

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE SANTANA DO LIVRAMENTO
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

RÚBEN FERNANDO DE LARA

RESPOSTA DA SOJA A AUSÊNCIA E A PRESENÇA DE COBERTURA MORTA

SANTANA DO LIVRAMENTO

2021

RÚBEN FERNANDO DE LARA

RESPOSTA DA SOJA A AUSÊNCIA E A PRESENÇA DE COBERTURA MORTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em Agronomia na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Gonçalves Kruger

SANTANA DO LIVRAMENTO

2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

L318r Lara, Rúben Fernando de.

Resposta da soja a ausência e a presença de cobertura morta / Rúben Fernando de Lara. - Santana do Livramento, 2021.
47 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Unidade Universitária em Santana do Livramento, 2021.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Gustavo Krüger Gonçalves.

1.Conservação. 2.Plantio direto. 3.Sustentabilidade. I.Gonçalves, Gustavo Krüger.
II.Título.

RÚBEN FERNANDO DE LARA

RESPOSTA DA SOJA A AUSÊNCIA E A PRESENÇA DE COBERTURA MORTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em Agronomia na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Krüger Gonçalves

Aprovado em: 26/11/2021.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Krüger Gonçalves
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Leonardo de Melo Menezes
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Eng^a. Agr^a. Rodrigo de Moraes Galarza

RESUMO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é um sistema conservacionista do solo caracterizado pela ausência de revolvimento, cobertura permanente e diversificação de culturas. A cobertura do solo influencia nas características físicas, químicas e biológicas. Em função do exposto, foi realizado um experimento para comparar a influência da ausência e presença de cobertura morta no desempenho agrônomo da soja. O experimento foi realizado no Campus Rural da UERGS em Santana do Livramento. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram os seguintes: T1: Pousio - Soja SPC (sistema de preparo convencional), T2: Azevem - Soja SPD, T3: Aveia Preta - Soja SPD. Os resultados demonstraram menor produção de massa verde e seca da parte aérea no tratamento que permaneceu em pousio em relação ao azevem e a aveia preta. Além disso, a presença de plantas de cobertura proporcionou maior teor de umidade do solo e menores temperaturas quando comparada ao pousio. O número de grãos por vagem e massa de mil grãos e a produtividade da soja foram superiores com a presença de plantas de coberturas quando comparados ao pousio. Conclui-se que a presença de cobertura morta afetou o desempenho agrônomo da soja.

Palavras-chave: conservação, plantio direto, sustentabilidade.

ABSTRACT

A No-till system (NT) is a soil conservationist system characterized by the lack of tillage, permanent soil cover, and cropping diversification. Soil cover influences physical, chemical, and biological characteristics. For this reason, an experiment was conducted to compare the influence of presence and lack of mulching on Soybean yield components. The experiment was deployed on UERGS Rural Campus, in Santana do Livramento. The design was a randomized block design with four replications. The treatments were T1: Fallow - Soybean CT (conventional tillage), T2: Ryegrass - Soybean NT, T3: Black oat - Soybean NT. The results demonstrated less shoot fresh and dry matter in treatment that remained fallow compared to ryegrass and black oat. Moreover, the treatments consisting of mulch had a higher number of seeds per pod (NGV), 1000-seed weight (MMG), and yield, compared to the lack of soil cover. It is concluded that the presence of mulch affected the agronomic performance of soybean.

Keywords: conservation, no-till, sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 01 - Vantagens e desvantagens do preparo convencional	28
Figura 01 - Precipitação (mm), temperatura média diária (°C), e estádios fenológicos durante o cultivo de verão	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Resultados da análise química do solo antes do experimento	34
Tabela 02 - Produção de matéria verde (MV) e seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura no inverno de 2019	36
Tabela 03 – Temperatura da superfície do solo e umidade gravimétrica na camada 0-0,10m do solo no atingimento dos estádios R1, R3 e R5 da Soja.	37
Tabela 04 - Número de grãos por vagem (NGV), Massa de 1000 grãos (MMG) e Produtividade para a cultura de soja.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	CONCEITO, FORMAÇÃO E FUNÇÕES DO SOLO NO ECOSSISTEMA	12
2.2	DEGRADAÇÃO DO SOLO	13
2.2.1	Conceito de Degradação do Solo	13
2.2.2	Causas da degradação do solo	15
2.2.3	Tipos de degradação do solo	18
2.2.3.1	Erosão	18
2.2.3.2	Desertificação	19
2.2.3.3	Compactação	19
2.2.3.4	Perdas de nutrientes	21
2.2.3.5	Acidificação.....	21
2.2.3.6	Contaminação	23
2.2.3.7	Perda de carbono e biodiversidade	24
2.2.3.8	Salinização.....	26
2.3	PREPARO CONVENCIONAL DO SOLO (SPC).....	27
2.4	SISTEMA CONSERVACIONISTA DO SOLO.....	28
2.5	SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O solo possui inúmeras funções no ecossistema, destacando-se do ponto de vista agrônomo a sustentação e o fornecimento de água às plantas. Além disso, atenua os possíveis impactos negativos de contaminação pelo manejo inadequado de agroquímicos.

Dentre as inúmeras causas de degradação do solo, destaca-se as mudanças na intensidade de seu uso, que se realizadas de maneira inadequada podem levar a erosão.

O processo de erosão do solo ocorre de forma natural ao longo do tempo geológico, contribuindo para sua formação. Entretanto, a atividade humana, porém, intensifica o processo e promove a sua aceleração (com taxas que excedem a capacidade de formação do solo) mediante excessiva mobilização e revolvimento, desmatamento e sobrepastoreio, configurando um risco ambiental.

A mobilização e revolvimento do solo na agricultura ocorrem principalmente com a utilização do Sistema de Preparo Convencional do solo (SPC), que consiste na ausência de cobertura, com sucessivas operações de aração e gradagens, provocando o rompimento dos agregados, perda de matéria orgânica e aumento do processo erosivo.

Uma das formas de prevenir a ocorrência ou continuidade da erosão é a utilização de sistemas conservacionistas do solo, como o Sistema Plantio Direto (SPD).

O SPD fundamenta-se no revolvimento mínimo do solo, na sua cobertura permanente e na rotação de culturas.

A cobertura do solo em cultivos envolvendo graminíferas e pastagens é atribuída a presença da cobertura viva e cobertura morta (palhada) ao longo do ano inteiro, as quais devem estar inseridas em rotação. Essa cobertura promove alterações nas características físicas, química e biológicas do solo, bem como nas condições térmicas e hídricas do solo.

A cobertura funciona inicialmente como atenuadora ou dissipadora de energia, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, atua como obstáculo do movimento superficial do excesso de água não infiltrada e impede o transporte e o arrastamento de partículas pela enxurrada. Entretanto, em relevo com declividades maiores e comprimento de rampa extenso, a necessidade de utilização de outras práticas de conservação como a construção de terraços.

A melhoria das características físicas, químicas e biológicas com a presença da cobertura do solo, deve-se a formação da matéria orgânica do solo (MOS) decorrente do acúmulo de palhada ao longo do tempo de adoção do SPD. Do ponto de vista físico, a

melhoria na agregação do solo promove aumento na retenção e infiltração de água, além da melhor aeração, beneficiando o desenvolvimento radicular das plantas. Do ponto de vista químico, o acúmulo de MOS, reduz a atividade do alumínio tóxico e aumenta a disponibilidade de nutrientes, em especial, nitrogênio, fósforo e enxofre, já que os mesmos existem na forma orgânica no solo. Do ponto de vista biológico, o acúmulo de MOS, aumenta a disponibilidade de carbono, o qual é uma fonte para o desenvolvimento dos microorganismos heterotróficos.

A presença de cobertura morta diminui a evaporação, aumentando a infiltração e o armazenamento de água no solo, promovendo na camada mais superficial, temperaturas mais amenas ao desenvolvimento de plantas e organismos. Isso pode influenciar diretamente o desenvolvimento de plantas graníferas em sucessão a cobertura morta especialmente em épocas onde ocorre escassez de precipitação pluviométrica, havendo uma dependência das plantas aos teores de umidade do solo.

Em função do exposto, foi realizado um trabalho para avaliar a influência da presença e da ausência da cobertura morta no desempenho agrônômico da soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Visando embasar o presente trabalho, foi realizada uma breve revisão bibliográfica visando um referencial teórico sobre o sistema solo e a influência das coberturas e do sistema de cultivo sobre os processos de degradação.

2.1 CONCEITO, FORMAÇÃO E FUNÇÕES DO SOLO NO ECOSISTEMA

O solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (SANTOS et al. 2018).

A formação dos solos é decorrente da interação entre os fatores de formação dos solos (clima, organismos, relevo, material de origem e tempo). Essa interação dá origem aos processos de formação dos solos (adição, perda, transformação, translocação). A adição corresponde a entrada de materiais, por outro lado, a perda é a remoção de materiais. A transformação constitui na modificação dos constituintes do solo, seja de natureza física ou química e a translocação implica na movimentação do material orgânico e inorgânico no solo (PEREIRA et al., 2019).

O solo não é um sistema fechado, na verdade, possui várias funções muito importantes no ecossistema: sustentar o crescimento das plantas, pelo fornecimento de suporte mecânico, água e nutrientes. As características dos solos determinam o destino da água na superfície da terra, a perda de água, sua utilização, contaminação e purificação são todas afetadas pelo solo. O solo desempenha um papel essencial na reciclagem de nutrientes e destino que se dá aos corpos de animais e restos de plantas que morreram na superfície da terra, além de ser o habitat de muitos organismos. E por último, os solos fornecem o material e a fundação base para a construção de casas e edifícios. (COELHO et al., 2013). Além disso, também são considerados serviços ecossistêmicos do solo: regulação climática pela regulação de gases como CO₂, N₂O e CH₄, fornecimento de materiais brutos, refúgio de animais, e serviços culturais como lazer, preservação cultural de paisagens, locais sagrados e sítios arqueológicos (FAO, 2015).

O solo é, portanto, um recurso-chave para o homem, pois além de ser o centro de criação de diversos bens e serviços, também provê serviços ecossistêmicos relevantes para a regulação global do clima e água. Não há como desconsiderar que qualquer interferência humana ou natural nas suas propriedades físicas químicas e biológicas refletirá nas demais funções do solo para o ecossistema (FAO, 2015).

2.2 DEGRADAÇÃO DO SOLO

Conceituando-se a degradação do solo, é possível determinar suas causas e consequências, e sua ligação com as atividades antropogênicas, principalmente aquelas ligadas à agricultura.

