Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (Demc) - Epagri, 2019. Cap. 3. p. 57-60.

OLIVEIRA, R.A. de.; BRUNETO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L.C.; KURTZ, C.; MÜLLER JUNIOR, V.; LOVATO, P.E.; OLIVEIRA, B.S.; SOUZA, M.; COMIN, J.J. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 40, p. 1–17, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **FAOSTAT**. 2024. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 12 abr. 2024.

PEREIRA, J.C.; MILLER, P.R.M. **A introdução da mucuna em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2000. 30 p.

PILLON, C N; MIELNICZUK, J; MARTIN NETO, L. **Ciclagem da Matéria Orgânica em Sistemas Agrícolas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 27 p.

PIVA, B.N.; BERTOL, I.; SANTOS, D.N.; MUMBACH, G.L.; KAULING, A.; OLIVEIRA, M.F. de. PREPARO CONVENCIONAL CONVERTIDO PARA SEMEADURA DIRETA: EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NO MILHO. **Revista Científica de La Asociación Argentina de La Ciencia del Suelo**, [S.I.], v. 42, n. 1, p. 1-26, 2024.

PRASAD, J. V. N. S.; RAO, C.S.; SRINIVAS, K.; JYOTHI, C.N.; VENKATESWARLU, B.; RAMACHANDRAPP, B.K.; DHANAPAL, G.N.; RAVICHANDRA, K.; MISHRA, P.K. Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 156, p. 131–139, 2016.

PUGLISI, E.; FRAGOULIS, G.; RICCIUTI, P.; CAPP, F.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; TREVISAN, M.; CRECCHIO, C. Effects of a humic acid and its size-fractions on the bacterial community of soil rhizosphere under maize (*Zea mays* L.). **Chemosphere**, [S. l.], v. 77, n. 6, p. 829– 837, 2009.

PULLEMAN, M.M.; SIX, J.; VAN BREEMEN, N.; JONGMANS, A.G. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. **European Journal of Soil Science**, [S. l.], v. 56, n. 4, p. 453–467, 2005.

REDIN, M.; GIACOMINI, S.J.; FERREIRA, P.A.A.; ECKHARDT, D.P. PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: ESPÉCIES, MATÉRIA SECA E CICLAGEM DE CARBONO E NITROGÊNIO. In: TIECHER, T. (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: [ S.I ], 2016. p. 7.

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

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1998. 254 p.

SANTANA, J.; LIMA, E.; KOMATSU, R.; SILVA, W.; RIBEIRO, M.I. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL. **Enciclopédia Biosfera**, [S.L.], v. 15, n. 27, p. 22-42, 2018.

SILVA, C.S.R. A.; SILVA, J.B. da.; AFONSO, M.S.; CARMO, C.B.S. do.; ARAÚJO, E.S.; PINHEIRO, E.F.M. Avaliação de diferentes práticas de manejo sob cultivo orgânico de hortaliças na densidade do solo em Seropédica (RJ). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 11., 2020, São Cristóvão, Sergipe. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia**. São Cristóvão, Sergipe: [ S.I ], 2020. p. 1-6.

SILVA, M.A.; NASCENTE, A.S.; FRASCA, L.L.M.; REZENDE, C.C.; FERREIRA, E.A.S.; FILIPPI, M.C.C. de. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da

qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1-11, 2021.

SILVA, M.P. da.; ARF, O.; SÁ, M.E. de.; ABRANTES, F.L.; BERTI, C.L.F.; SOUZA, L.C.D. de.; ARRUDA, N. Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 24, p. 233-243, 2014.

SOUZA, J.L. de; GUIMARÃES, G.P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v.29, p.1796-1805, 2013.

SOUZA, M.; MÜLLER JÚNIOR, V.; KURTZ, C.; VENTURA, B.S.; LOURENZI, C.R.; LAZZARI, C.J.R.; FERREIRA, G.W.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; COMIN, J.J. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under no-tillage system with cover crops. **Soil and Tillage Research**, [S. 1.], v. 208, 2021.

SOUZA, S.R. de.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R. de.; SANTOS, L.A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. Cap. 9. p. 309-312.

TEDESCO, J.M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. Acesso em: 24 abr. 2024.

TEZOLIN, T.A.; MONTEIRO, F.N.; FALCÃO, K.S.; MENEZES, R.S.; XIMENES, T.S.; PANACHUKI, E.; CARVALHO, L.A. de. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-15, 2021.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1609-1618, 2008.

TORRES, J.L.R.; CUNHA, M.A.; PEREIRA, M.G.; VIEIRA, D.M.S. CULTIVO DE FEIJÃO E MILHO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 117-125, 2014.

TSCHIEDEL, R. **AGREGAÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO PARA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**. 2023. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2023.

VARGAS, V.; COSER, T.; SOUZA, T.R. de.; BRENTROP, F.; HESAN, M.; NEVES, C.; BUNGENER, S.; OTTO, R.; CARVALHO, M.C.S.; GUELFY, D.; CANTARELLA, H. Pegada de Carbono na Agricultura: Rumo à produção agrícola neutra e integrada com a indústria. **Informações Agronômicas e Nutrição de Plantas (Npct)**. Piracicaba, p. 5-23. 2023. Disponível em: <<https://www.npct.com.br/publication/IASite.nsf/pub/available/IA-2023-20?OpenDocument&toc=2023>>. Acesso em: 12 abr. 2024.