2.2.1 Conceito de Degradação do Solo

Quando a interferência no sistema solo é negativa, poderá ocorrer o fenômeno da degradação. Em norma técnica, a International Organization for Standardization, considera a degradação da terra como a forma de degradação do potencial natural da terra, que afeta a integridade do ecossistema, reduzindo tanto a sua produtividade ecológica sustentável, quanto a riqueza biológica nativa e resiliência (ISO, 2017).

Já para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, a degradação do solo é uma mudança na sua condição, resultando em uma diminuição da capacidade do ecossistema de prover bens e serviços. A diferença entre degradação do solo e degradação da terra, é que esta cobre as mudanças negativas na capacidade do ecossistema em prover os bens e serviços e também contempla os bens e serviços biológicos, água, e outros relativos à terra (FAO, 2020).

Pela legislação brasileira, a degradação pode ser definida como o conjunto de “processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” (BRASIL, 1989).

A degradação, que pode ocorrer com a interferência humana ou natural, tem suas causas e efeitos imediatos mais ou menos percebidos por determinadas áreas da economia ou sociedade.

Em relação a essa percepção, no campo da engenharia civil e mineração, as intervenções humanas têm impacto acentuado, porém em áreas pontuais, ou seja, relativamente em menores áreas (TAVARES et al., 2008).

Por exemplo, a tomada das terras pela urbanização promove a impermeabilização do solo, com a construção de superfícies artificiais como asfalto e concreto, há a degradação definitiva. Dependendo da densidade da área urbana e tipo de utilização, a impermeabilização pode chegar até a 95% da área. Conseqüentemente, os serviços ecossistêmicos de produção de alimentos, estoque de carbono, infiltração e purificação da água são diminuídos (FAO, 2015).

Já na atividade de mineração, a degradação depende do tipo de material minerado e do método de extração. A mineração subterrânea, tem menor impacto do que a mineração de superfície, e apesar da atividade mineradora, por si, afetar áreas relativamente pequenas, grandes impactos ocorrem na deposição de rejeitos e nas operações de fundição e refino do material (FAO, 2015).

Quando a degradação é ligada a área da agricultura, a grande diferença, é que ao contrário do que ocorre com as atividades de urbanização e mineração, as atividades agropecuárias apresentam-se como exemplos de situação cujo impacto é variável, mas com conseqüências normalmente difusas, ou seja, podem passar despercebidas por ocuparem grandes extensões e serem pouco evidentes (TAVARES et al., 2008).

A complexidade dos processos de degradação e de recuperação de áreas degradadas deve-se aos inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos envolvidos. Do ponto de vista agrônomo, para a caracterização da degradação, alguns atributos físicos, químicos e biológicos devem ser considerados, pois a perturbação desses atributos pode reduzir ou inviabilizar a atividade agrônoma. Para os atributos químicos, deve-se dar maior atenção aos níveis de acidez ativa e trocável, cálcio e magnésio trocáveis, sódio e potássio trocáveis, carbono orgânico, nitrogênio total e metais pesados. Os atributos físicos mais importantes são: a densidade, densidade de partículas e condutividade elétrica. Já com relação aos atributos biológicos, os níveis de carbono da biomassa microbiana, fauna do solo e diversidade microbiana (TAVARES et al., 2008).

2.2.2 Causas da degradação do solo

As principais causas da degradação dos solos são as seguintes: desflorestamento e remoção da vegetação natural; superpastejo; mudanças de intensidade do uso da terra; superexploração da vegetação para uso doméstico e atividades industriais.

O desflorestamento consiste na remoção de florestas, através da queima e da derrubada, objetivando principalmente o uso da área para a utilização da pecuária extensiva e da mineração. Também, há substituição da vegetação nativa pelo monocultivo de espécies em SPC.

O desflorestamento e a remoção da vegetação natural intensificam o processo de erosão, ocasionando a perda superficial de carbono orgânico e nutrientes que estão localizados superficialmente. Além disso, ocorre a degradação biológica do solo, já que os organismos heterotróficos são dependentes do carbono do solo. A degradação física ocorre através da desagregação dos agregados expostos, os quais serão dispersos e as partículas em tamanho reduzido irão ocupar os poros, ocasionando a compactação (FAO, 2015).

A degradação de pastagens pelo superpastejo é fenômeno relativamente comum e uma das principais limitações para a sustentabilidade da atividade pecuária, causando prejuízos econômicos e ambientais. Em termos gerais, pastagem degradada pode ser definida como espaço com diminuição da produtividade (redução forte do poder de suporte) que seria esperada para aquela área (DIAS-FILHO, 2015).

As causas da degradação de pastagens variam dependendo de cada situação específica e frequentemente decorrem de um conjunto de fatores. De acordo com Dias-Filho (2015) as principais causas são:

- a) práticas inadequadas de pastejo, como o uso de taxas de lotação ou períodos de descanso que não levam em consideração o ritmo de crescimento da forrageira;
- b) práticas inadequadas de manejo da pastagem, como a ausência de restauração periódica da fertilidade via adubação;
- c) falhas no estabelecimento da pastagem causadas pelo preparo inadequado da área, uso de sementes de baixo valor cultural, semeadura em época imprópria, ou pela exposição inadequada ao primeiro pastejo, por este ser realizado muito tarde ou prematuramente;
- d) fatores bióticos, como ataques de insetos-praga e patógenos (doenças) e ocorrência de plantas invasoras;

e) fatores abióticos, como o excesso ou a falta de chuvas, a baixa fertilidade natural e a drenagem deficiente.

A pressão sobre a intensidade do uso das terras nas últimas décadas pode ser explicada, no lado da demanda por três principais fatores: abastecer as necessidades de alimentos, fibras e materiais de uma população em ascensão; aumento no consumo de carne por nações em desenvolvimento; e demanda crescente de produção de biocombustíveis. No lado da oferta, os assentamentos urbanos ocupam cada vez mais espaço, diminuindo a área relativa para a agricultura (FAO, 2015).

O aumento na frequência das colheitas é utilizado para a intensificação do uso da terra. Aproximadamente 9% no aumento da produção entre 1961 e 2007 foi oriunda do aumento da frequência das colheitas. Com mais áreas com colheitas múltiplas, a área global colhida aumentou quatro vezes mais do que a área plantada entre 2000 e 2011. Além disso, a produção em estufas ou ambientes protegidos possibilitou cultivos com alta intensificação com até 5 colheitas por ano (FAO, 2015).

Com esta intensificação, ocorre um dos fatores degradativos relacionados diretamente à fertilidade, devido ao balanço negativo de nutrientes. Tal balanço considera as entradas de nutrientes no agroecossistema, menos as saídas. As entradas ocorrem pela adição de componentes inorgânicos e orgânicos (fertilizantes e químicos), fixação biológica, deposição atmosférica, deposição pela precipitação, sedimentação e escoamento superficial. As saídas ocorrem pela colheita de produtos ou alimentação de animais (forragem), lixiviação, emissões gasosas, erosão e escoamento superficial (FAO, 2015).

No Brasil, a lenha é o segundo combustível mais utilizado para cocção. A proximidade de florestas tem sido um fator decisivo para o uso da lenha pelas classes mais pobres. A lenha proveniente de matas nativas sempre foi considerada uma fonte inesgotável de madeira, no entanto a exploração descontrolada em regiões onde existiam abundantes coberturas florestais resultou no desmatamento, na degradação do solo, na alteração do regime das chuvas e na desertificação (GIODA, 2019).

Quando a utilização anual de lenha excede a produtividade sustentável, florestas e áreas revegetadas são destruídas gradualmente, causando a superexploração da vegetação para uso doméstico, pois a vegetação remanescente não fornece mais proteção suficiente contra a erosão (ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2005).

Dentre as atividades industriais que causam a degradação dos solos, destaca-se a mineração para obtenção de carvão, metais preciosos, calcário e fertilizantes.

No Brasil, a mineração exerce papel importante na economia, não só pela geração de empregos (cerca de um milhão de empregos diretos e indiretos) e de impostos, mas porque também representa um fator determinante no desenvolvimento de diversas cidades e microrregiões, sendo responsável por 3% do produto interno bruto (PIB), porcentagem que se eleva para 26% quando consideradas as etapas de transformação dos minerais explorados (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014)

A Região Sul, embora seja a menor região do país, ocupando cerca de 7% do território brasileiro, possui cerca de 25% (2.065) das empresas de mineração instaladas no país, ficando atrás apenas da Região Sudeste. Nessa Região destacam-se os depósitos de carvão (principalmente em Criciúma) e caulim, em Santa Catarina, talco (em Ponta Grossa), caulim e ouro no Paraná (IBRAM, 2012), e, no Rio Grande do Sul, a extração de pedras semipreciosas, especialmente ágata e ametista, e de materiais para a construção civil, como granito e basalto ornamental, pedra britada, areia e cascalho, argila e arenito, entre outros (BERTÊ, 1997). Além disso, o estado possui cerca de 90% das reservas nacionais de carvão mineral do país, e somente a jazida de Candiota detém 38% de todo o carvão nacional (ANEEL, 2008).

Em contraposição ao seu potencial econômico, entretanto, a mineração, quando mal gerenciada, pode se tornar uma atividade de elevado potencial de degradação ambiental e uma das maiores modificadoras da superfície terrestre, afetando, além da paisagem, o ecossistema como um todo (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014). Os efeitos ambientais adversos estão associados às diversas fases de exploração dos bens minerais, como: a abertura da cava (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local); o uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepessão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, gases, poeira, ruído); e o transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando, assim, o meio físico, biótico e antrópico (BACCI; LANDIM; ESTON, 2006).

Em resumo, a degradação ambiental, associada às atividades de mineração, envolve desmatamentos, remoção da camada fértil do solo, desagregação de material rochoso, assoreamento e modificação na morfologia do relevo e dos cursos d'água pela retirada de material e contaminação do solo e da água pela lixiviação do minério ou pelo uso de metais pesados no processo de separação do minério. Como exemplo disso, as áreas de mineração do carvão, como Candiota (RS) e o baixo Jacuí (RS), há constante possibilidade de alteração do pH das águas de superfície e subsuperfície e do solo, ligadas não só aos processos de mineração a céu aberto, mas também à lixiviação dos depósitos de minérios e de cinzas

resultantes da queima do carvão para produção de termelétricidade (BERTÊ, 1997). Nessas áreas, a oxidação de sulfetos metálicos que acompanham o minério promove a ocorrência de drenagem ácida e a solubilização de metais pesados, podendo trazer consequências danosas para uma área de influência muito além da área de lavra (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014)

Diante de casos como esse, percebe-se a importância de adotar medidas de recuperação da área degradada de modo a reparar os danos causados ao meio ambiente. Muitos países dispõem de dispositivos legais que obrigam as empresas mineradoras a promover a recuperação destas áreas. No caso do Brasil, os indicativos legais constam no artigo 225 da Constituição Federal de 1988 e no Decreto-Lei n. 97.632/89, os quais obrigam, como parte do Relatório de Impacto Ambiental, a recuperação da área degradada por ações de mineradoras.

2.2.3 Tipos de degradação do solo

Os principais tipos de degradação do solo são: erosão, desertificação, compactação, perdas de nutrientes, acidificação, contaminação, perdas de carbono e biodiversidade, e salinização.

2.2.3.1 Erosão

A erosão do solo consiste na remoção da camada superficial deste pelos agentes erosivos, os quais podem ser a água (erosão hídrica), o vento (erosão eólica) ou as geleiras (erosão glacial). Na Região Sul do Brasil, o principal agente erosivo é a água das chuvas, porém o processo de erosão eólica não deve ser negligenciado, especialmente em solos da Região Sudoeste e Campanha do Rio Grande do Sul, onde intensos processos erosivos têm sido registrados, dando origem a bancos de areia conhecidos como areais, cujo processo denomina-se de arenização (AB'SABER, 2014).

O processo de erosão ocorre de forma natural ao longo do tempo geológico, contribuindo para a formação do solo. A atividade humana, porém, intensifica o processo e promove a sua aceleração (com taxas que excedem a capacidade de formação) mediante excessiva mobilização e revolvimento, desmatamento e sobrepastoreio, configurando um risco ambiental. Desse modo, o processo de erosão tem sido considerado a principal e mais generalizada forma de degradação (GIAROLA et al., 2019). Dados da FAO (2015) indicam

uma perda média global de 0,3% do rendimento das safras anuais em razão da erosão. Caso essa perda de rendimento seja mantida, até 2050 equivaleria à remoção de 150 M ha de cultivo ou 4,5 milhões de ha ano⁻¹.

A erosão é um processo que acontece em três fases: desagregação, transporte e deposição. A desagregação acontece de maneira mais intensa na camada superficial (mais produtiva), reduzindo os níveis de matéria orgânica e de nutrientes, com conseqüente diminuição da sua produtividade. Na erosão hídrica, as partículas desagregadas são transportadas e depositadas nas posições mais baixas do terreno. As partículas de solos e nutrientes que são carregadas pela água a distâncias maiores podem conduzir ao acúmulo de sedimentos, nutrientes e até de pesticidas nos cursos hídricos. Dessa forma, com o processo de erosão hídrica, tanto a área que está perdendo (*on site*) quanto a área que está recebendo o material (*off site*), serão degradadas (TAVARES et al., 2008).

2.2.3.2 Desertificação

O termo desertificação significa a degradação da terra nas áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, como resultado de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas, que compromete os sistemas produtivos das áreas susceptíveis, os serviços ambientais e a conservação da biodiversidade, de acordo com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e mitigação dos efeitos da seca – UNCCD (ONU, 1994).

Embora esse problema apresente causas naturais como o clima e a predisposição para a sua ocorrência, os seus principais determinantes estão associados às práticas antrópicas, dentre as quais se destacam as práticas indevidas do uso do solo (superpastoreio e cultivo excessivo) e, sobretudo, os modelos de desenvolvimento regionais imediatistas. O aumento da intensidade do uso e a redução da cobertura vegetal nativa têm levado, em especial, à redução da sua fertilidade (ARAUJO; SOUZA, 2011).

2.2.3.3 Compactação

A compactação do solo pode ser definida como uma alteração das condições físicas mediante a aproximação das partículas sólidas. Assim, o solo apresenta um arranjo mais denso, com a correspondente redução do volume e a expulsão do ar presente nos poros,

redução da porosidade total, do tamanho e da continuidade de poros (LIMA, 2004) e aumento da resistência à penetração (COLLARES, 2005).

O arranjo entre os componentes sólidos (física e quimicamente diferentes, e com formas e tamanhos variados) com os agentes cimentantes determinam as características geométricas dos poros. A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. A funcionalidade desses poros fica evidente quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo. (REINERT e REICHERT, 2006).

As forças causadoras da compactação podem ser classificadas em externas e internas. Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da pressão exercida por pisoteio de pessoas e animais, bem como a pressão exercida por máquinas e equipamentos agrícolas. Os internos correspondem à pressão exercida pelas raízes durante o crescimento, aos ciclos de umedecimento e secagem, congelamento e degelo e expansão e contração da massa do solo, os quais são afetados pelas propriedades físicas, mais especificamente pelo teor de carbono orgânico, pela textura e pela umidade (DEFOSSEZ; RICHARD, 2002).

A energia cinética da chuva também causa compactação do solo. Com o impacto da gota da chuva sobre a superfície, ocorre a quebra mecânica dos agregados, resultando na formação de uma camada adensada de pequena espessura na superfície. O selamento superficial pode ser suficiente para diminuir a infiltração de água e emergência das plantas (RICHART et al., 2005).

Além do selamento superficial, solos compactados possuem macroporos com menor qualidade e quantidade, e por isso há menor infiltração. Com menor infiltração as chuvas rapidamente saturam todos os poros, sendo o excedente hídrico escoado superficialmente carregando consigo frações de solo, matéria orgânica e nutrientes (PRUSKI et al., 2001).

A compactação é considerada um dos principais problemas da agricultura moderna e uma ameaça à segurança alimentar, em virtude dos impactos na produtividade das plantas e dos seus danos ambientais (COLOMBI; KELLER, 2019). Na Região Sul do Brasil, a compactação tem sido responsável por restrições ao adequado crescimento radicular nas áreas manejadas sob sistema de plantio direto. Nessas áreas, a camada compactada está frequentemente localizada entre 0,07 e 0,15 m, e pode dificultar ou até mesmo impedir o desenvolvimento radicular das plantas, elevando a frequência de perda de produtividade por

estresse hídrico, mesmo em curtos períodos sem chuva, e favorecendo a erosão hídrica quando da ocorrência de chuvas intensas (DRESCHER et al., 2011).

2.2.3.4 Perdas de nutrientes

Dentre os principais fatores que conduzem à perda de nutrientes, estão a fertilização inadequada, erosão e a lixiviação (DALAL, 1997).

O manejo inadequado na fertilização dos solos, tanto pela subdosagem quanto pela época inadequada de aplicação, não atendendo às necessidades das culturas, provoca um maior consumo das reservas de nutrientes e, conseqüentemente, a gradativa redução da fertilidade. Por outro lado, a aplicação excessiva de fertilizantes também pode conduzir à degradação, especialmente pela contaminação do meio ambiente por intermédio do carreamento pelas águas do escoamento superficial e de percolação, contribuindo para a poluição das águas superficiais e subterrâneas. A magnitude dessas perdas dependerá da quantidade, tipo, épocas e técnicas de aplicação dos fertilizantes, da intensidade e distribuição das chuvas, bem como do tipo e intensidade de mobilização do solo (DALAL, 1997).

Além da exportação pelas culturas, as perdas de nutrientes pelo processo de lixiviação são importantes nos agroecossistemas. A presença de cargas negativas e positivas é responsável por reter os nutrientes catiônicos e aniônicos, respectivamente, oriundos da aplicação de fertilizantes minerais e adubos orgânicos. A manifestação de cargas negativas em solos arenosos está diretamente associada à MOS, uma vez que a fração inorgânica é composta, na quase totalidade, por areia, a qual não manifesta cargas negativas. Nessas condições será imprescindível a utilização de sistemas conservacionistas com mínima mobilização e presença de cobertura vegetal, que promovam o acúmulo de matéria orgânica e, conseqüentemente, a retenção de nutrientes, reduzindo as perdas por lixiviação e também a erosão (DALAL, 1997).

2.2.3.5 Acidificação

A acidificação do solo é a redução do seu pH causada pelo acúmulo de hidrogênio e íons de alumínio (Al^{3+}), e a perda associada de cátions de reação básica como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+) em razão da sua lixiviação ou remoção (FAO, 2015).

Vários fatores contribuem para acidificar o solo. Entre eles, alguns são de ocorrência natural, como:

a) Dissociação do CO_2 : O CO_2 que se encontra presente no solo reage com a água liberando HCO_3^- e H^+ . Nesse processo, o H^+ transfere-se para a fase sólida liberando um cátion trocável, o qual pode ser lixiviado com o HCO_3^- , aumentando a acidez (LOPES; SILVA; GUILHER, 1991);

b) Hidrólise do Al^{3+} : na reação do Al^{3+} com a água há formação de hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) e liberação de H^+ (LOPES; SILVA; GUILHER, 1991).

Outros fatores que promovem a acidificação do solo, embora possam ocorrer em ambientes naturais, são intensificados com o uso agrícola e práticas inadequadas de manejo. Dentre estes pode-se destacar:

a) Aplicação de fertilizantes nitrogenados: fertilizantes nitrogenados amoniacais e ureia liberam H^+ pela reação do NH_4^+ com o solo ($2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$). O H^+ produzido nessa reação libera um cátion trocável para a solução do solo, o qual pode ser lixiviado, favorecendo a acidificação (LOPES; SILVA; GUILHER, 1991);

b) Decomposição da matéria orgânica: durante o processo de decomposição da matéria orgânica pelos micro-organismos do solo ocorre a liberação da amônia (NH_3), a qual é oxidada a nitrato, liberando H^+ ($2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + 6\text{H}^+$). Assim, dependendo do sistema de manejo, pode haver maior ou menor acúmulo de resíduos orgânicos no solo, o que pode afetar o processo de acidificação (CAMARGOS, 2005);

c) Secreções ácidas das raízes: durante o processo de absorção de nutrientes as plantas liberam íons H^+ ou OH^- , conforme realizam a absorção, respectivamente, de um cátion ou de um ânion, para manter a eletroneutralidade. Esse processo é mais intenso nas leguminosas (que absorvem mais cátions como o Ca^{2+} ou Mg^{2+}) do que nas gramíneas. Assim, a utilização de leguminosas em rotação de culturas ou adubação verde, de modo contínuo e por muito tempo, pode afetar a acidificação (CAMARGOS, 2005).

Solos naturalmente acidificados são comuns em áreas bem drenadas, onde a precipitação excede a evapotranspiração e causa a perda de cátions básicos no perfil do solo. Quando essas condições naturais são associadas com remoção de cátions básicos ou aumento de entradas de nitrogênio (N) e enxofre (S) (por exemplo, pastagens de leguminosas, insumos

fertilizantes, deposição atmosférica), o processo de acidificação é agravado e pode conduzir à degradação.

Atualmente, a acidificação é uma ameaça significativa para os rendimentos das culturas em países como Austrália e em áreas da América do Sul, Sudeste Ásia e África Subsaariana (FAO, 2015). No Brasil, em sua grande maioria os solos são naturalmente ácidos e apresentam concentrações fitotóxicas de alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn), além de possuírem baixos teores de matéria orgânica e fósforo (VAN RAIJ, 2011). Dessa forma, solos brasileiros exigem correção de sua acidez natural além de práticas de manejo preventivas de acidez adicional, evitando, assim, essa forma de degradação química.

2.2.3.6 Contaminação

Entende-se por contaminação do solo a adição de produtos químicos ou materiais que tenham um efeito adverso sob os organismos ou as funções de um solo. Um contaminante pode ser definido como qualquer produto químico ou material que esteja fora de seu lugar habitual ou presente em um nível superior às suas concentrações normais. Por outro lado, poluição refere-se ao aumento da concentração em quantidades que afetam os componentes bióticos do ecossistema, comprometendo sua funcionalidade e sustentabilidade (COSTA et al., 2017).

A contaminação do solo ocorre por uma ampla gama de causas. Entre os principais contaminantes de origem orgânica inclui-se a maioria dos pesticidas, os dejetos animais, os resíduos industriais, os lodos de tratamento de água e esgotos e os resíduos de lixos. Entre os inorgânicos, os principais íons ou compostos incluem o excesso de alguns nutrientes (com destaque para o nitrato e fosfato) e aqueles que promovem a adição de elementos-traço, como os metais pesados.

Em regiões com forte expansão da industrialização, as maiores preocupações estão associadas a contaminações impostas por elementos-traços, como os metais pesados. Como exemplo, destaca-se a China, na qual 19,4% das terras agrícolas foram estimadas pelo Ministério da Proteção Ambiental como contaminadas com cádmio, níquel e arsênico (FAO, 2015).

Em países cuja economia é fortemente alicerçada no setor primário, preocupações associadas com a contaminação do solo estão direcionadas para o aumento na utilização de moléculas com ação biocida (inseticidas, fungicidas, nematicidas, herbicidas), que contêm, além do princípio ativo para o controle de pragas, moléstias e plantas invasoras, também

elementos ou compostos essencialmente poluidores, como elementos-traço, surfactantes, emulsificantes, entre outros. A aplicação excessiva de fertilizantes também pode resultar na contaminação (SCHERER et al., 2010; SANTOS et al., 2018; CASALI et al., 2008). O nitrogênio e o fósforo, apesar de serem nutrientes das plantas, quando aplicados em altas concentrações podem se tornar contaminantes e poluentes de águas superficiais e subterrâneas, resultando em eutrofização (fenômeno em que o ecossistema aquático é enriquecido por nutrientes).

Na Região Sul destaca-se a contaminação decorrente da disposição intensiva de dejetos de suínos, a qual pode promover acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, principalmente daqueles elementos com menor mobilidade como P, Cu e Zn (CERETTA et al., 2003), o que pode potencializar sua transferência via escoamento superficial (BASSO et al., 2005). Esse cenário tem merecido atenção no Estado de Santa Catarina, especialmente na região oeste, onde a suinocultura é uma atividade tipicamente realizada em pequenas propriedades rurais com agricultura familiar, em áreas pequenas e com topografia bastante acidentada, com aplicação de dejetos sem incorporação (SCHERER et al., 2010).

No Estado do Rio Grande do Sul, especialmente na região da serra, o cultivo de videiras tem ocasionado a contaminação do solo por cobre (Cu). A cultura é submetida a aplicações sucessivas de calda bordalesa ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$) para o controle de doenças fúngicas. Pela baixa mobilidade do elemento, o mesmo concentra-se na superfície do solo (ARIAS et al., 2004), ultrapassando o seu teor crítico e a capacidade máxima de adsorção. Com a continuidade do uso e o aumento na frequência de adições de Cu, pode ampliar a quantidade de formas solúveis, potencializando a toxidez às plantas e a transferência, via sedimentos, para as águas superficiais (KARATHANASIS, 1999).

Associado a isso, cabe ressaltar que a aplicação de diferentes materiais ao solo, visando o seu descarte ou reciclagem, quando realizada indiscriminadamente, também pode resultar em contaminação. Entre estes destaca-se: lodos de estação de tratamento de esgoto, resíduos industriais, composto de lixo domiciliar e resíduos agrícolas.

2.2.3.7 Perda de carbono e biodiversidade

O carbono (C) é o nutriente presente em maior quantidade na MOS (cerca de 58%), de modo que a redução de C orgânico é sinônimo de redução da MOS. A perda de C orgânico armazenado no solo ocorre principalmente pela conversão de C do solo em dióxido de

carbono (CO₂) ou metano (CH₄), os quais são gases de efeito estufa, e pela perda física de C por erosão (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013).

Segundo Diekow (2003), a MOS pode ser dividida em duas principais frações de acordo com a localização. A matéria orgânica particulada (MOP) é o conjunto de partículas derivadas do resíduo de plantas ou hifas que ainda apresenta estruturas celulares reconhecíveis, cuja a permanência no solo depende da proteção dos agregados. Já a matéria orgânica associada a minerais é a porção que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organo-minerais, estando protegida pelo processo de proteção coloidal. A proteção física da MOP pelos agregados, acontece porque esses dificultam o ataque microbiano, por atuarem como barreira física e diminuem a disponibilidade de oxigênio para os processos oxidativos de decomposição.

A MOS é importante pelo efeito que produz sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A MOS tem acentuado efeito sobre a fertilidade química, pois é fonte de nutrientes, principalmente N, S e P. Quando mineralizada pelos microrganismos, apresenta também cargas elétricas de superfície que contribuem para a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), podendo ser responsável por 20% a 70% da CTC na maioria dos solos tropicais (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013).

Os compostos orgânicos presentes na MOS atuam como agentes cimentantes, promovendo a ligação entre as partículas individuais do solo e conduzindo a sua estruturação em agregados. A formação de agregados permite a presença de poros, afetando a aeração e trocas gasosas, a retenção de água, a permeabilidade e a capacidade de infiltração de água. A estabilização dos agregados pela MOS, a cobertura do solo pelos resíduos culturais e o aumento da rugosidade dificultam a desagregação e o arraste das partículas pela água da chuva, aumentando a resistência à erosão (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013).

A redução do C orgânico do solo provoca a diminuição da base energética necessária à sobrevivência de toda a comunidade viva do solo. Assim, a sua redução causará efeitos destrutivos na função deste complexo vivo que, por meio do seu metabolismo, transforma materiais de diferentes características e dimensões em minerais disponíveis para as culturas e contribui para a formação de material húmico (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013).

Por afetar a disponibilidade direta de alimento e energia, a resposta da redução do C orgânico é rapidamente percebida pelos organismos do solo, razão pela qual a atividade biológica pode ser utilizada como indicadora da qualidade do solo (BÜNEMANN et al., 2018). A maioria das bactérias utiliza todas as fontes de C de fácil decomposição (açúcar, amido, pectina, hemicelulose, celulose) e fontes de N (proteínas, peptídeos, aminoácidos),

mas algumas são especializadas em um substrato particular (decompositores da celulose, pectina e proteína). As actinobactérias utilizam fontes de C de difícil decomposição como a celulose e os fungos obtêm energia e carbono principalmente da pectina, hemicelulose, celulose e lignina. Muitos fungos são simbióticos com as raízes das plantas superiores. Os organismos da microfauna, mesofauna, macrofauna e os atropodes se alimentam diretamente da matéria orgânica ou de outros organismos (BRAZ, 2019).

Os solos são, também, o principal depósito temporário de C no ecossistema, por apresentarem, em média, 4,5 vezes e 3,3 vezes mais C do que a biota e atmosfera, respectivamente (LAL, 2004). Com esses valores de estoque de C no solo e na biota, é evidente que a preservação desses reservatórios é de grande importância para o equilíbrio da concentração do CO₂ na atmosfera, de modo que a redução dos teores de C orgânico do solo são motivo de alerta no contexto das mudanças climáticas. Uma meta-análise de 119 publicações, em 2014, mostrou que os estoques de C orgânico no solo diminuíram em 98% dos locais estudados, com uma média de 52% nas regiões temperadas, 41% nas regiões tropicais e 31% nas regiões boreais. Além disso, a perda global de C orgânico do solo, desde 1850, é estimada em cerca de 66 ± 12 bilhões de toneladas (FAO, 2015).

No Brasil, em sistemas de manejo com intenso revolvimento de solo, como o SPC deste, além das perdas por erosão, a perda do estoque original da MOS (referentes a um solo não cultivado ou de mata nativa) pode atingir 50% em períodos que variam de 15 a 23 anos (PÖTTKER, 1977). Desse modo, maior atenção deve ser dispensada ao manejo da MOS mediante a adoção de práticas conservacionistas, como o SPD, que reduzam a mobilização e também promovam maior aporte de biomassa vegetal (BAYER et al., 2003).

2.2.3.8 Salinização

A concentração elevada de sais no solo é um fator limitante ao desenvolvimento das plantas, e que pode ocorrer em função de características naturais do próprio ambiente, ou pode ser decorrente das atividades humanas. Quando ocorre devido a intemperização de rochas e pela deposição de sais provenientes do oceano é denominada salinização primária. Por sua vez, quando a salinização é decorrente de alguma atividade antrópica, principalmente pela irrigação inadequada, uso de adubos químicos (com índice salino elevado) e drenagem insuficiente, o processo é denominado salinização secundária (PEDROTTI et al., 2015).

A salinização é o acúmulo de sais no solo, geralmente próximos à superfície. De certa forma, é o oposto da lixiviação e, por vezes, até provoca a alcalinização do solo. Quando

isso acontece, a quantidade de cátions (sódio, cálcio, magnésio etc.) excede àquela possível de ser retida pela capacidade de troca dos solos, e esses cátions se combinam e se precipitam dentro ou sobre o solo. O solo eleva o seu potencial osmótico, por isso, as plantas têm dificuldade de absorver água e nutrientes, provocando a redução do seu crescimento, e também são perceptíveis injúrias foliares. A proporção elevada de sódio em relação a outros cátions compromete a capacidade de infiltração pela dispersão das argilas e pela alcalinização (LEPSCH, 2010).

Os solos afetados pela salinização são encontrados, principalmente, nas regiões áridas e semiáridas. A salinização causada pela irrigação afeta 18.4 milhões de ha na América Latina e Caribe, particularmente na Argentina, Brasil, Chile, México e Peru. No Brasil, de 25 a 30% da área de agricultura irrigada na região nordeste está em processo de Salinização (FAO, 2015).

2.3 PREPARO CONVENCIONAL DO SOLO (SPC)

O preparo convencional do solo ocorre com o revolvimento da área total a ser cultivada, portanto, inverte-se a camada superficial colocando-a mais abaixo (DONAGEMMA; VIANA; ANDRADE, 2007). É utilizado para romper camadas compactadas, aumentar a aeração para permitir o crescimento das raízes e infiltração da água (PEREIRA et al., 2013), tal procedimento também era considerado indispensável para controlar o crescimento de ervas daninhas e incorporar os resíduos dos cultivos anteriores, antes do surgimento de herbicidas (LEPSCH, 2010).

Para esta operação, em geral, são empregadas técnicas de preparo primário e secundário como a aração e a gradagem, com a utilização de máquinas e implementos pesados. O preparo primário é realizado, principalmente, com arados ou grades pesadas, visando a descompactação, incorporação de corretivos, fertilizantes e restos culturais. Posteriormente, o preparo secundário, é realizado com grades, com uma gradagem para destorroamento e outra para nivelamento. Em ambos os casos, geralmente os implementos são tracionados por tratores mecânicos (ABBOUD, 2013).

Todavia, tal preparo provoca a compactação da camada do solo imediatamente abaixo da revolvida, e expõe a superfície à ação direta dos raios solares e gotas de chuva (LEPSCH, 2010), como consequência, causa as maiores taxas de decomposição da MOS devido às perturbações físicas, que implica rompimento dos macroagregados (reduz a proteção física da

MOS), expondo-a aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera (PEREIRA et al., 2013).

Em resumo, conforme Triplett e Dick (2008), as principais desvantagens do preparo convencional estão relacionadas com o aumento do potencial de erosão devido à falta de cobertura e rompimento de agregados, conforme tabela de vantagens e desvantagens de tal preparo:

Quadro 01 - Vantagens e desvantagens do preparo convencional

Vantagens	Desvantagens
<ol style="list-style-type: none"> 1. Reduz a competição de ervas daninhas; 2. Criação de semeadura que promove o estabelecimento uniforme e eficiente; 3. Incorporação dos resíduos e inóculos de doenças; 4. Reduz a rugosidade facilitando o uso de equipamentos; 5. Promove a infiltração da água no solo, ao menos inicialmente; 6. Estimula a mineralização da matéria orgânica e liberação de nutrientes; 7. Promove aquecimento mais rápido do solo; 8. Distribui nutrientes e fertilizantes em profundidade, em todo o perfil explorado pelo cultivo; 9. Perturba o ciclo e habitat de pragas prejudiciais; 10. Rompe a crosta superficial compactada; 11. Reduz a compactação superficial e subsuperficial temporariamente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rompimento de agregados e redução da estrutura do solo; 2. Provoca extremos na temperatura do solo; 3. Expõe o solo ao impacto da chuva; 4. Promove a erosão; 5. Destrói macroporos; 6. Destrói padrões de fissuras verticais; 7. Promove a perda de umidade e reduz a eficiência do uso da água; 8. Causa compactação e formação de pé de arado, ou compactação subsuperficial; 9. Perturba o ciclo de organismos benéficos, como minhocas; 10. Diminui o estoque de matéria orgânica; 11. Fragmenta as redes de hifas fúngicas; 12. Acelera a oxidação da matéria orgânica lábil e interfere no sequestro de carbono. 13. Causa imobilização de fertilizantes; 14. Requer grande entrada de combustíveis e energia;

Fonte: Adaptado de Triplett e Dick, 2008.

2.4 SISTEMA CONSERVACIONISTA DO SOLO

O desenvolvimento da agricultura, apesar de alterar intensamente os ecossistemas, deve ser feito de forma sustentável, com atividades harmoniosas, produzindo alimentos, fibras e combustíveis, para atender às crescentes necessidades da população mundial, com um mínimo de prejuízos ambientais. Entre as atividades relacionadas à preservação ambiental, destacam-se as da conservação dos solos agrícolas. Afinal, juntamente à luz solar, ao ar e à água, o solo é uma das quatro condições básicas à vida na Terra (LEPSCH, 2010).

O solo é um recurso natural que deve ser utilizado como patrimônio da coletividade, independente do seu uso ou posse. É um dos componentes vitais do meio ambiente e constitui o substrato natural para o desenvolvimento das plantas. A ciência da conservação do solo e da água preconiza um conjunto de medidas objetivando a manutenção ou recuperação de suas

condições físicas, químicas e biológicas, estabelecendo critérios para o uso e manejo das terras, de forma a não comprometer sua capacidade produtiva (ABBOUD, 2013).

As práticas conservacionistas que visam não somente à prevenção da erosão, mas também à manutenção e melhoria da fertilidade e conservação dos recursos hídricos podem ser vegetativas, edáficas e mecânicas. Cada prática, aplicada isoladamente, previne apenas de maneira parcial o problema, para um programa adequado de conservação do solo, faz-se necessária a adoção simultânea de um conjunto dessas práticas. (LEPSCH, 2010; ABBUOD, 2013).

Dentre os sistemas conservacionistas, destaca-se o SPD o qual exige a adoção de práticas de conservação do solo para atingir todos os seus objetivos. (DALMOLIN; CATEN, 2012).

2.5 SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)

O Sistema de Plantio Direto, ou SPD, fundamenta-se no revolvimento mínimo do solo, em sua cobertura permanente e na rotação de culturas. Pressupõe, também, uma mudança na forma de pensar a atividade agropecuária a partir de um contexto socioeconômico com preocupações ambientais (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

O revolvimento mínimo ocorre devido a utilização das máquinas especiais de semeadura. Em uma só operação, elas cortam longas e estreitas fendas, alinhadas em curvas paralelas e de mesmo nível sob a palha que, de certa forma, imita a serapilheira (horizonte O) das matas. As sementes e fertilizantes são colocados alguns centímetros abaixo da palha (LEPSCH, 2010, p. 204).

A cobertura permanente é atribuída a presença da cobertura viva e morta ao longo do ano inteiro, as quais devem estar inseridas em rotação. Essa camada funciona como atenuadora ou dissipadora de energia, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, atua como obstáculo do movimento superficial do excesso de água que não infiltra no solo e impede o transporte e o arrastamento de partículas pela enxurrada. Dessa forma, minimiza a erosão. Diminui a evaporação, aumentando a infiltração e o armazenamento de água no solo, promovendo na camada mais superficial, temperaturas mais amenas ao desenvolvimento de plantas e organismos. Com sua incorporação lenta e gradativa ao solo, promove aumento da matéria orgânica e conseqüentemente na CTC do solo (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

A rotação de culturas consiste na alternância de diferentes espécies de culturas em determinada área objetivando explorar camadas de solos diferenciadas para obtenção de água, ciclagem de nutrientes, descompactação biológica do solo, controle de pragas, doenças e plantas daninhas (SANTOS; REIS, 2003).

A fase inicial caracteriza-se a partir da implantação do SPD, a qual pode ser executada de diferentes formas. Isso dependerá das condições de compactação do solo e da saturação de alumínio em profundidade.

A implantação com arado e grade é recomendada quando houver compactação ou alta saturação de alumínio em profundidade. Neste caso, haverá a necessidade da mobilização do solo em profundidade podendo executar em conjunto a correção da camada arável com o calcário, e também as correções de teores de fósforo e potássio, e outros nutrientes para a faixa média ou alta. A partir do segundo cultivo, ocorrerá somente a mobilização na linha semeadura (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2008).

Portanto, a implantação inicial com mobilização apenas na linha de semeadura é recomendada apenas em áreas sem compactação do solo e sem saturação de alumínio em profundidade.

A fase de consolidação do SPD ocorre a partir do 4º ano, quando for constatada acúmulo de matéria orgânica na camada superficial (0-0,10m) proporcionando que as taxas de mineralização do nitrogênio sejam superiores às taxas de imobilização. Além disso, ocorre aumento do P orgânico e redução da saturação de alumínio ocasionada pela complexação de Al pelos grupos funcionais presentes na MOS, surgimento de organismos benéficos, maior porosidade e estabilidade de agregados (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2008).

A redução no revolvimento e a presença de cobertura permanente promovem um incremento de MOS, que atua como agente cimentante na formação de agregados. A maior agregação do solo, bem como a sua maior estabilidade e arranjo, melhora a macroporosidade e a existência de vazios do solo, possibilitando maior aeração o que beneficia o desenvolvimento das raízes.

Tiecher et al. (2020), constataram que após 26 anos de adoção do plantio direto em conjunto com plantas de cobertura no inverno, houve incremento da matéria orgânica do solo em 13% maior do que o incremento constatado no plantio convencional, principalmente na profundidade de 0 a 0,05m. Vezzani e Mielniczuk (2011) constataram que o não revolvimento, aliado ao aporte de matéria orgânica favorece a macroagregação construída pela ação biológica, já que não há a quebra mecânica pelo revolvimento, sendo que após 15 a 17 anos nesse sistema, haveria recuperação da agregação e estoque de carbono próximos à

condição original de um campo nativo. Para Nascente, Li e Crusciol (2015), a correlação entre a matéria orgânica total e a agregação do solo é alta, e o sistema de não revolvimento proporciona maior estabilidade dos agregados em até 12%, quando comparados ao SPC.

O aumento no teor de matéria orgânica possibilita uma maior retenção de umidade do solo, a qual poderá ser importante em períodos de déficit hídrico. A retenção de água e a disponibilidade de água às plantas em plantio direto é maior do que no solo em SPC nas camadas mais próximas à superfície devido a distribuição exponencial decrescente dos mesoporos com maior frequência em diâmetros maiores, fator que determina menor energia de retenção da água disponível às plantas (DALMAGO et al., 2009). Na classe de poros com tamanho entre 0.3 e 100 μm , na qual fica localizada a reserva de água disponível para as plantas, há maior volume absoluto de poros quando utilizado o SPD em relação ao SPC. Esta diferença, pode ser importante na capacidade das plantas em resistir ao estresse hídrico por períodos mais longos (FILHO; TESSIER, 2009).

Além disso, a própria cobertura permanente reduz as perdas de água por evaporação. Bragagnolo et al. (1990) estimaram que a palha na superfície reduz a evaporação em até 30% no SPD, em relação ao SPC.

A utilização de plantas com sistemas radiculares bem desenvolvidos na rotação de culturas ajuda na descompactação do solo e também na formação de agregados em profundidade devido ao acúmulo de raízes mortas que se transformaram em material orgânico. Após 10 anos, aproximadamente, o sistema consolida-se com teores adequados de matéria orgânica, e a compactação que pode se apresentar na subsuperfície é contornada por canais formados pela matriz viva (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2008). Filho e Tessier (2009) encontraram após 31 anos de adoção do SPD, apesar de compactação na camada de 0 a 0,6m, a existência de fissuras e bioporos. O índice de vazios do solo é maior no SPD, pois apesar de maior densidade de partículas, essas partículas são arranjadas em agregados, que permitem a existência dos vazios e aeração.

O acúmulo de MOS com a utilização do SPD aumenta a atividade biológica e microbiológica do solo. A matéria orgânica é fonte de energia e carbono para diversos organismos e microrganismos, os quais tem inúmeras funções tais como decomposição de resíduos e mineralização de nitrogênio, fósforo e enxofre, controle de inimigos naturais, formação de agregados (hifas de fungos) e misturadores de horizontes (minhocas). Lisboa et al. (2012) constataram que após 6 anos de implantação do SPD, foi observada uma maior biomassa microbiana, uma maior atividade respiratória e atividade enzimática em relação ao SPC. A atividade microbiana no SPD muitas vezes se igualou ao campo nativo de referência,

ou até mesmo a superou, quando avaliada a atividade enzimática. Pereira et al. (2007), constataram, após 14 anos comparando os sistemas, que o incremento no carbono da biomassa microbiana e o nitrogênio da massa microbiana sob SPD foi de 114 % e 157 % em relação ao SPC, respectivamente. Houve também aumento na respiração, porém, quando comparado a emissão de CO₂ e o carbono da biomassa microbiana, ou quociente metabólico, este foi reduzido em 37 %, indicando maior eficiência metabólica da microbiota do solo, e maior acúmulo de C no solo. Quando a microbiota foi avaliada qualitativamente, verificou-se que após 14 anos, os sistemas de manejo do solo e de culturas também afetaram positivamente a diversidade da comunidade bacteriana do solo.

A utilização do SPD promove melhoria das características químicas do solo. A mínima mobilização e a presença de cobertura permanente reduz as perdas por erosão e em consequência de nutrientes que poderiam ser perdidos por escoamento superficial. Lanzanova et al., (2013), encontraram que após 3 anos de adoção do não revolvimento do solo em conjunto com plantas de cobertura houve a estabilização do solo, e a erosão hídrica passou a ser similar e o escoamento superficial menor em comparação com o solo mantido em campo nativo.

O acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo reduz a saturação de alumínio devido a complexação do alumínio tóxico pelos grupos funcionais que constituem a MOS (FREIRE; VASCONCELLOS; FRANÇA, 2001). Além disso, a redução da saturação de alumínio também pode ser oriunda do acúmulo de fósforo na camada superficial, o qual pode formar um precipitado com o alumínio (P-Al), reduzindo o alumínio tóxico (Al⁺³) (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Também, o incremento de MOS, aumenta a quantidade de cargas negativas do solo possibilitando aumento da CTC (FREIRE; VASCONCELLOS; FRANÇA, 2001). Como constatado por Ciotta et al. (2003), após 20 anos de adoção do SPD, o aumento de carbono orgânico observado na camada 0-6 cm foi maior 29% em relação ao SPC, resultando num importante aumento nos valores de CTC efetiva e CTC a pH 7,0. Até 8 cm de profundidade, os aumentos variaram entre 17% a 85% na CTC efetiva e 15 a 31% na CTC a pH 7,0. O potássio, aplicado em cobertura, na linha de semeadura ou a lanço é um dos principais cátions beneficiados, já que é suscetível à lixiviação (FREIRE; VASCONCELLOS; FRANÇA, 2001).

O aumento no teor de MOS resulta também em maior acúmulo de nitrogênio, fósforo e enxofre orgânico os quais serão mineralizados em formas minerais, as quais serão absorvidas pelas plantas. Desta forma, haverá uma redução nos gastos de adubos químicos

(RESENDE, 2011; FREIRE; VASCONCELLOS; FRANÇA, 2001). Quanto ao N, muitos experimentos têm revelado que doses moderadas do nutriente são suficientes para a obtenção de elevada produtividade. Sobretudo quando envolve a soja em rotação, pois o SPD parece propiciar maior estoque e eficiência de ciclagem de N no sistema, o que permitiria trabalhar com menores doses de fertilizantes nitrogenados (RESENDE, 2011).

O aumento na disponibilidade de fósforo no SPD na camada superficial do solo é atribuído a aplicação superficial, redução dos sítios de adsorção e dessorção devido a exsudação dos ácidos orgânicos (biomoléculas) no sistema radicular (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001)

A utilização de rotação de culturas possibilita a ciclagem de nutrientes, já que uma espécie que possui um sistema radicular mais agressivo pode absorver este nutriente em profundidade e posteriormente estará disponível na camada superficial da forma de cobertura morta, excetuando os nutrientes que foram exportados pelo órgão colhido (SANTOS; REIS, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em 2019/2020, no Campus Rural da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, localizado no município de Santana do Livramento/RS, coordenadas geográficas (O 55° 25' 56.366", S 30° 52' 37.888"). O solo no local, é classificado como Argissolo Vermelho distrófico horizonte A moderado, textura arenosa/média, fase relevo suave ondulado, com altitude de 203 m. (SANTOS et al., 2018). A precipitação anual é de 1650 a 1850mm, temperatura média anual 18 a 20°C (Normal Climatológica 1961-90), sendo dessa forma classificado o clima conforme Köppen como mesotérmico úmido CFa (sempre úmido, verão quente) (RIO GRANDE DO SUL, 2019).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições por tratamento. Em cada bloco foram aleatoriamente dispostas 3 parcelas com o tamanho de 4x2m, ou 8m². Os tratamentos consistiram nas seguintes sucessões de culturas e sistemas de cultivo: T1: Pousio - Soja SPC, T2: Azevém - Soja SPD, T3: Aveia Preta - Soja SPD.

Após amostragem do solo, realizada conforme CQFS - RS/SC (2016), na camada de 0-0,20m, a amostra foi enviada a laboratório resultando na seguinte análise química:

Tabela 01 – Resultados da análise química do solo antes do experimento

pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)		Índice SMP
	cmol _c /dm ³				Al	Bases		
5,8	1,7	0,9	0,1	2,0	3,0	3,3	59	6,7
	% MO	% Argila	Classe de Argila	S	P-Mehlich	K	CTC _{pH7}	K
	m/v			mg/dm ³			cmol _c /dm ³	
	1,38	13	4	X	16,2	109	4,9	0,28

Fonte: Autor, 2019.

Em maio de 2019 foi realizado o preparo convencional da área com uma aração e duas gradagens, e aproveitou-se a operação para calagem em área total, com a dose de calcário de 1,5 Mg.ha⁻¹ (calcário PRNT 162%, equivale a dose de 2,51 Mg.ha⁻¹ do calcário PRNT 100%), incorporado na camada 0-0,20m, conforme recomendação técnica (CQFS - RS/SC, 2016).

Em maio de 2019 foi realizada a semeadura das cultivares de Azevém Ponteio e Aveia-preta Neblina, utilizando o espaçamento de 0,17m, e com densidade de 30 kg ha⁻¹ e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, com exceção do T1 que permaneceu em pousio. As adubações de

base e cobertura foram realizadas conforme recomendação de CQFS - RS/SC (2016). O controle de plantas daninhas em T2 e T3 foi realizado manualmente de modo que a cultura esteve livre de interferência durante todo o ciclo. Ao final de setembro de 2019, as culturas de inverno foram dessecadas com a utilização de dessecante sistêmico.

Em outubro de 2019 foi realizada a determinação da massa verde e seca através do corte realizado em um quadrado de ferro de área conhecida (0,5x0,5m). As amostras foram conduzidas ao laboratório da UERGS para pesagem, obtendo-se a massa verde. Em seguida, sub amostras foram secadas em estufa com temperatura controlada a 65°C até o peso da amostra ficar constante, obtendo-se a massa seca. Os dados obtidos de MV e MS foram utilizados para a obtenção da relação MV/MS. A cobertura remanescente foi cortada com a utilização de moto-roçadeira.

Em novembro de 2019, foi realizada a implantação da cultura da soja. No tratamento 1, foi realizado o arranque das espécies espontâneas, o preparo convencional e abertura de sulcos com a utilização de enxada manual, nos demais tratamentos somente foi realizada a abertura de sulcos de plantio. Logo após, foi semeada soja convencional com grau de maturação relativa 6,5, e crescimento indeterminado, cultivar 95R90IPRO, conforme as recomendações técnicas para o estabelecimento de 300.000 plantas.ha⁻¹, ou 30 plantas.m⁻², com espaçamento entrelinhas de 0,5m. A adubação foi realizada conforme recomendações da CQFS - RS/SC (2016). A cultura permaneceu livre de interferência de plantas espontâneas desde a emergência até a amostragem.

Durante o desenvolvimento da cultura, quando a soja atingiu o estágio R1, R3 e R5 foram medidas as temperaturas da superfície do solo as 14 horas (UTC-3) em cada parcela, e retirada uma amostra de solo por parcela da camada 0-0,10m, que foi pesada para determinação do peso inicial, e logo após colocada em estufa a 105°C até atingir peso constante. O percentual de umidade gravimétrica foi obtido pela subtração do peso inicial pelo peso final dividido pelo peso inicial (EMBRAPA, 2017).

Em março de 2020, quando as plantas de soja se encontravam no estágio R8, foi realizada a colheita de 6 plantas por parcela. Nas quais foi avaliado: altura da planta (ALT), altura até a última vagem (AP), número de vagens (NVP), número de grãos por vagem (NGV) número de nós na haste (NNH), número de ramos (NR), altura do primeiro legume (APL) e altura do primeiro ramo (APR), massa seca por planta (MSP), massa de mil grãos (MMG) e estimado o rendimento.

Tanto nas avaliações de inverno quanto no verão, os dados foram processados pela análise de variância, e as médias submetidas ao teste Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu uma menor produção de matéria verde e seca da parte aérea nos cultivos de inverno no tratamento que permaneceu em pousio, quando comparado aos demais tratamentos nos quais houve o cultivo de planta de cobertura (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Giacomini et al. (2003), Carvalho et al. (2013) e Forte et al. (2018). As plantas de cobertura (Aveia-preta e Azevém) possuem maior área foliar do que as plantas espontâneas, resultando numa maior capacidade de realizar a fotossíntese resultando num maior acúmulo de biomassa da parte aérea em relação às espécies espontâneas que compõem as espécies em pousio.

Em relação à produção de matéria verde e seca da parte aérea, não houve diferença significativa entre as culturas de Azevém e Aveia-preta. Krenchinski et al. (2018) em três anos de culturas de cobertura não identificaram diferenças significativas entre a produção de matéria seca entre Aveia preta e Azevém. Porém, Redin et al. (2018) obtiveram, em condições de manejo similares, produções de 7.980 kg.ha⁻¹ e 5.480 kg.ha⁻¹ de matéria seca para Aveia-preta e Azevém, respectivamente, sendo a produção de matéria seca da aveia significativamente maior.

Tabela 02 - Produção de matéria verde (MV) e seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura no inverno de 2019

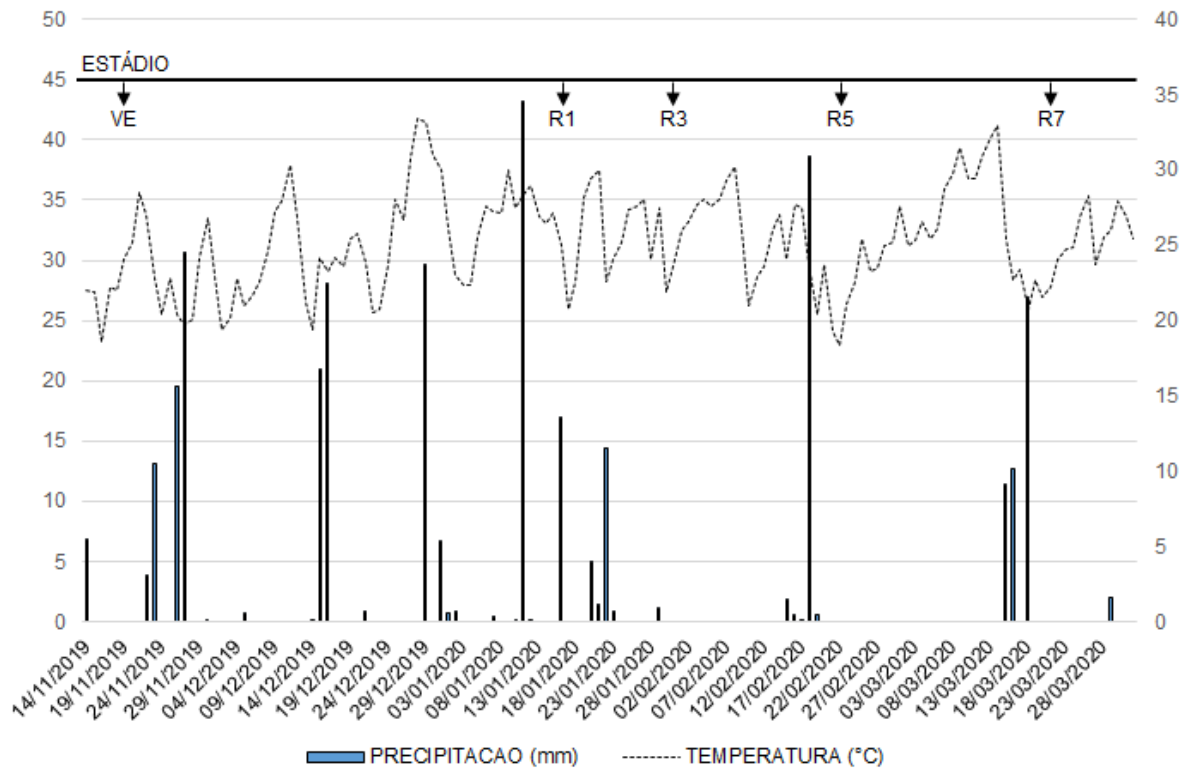
Tratamento	MV (kg.ha ⁻¹)		MS (kg.ha ⁻¹)	
T1 - Pousio/Soja –SPC	13 850,00	b	3 600,75	b
T2 – Azevém/Soja – SPD	28 910,00	a	6 649,00	a
T3 - Aveia Preta/Soja – SPD	32 460,00	a	8 763,75	a
CV (%)	17,59		17,93	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna, de acordo com o teste de Tukey (p ≤ 0, 05)

A precipitação e a temperatura média diária observadas durante a cultura da soja estão apresentadas conforme a Figura 01. Durante todo o ciclo dessa cultura, foi estimada a precipitação de 341,5 mm (INMET, 2021). A necessidade total de água na cultura da soja para obtenção do máximo rendimento varia entre 450 a 800 mm/ciclo, e o volume ideal para atender as necessidades durante a fase crítica (R1-R6) situa-se entre 120 a 300mm, bem distribuídos durante todo o período (NEUMAIER et al., 2020). A baixa precipitação

pluviométrica aliada a má distribuição no tempo explicaria o baixo rendimento da cultura em todos os tratamentos.

Figura 01 - Precipitação (mm), temperatura média diária (°C), e estádios fenológicos durante o cultivo de verão



Fonte: Adaptado de INMET, 2021; Autor, 2021.

As observações de temperatura e umidade do solo estão apresentadas na Tabela 03.

Tabela 03 – Temperatura da superfície do solo e umidade gravimétrica na camada 0-0,10m do solo no atingimento dos estádios R1, R3 e R5 da Soja.

Tratamento	R1	R3	R5	R1	R3	R5
	----- Temperatura °C -----			----- Umidade (%) -----		
T1 - Pousio/Soja SPC	43 a	42 a	39 a	9,5 b	5,00 b	10,50 b
T2 – Azevém/Soja SPD	28 b	30 b	26 b	15,75 a	8,25 a	19,25 a
T3 - Aveia Preta/Soja SPD	26 b	31 b	31 b	16,25 a	8,50 a	21,50 a
CV (%)	8,97	13,12	7,80	13,25	17,36	23,56

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Em relação às variáveis que foram analisadas no cultivo da soja, foi observado que a altura de plantas, altura até a última vagem, número de vagens total, número de nós na haste, número de ramos, altura do primeiro legume, altura do primeiro ramo, matéria seca por planta e matéria seca de grãos por planta não foram influenciados de forma significativa pelos tratamentos. Krenchinski et al. (2018), obtiveram resultados similares no primeiro ano de sucessão entre as coberturas de inverno (Aveia-preta e Azevém) e a soja, sendo os principais componentes influenciados apenas a partir do segundo ano de adoção da sucessão.

O número de grãos por vagem (NGV) e massa de mil grãos (MMG) e produtividade foram inferiores no tratamento pousio com SPC em relação aos tratamentos com SPD, como pode ser constatado na Tabela 04. Resultados semelhantes foram obtidos por Forte et al. (2018), quando observaram menor produtividade no primeiro ano de sucessão, e para o segundo e terceiro ano, reduções significativas tanto na massa de mil grãos como a produtividade para o pousio invernal com preparo convencional comparado ao tratamento com a presença da cobertura aveia preta e plantio direto.

Tabela 04 - Número de grãos por vagem (NGV), Massa de 1000 grãos (MMG) e Produtividade para a cultura de soja

Tratamento	NGV	MMG (g)	Produtividade (kg.ha ⁻¹)
T1 - Pousio/Soja – SPC	2,40 b	100,67 b	1 424,68 b
T2 – Azevém/Soja - SPD	2,76 a	117,61 a	2 015,74 a
T3 - Aveia Preta/Soja - SPD	2,77 a	118,95 a	2 003,76 a
CV (%)	3,45	6,59	12,87

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Derpsch, Nikolas e Heinzmann (1985), constataram que a sucessão Aveia-preta - Soja, em plantio direto, além do incremento do rendimento em relação ao pousio invernal, promove um aumento de até 8,3% nos teores de umidade do solo na camada 0-0,10m, e sensível redução da temperatura do solo na cultura da soja na presença dos restos culturais de Aveia-preta. Bragagnolo et al. (1990) estimaram que a palha na superfície reduz a evaporação e aumenta a umidade do solo em até 10% no plantio direto, em relação ao sistema convencional.

O maior armazenamento de água do solo na presença da cobertura de Aveia-preta e Azevém pode ter atenuado os efeitos do déficit hídrico ocorrido no cultivo da soja, principalmente aquele ocorrido no estágio reprodutivo, influenciando positivamente o número de grãos por vagem e massa de mil grãos.

A partir do estágio R1-R2 inicia-se rápida e constante acumulação de matéria seca na planta, até o estágio R6. O início do desenvolvimento das vagens (R3) e vagem completamente desenvolvida (R4), e especialmente o enchimento dos grãos (R5-R6) são sensíveis às condições de ambiente. A disponibilidade de água se torna crucial porque cerca da metade dos nutrientes necessários para o enchimento de grãos vem da translocação de outras partes da planta, mas a outra metade vem do solo e da FBN. A necessidade de água pela soja, nessa fase, é de 6 a 8 mm/dia (NEUMAIER et al., 2000). Secas durante o período reprodutivo causam reduções drásticas no rendimento, sendo o déficit hídrico mais prejudicial na fase enchimento de grãos do que na floração. Déficits expressivos provocam alterações fisiológicas na planta como a queda de flores, abortamento de grãos e cochoamento de grãos, com diminuição do número de vagens, e vagens vazias (NEUMAIER et al., 2020).

5 CONCLUSÕES

A presença de plantas de cobertura proporcionou maior produção de massa verde e massa seca quando comparada ao pousio.

A presença de plantas de cobertura proporcionou maior teor de umidade do solo e menores temperaturas quando comparada ao pousio.

O número de grãos por vagem (NGV) e massa de mil grãos (M1000) e a produtividade da soja foram superiores com a presença de plantas de coberturas quando comparados ao pousio.

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, A. C. S. **Introdução à Agronomia**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2013. Editora Interciência. 644p.
- AB'SABER N. A. A revanche dos ventos – destruição dos solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. **Sociedade e Natureza**. 9 dez. 2014; 11, n. 21/22.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. Brasília, 2008. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb. Acesso em: 23 jul 2021.
- ARAUJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Ed. Bertrand. Rio de Janeiro, 2005.
- ARAÚJO, C. de S. F.; SOUZA, A. N. Estudo do processo de desertificação na Caatinga: uma proposta de educação ambiental. **Ciência & Educação** (Bauru) [online]. 2011, v. 17, n. 4 [] , pp. 975-986. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132011000400013>. Acesso em: 28 ago. 2021
- ARIAS, M. *et al.* Copper distribution and dynamics in acid vineyard soils treated with copper-based fungicides. **Soil Science**. 2004; 169:796-805.
- BACCI, D. de La C.; LANDIM, P. M. B; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. Rem: **Revista Escola de Minas** [online]. 2006, v. 59, n. 1 pp. 47-54. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000100007>. Acesso em: 23 ago. 2021.
- BASSO, C.J. *et al.* Dejeito líquido de suínos: II-Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**. 2005; 35:1.305-1.312.
- BAYER C. *et al.* Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**. 2003; 33:469-475.
- BERTÊ. A. M. de A. Principais problemas ambientais do Rio Grande do Sul: uma tentativa de aproximação. In: **VI Encuentro de Geógrafos de América Latina**. Buenos Aires, 1997 Disponível: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Procesosambientales/Impactoambiental/52.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Presidência da República**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm. Acesso em: 18 jul. 2021.
- BRAGAGNOLO, N. et al. Soil mulching by wheat straw and its relation to soil temperature and moisture. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 14, n. 3, p. 369-373, 1990.
- BÜNEMANN, E. K. et al. 2018. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**. 2018; 120:105-125.

CAMARGOS, S. L. Acidez do solo e calagem (reação do solo). Universidade Federal do Mato Grosso. **Material da Disciplina de Solos II**, Cuiabá, 2005. Disponível em: https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Apostila_Capitulo_2_Acidez_Calagem.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

CARVALHO *et al.* Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.2, p.157-166, fev. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005>. Acesso em: 20 mai. 2021.

CASALI, C. A. *et al.* Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. 2008; 32:1479-1487.

CERETTA, C. A. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2003; 38:729-735.

CIOTTA, M. N. *et al.* Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, nov-dez, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/8rYJLHrc7xF35mmDmtv4tDc/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 20 ago. 2021.

COELHO, M. R. *et al.* Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. *In: O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. Lavras: UFLA, 2013. cap. 3, p. 45-62. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94212/1/Ecossistema-cap3C.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2020.

COLLARES GL. **Compactação em Latossolos e Argissolos e relação com parâmetros de solo e de plantas**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2005.

COLOMBI T.; KELLER T. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction – A plant eco-physiological perspective. **Soil and Tillage Research**. 2019; 191:156-161.

COSTA E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013 1842

COSTA C. N. *et al.* Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. *In: Meurer EJ (ed.) Fundamentos de química do solo*. 6. ed. Porto Alegre: Evangraf. 2017; 266 p.

CQFS RS/SC, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 376p. 11a edição. 2016. Ed. Pallotti.

DALMOLIN, R. S. D.; CATEN, A. Uso da terra dos biomas brasileiros e o impacto sobre a qualidade do solo. **Entre-lugar**, [S.l.], v. 3, n. 6, p. 181-193, jun. 2013. ISSN 2177-7829. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/2454/1405>. Acesso em: 29 abr. 2019.

DALAL, R. C. *et al.* **Soil nutrient depletion**. Sustainable crop production in the sub-tropics: an Australian perspective. (Eds AL Clarke, PB Wylie) pp, p. 42-63, 1997.

DEFOSSEZ P; RICHARD G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**. 2002; 67:41-64.

DERPSCH, R., NIKOLAS, S., HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.761-773, 1985

DIAS-FILHO, M. B. Estratégias de Recuperação de Pastagens Degradadas na Amazônia Brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. **Documentos Embrapa Amazônia Oriental**, ISSN 1983-0513; 411. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1019156>. Acesso em: 23 jul. 2021.

DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. 2003. 164p. **Tese (Doutorado)** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DONAGEMMA, G. K., VIANA, J. H. V. e ANDRADE, A. G. de. Propriedades físicas do solo influenciadas por sistemas de preparo e manejo: uma revisão. Embrapa Solos. **Documentos**, **100**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 66p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/339504>. Acesso em: 24 mar. 2021.

DRESCHER, M. S. *et al.* Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2011, v. 35, n. 5, pp. 1713-1722. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500026>. Acesso em: 20 ago. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Status of the World's Soil Resources: **Main Report**. Roma, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf> Acesso em: 12 mai. 2020.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fao Soils Portal**. Website, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

FLORES, C. A. *et al.* Levantamento semi-detalhado de solos: região da campanha - **Folha Palomas, Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Editora UFRGS, 2006. Disponível em: http://multimidia.ufrgs.br/conteudo/labgeoecologia/Arquivos/Publicacoes/Livros_ou_capitulos/2007/Flores_et_al_2007_CD_ROM_Mapas_solos_folha_Palomas.pdf. Acesso em: 21 nov 2019.

FORTE, C. T. *et al.* Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 13. n. 1. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5504>. Acesso em: 28 ago. 2021.

FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANCA, G. E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.49-56, 61-62., 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/>

/publicacao/485006/manejo-da-fertilidade-do-solo-em-sistema-plantio-direto. Acesso em: 20 ago. 2021.

GIACOMINI, S. J. *et al.* Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2003, v. 27, n. 2, pp. 325-334. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200012>. Acesso em: 5 nov. 2021.

GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados** [online]. 2019, v. 33, n. 95, pp. 133-150. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3395.0009>. Acesso em: 28 ago. 2021.

GIAROLA, N.F.B. *et al.* Degradação do solo e estratégias de recuperação da sua capacidade produtiva. In: Bertol O J et al. (ed.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Nepar – SBCS; 2019.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 7ª edição. Dezembro, 2012. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/07/informacoes-sobre-a-economia-mineral-2017.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (Sisdagro)**. Dados meteorológicos de Santana do Livramento e estimativa de Balanço Hídrico de Cultivo e Perda de Produtividade. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br>. Acesso em 20 out. 2021.

ISO, International Organization for Standardization. ISO 14055-1:2017. Environmental management — Guidelines for establishing good practices for combatting land degradation and desertification — Part 1: **Good practices framework**. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14055:-1:ed-1:v1:en>. Acesso em: 21 ago. 2021.

KARATHANASIS A.D. Subsurface migration of copper and zinc mediated by soil colloids. **Soil Science Society of American Journal**. 1999; 63:830-838.

KRENCHINSKI, F. H. *et al.* Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2018, v. 53, n. 08, pp. 909-917. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000800005>. Acesso em: 25 out. 2021.

LAL R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**. 2004; 304:1.623-1.626.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo : Editora Oficina de Textos, 2010.

LANZANOVA M. E. *et al.* Residual effect of soil tillage on water erosion from a Typic Paleudalf under long-term no-tillage and cropping systems. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2013;37(6):1689-98. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600025>. Acesso em: 28 ago. 2021.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

LISBOA, B. B. *et al.* Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2012; 36(1):33-44. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>. Acesso em 20 ago. 2021.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHER, L. R. G. **Boletim Técnico nº 1: Acidez do Solo e Calagem**. Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo, 1991.

MELLO, J. W. V.; DUARTE, H. A.; LADEIRA, A. C. Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. *In: Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*. Nº 8, p. 24-29, mai. 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/06-CTN4.pdf> Acesso em: 14 jun. 2021.

NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil Aggregation, Organic Carbon Concentration, and Soil Bulk Density As Affected by Cover Crop Species in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2015, v. 39, n. 3. pp. 871-879. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140388>. Acesso em: 6 set. 2021.

NEUMAIER, N. *et al.* Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. *In: BONATO, E. R.* (Ed.) **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 19-44. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/456809>. Acesso em 05 out. 2021.

NEUMAIER, N. *et al.* Ecofisiologia da soja. *In: Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1128387>. Acesso em 5 out. 2021.

ONU, Organização das Nações Unidas. **United Nations Convention to Combat Desertification** (in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa). Convenção adotada em Paris, 1994.

PASSOS, A. M. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. Sistema de plantio direto. *In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de* (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 3, p. 61-104. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101765>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PEDROTTI, A. *et al.* Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA A. A. *et al.*, Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2007;31(6):1397-412. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600017>. Acesso em: 21 ago. 2021.

PEREIRA, M. F. S. *et al.* Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semi-árido** V. 9, n. 2, p. 21- 32, abr - jun, 2013.

Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/viewFile/351/pdf>. Acesso em 14 jun. 2020.

PEREIRA, M. G. *et al.* Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (Org.). **Formação, classificação e cartografia dos solos**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. cap. 1, p. 1-20. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202369/1/Formacao-e-caracterizacao-de-solos-2019.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2020.

PÖTTKER D. **Efeito do tipo de solo, tempo de cultivo e da calagem sobre a mineralização da matéria orgânica em solos do Rio Grande do Sul** [Dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1977.

PRUSKI, F. F. *et al.* Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2001, v. 5, n. 2, pp. 301-307. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200021>. Acesso em: 30 set. 2021

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, 2006. Departamento de Solos, UFSM. 18 p.

RENDIN, M. *et al.* Root and Shoot Contribution to Carbon and Nitrogen Inputs in the Topsoil Layer in No-Tillage Crop Systems under Subtropical Conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2018, v. 42 e0170355. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170355>. Acesso em: 22 out. 2021.

RESENDE, A. V. **O sistema plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51390/1/doc-118.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2001, v. 36, n. 1, pp. 151-160. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100019>. Acesso em: 10 set. 2021.

RICHART, A. *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744077016.pdf> . Acesso em: 23 jul. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Ocupação do Território: **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul**. 4^a ed. 2019. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/upload/arquivos/202104/22150920-atlas-socioeconomico-para-site.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema Plantio Direto. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília : Embrapa-SPI ; Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. 248p.

SANTOS, H. P.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003, 212 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126864/1/ID-8653-LV-0368.pdf> Acesso em: 28 ago. 2021.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural** [online]. 2008, v. 38, n. 2, pp. 576-586. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>. Acesso em: 10 set. 2021.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SCHERER, E. E. *et al.* Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2010; 34:1.375-1.383.

TAVARES, S. R. de L. *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/340067>. Acesso em: 12 set. 2021.

TEIXEIRA *et al.*, Retenção de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. *In: Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3ª ed. Brasília, DF. Embrapa, 2017.

TIECHER, T. *et al.* Effect of 26-years of soil tillage systems and winter cover crops on C and N stocks in a Southern Brazilian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2020;44:e0200029

TRIPLETT J. R.; DICK, W. A. No- tillage crop production: A revolution in agriculture!. **Agronomy journal**, v. 100, p. S-153-S-165, 2008. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.2134/agronj2007.0005c>. Acesso em: 20 abr. 2020.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. ed. Piracicaba. 2011; 420 p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2011, v. 35, n. 1, pp. 213-223. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>. Acesso em: 21 ago. 2021.