



Gert Müller

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

Dissertação de Mestrado

Cruz Alta- RS, 2019.

Gert Müller

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA.**

Dissertação submetida ao Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural da Universidade de Cruz Alta, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural.

Orientador. Prof^o. Dr. Eng. Agr. Jackson Ernani Fiorin

Cruz Alta- RS, 29 de Maio de 2019

M958q

Müller, Gert

Qualidade física do solo e sua relação com a produtividade da cultura da soja / Gert Müller. – 2020.

49 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Cruz Alta / Unicruz, Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, Cruz Alta, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Agr. Jackson Ernani Fiorin.

1. Cultura da soja- manejo e conservação do solo. 2. Sistema plantio direto. I. Fiorin, Jackson Ernani. II. Título.

CDU 633.34

Catálogo Bibliotecária Eliane Catarina Reck da Rosa CRB-10/2404

Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ
Vice-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão
Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

Elaborado por

Gert Müller

Como requisito parcial para obtenção do Título de
Mestre em Desenvolvimento Rural

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin
Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ

Prof. Dr. Vitor Cauduro Girardello
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai - URI

Prof. Dr. João Fernando Zamberlan
Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ

Cruz Alta - RS, 29 de Maio de 2019

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais Olibio e Oneides Luiza, pelo apoio, carinho e compreensão, sem os quais jamais teria conseguido, meus exemplos e minha força para seguir na busca de novos desafios.

A minha esposa Andiará, pelo incentivo, amor e paciência.

Aos meus filhos Heloísa e Arthur, que sempre me apoiaram na busca desse sonho, souberam entender minha ausência.

À Universidade de Cruz Alta, pela contribuição à minha formação como Mestre em Desenvolvimento Rural.

Ao professor Jackson pela atenção, apoio e paciência na construção desse trabalho.

A COTRIPAL, empresa onde trabalho, a qual autorizou e apoiou a realização da pesquisa.

RESUMO

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

Autor: Gert Müller

Orientador: Prof^o. Eng. Agr. Dr. Jackson Ernani Fiorin

O estudo objetiva realizar um diagnóstico da intensidade de uso e manejo do solo caracterizando o impacto das boas práticas na qualidade física do solo e na produtividade da soja. O estudo foi conduzido na área de abrangência da Cotripal Agropecuária Cooperativa (COTRIPAL). Foram selecionadas 51 propriedades rurais sendo 17 de cada nível tecnológico alto, médio e baixo. Foi aplicado um questionário que serviu de indicador da qualidade do solo, diagnosticando a adoção de práticas de manejo e conservação do solo, como plantio direto, diversificação e culturas de cobertura, práticas conservacionistas complementares, produtividade da soja, entre outras. Foi realizada a caracterização física do solo, como indicativo da probabilidade de compactação do solo. Foram relacionados os parâmetros avaliados e os indicadores de boas práticas, para propor estratégias de manejo aos produtores. A qualidade física do solo é preocupante, pois 76% e 98% das propriedades apresentam índice de compactação acima do nível crítico, respectivamente na camada de 0 a 7 cm e de 7 a 14 cm de profundidade. Considerando a adoção de boas práticas agropecuárias, cerca de 3,9%, 23,5%, 29,4%, 35,1 e 7,8% das propriedades possuem nível tecnológico muito baixo, baixo, médio e alto e muito alto, respectivamente. Considerando o grau de utilização e/ou diversificação de cultivos, 15,7% utiliza soja/pousio, 21,6% sucessão soja/trigo e, apenas 25,5% das propriedades utilizam um sistema de culturas mais diversificado incluindo rotação de culturas e plantas de cobertura do solo. A produtividade da soja na região é excelente pois, somente 15,7% das propriedades tem produtividade menor que 3000 Kg ha⁻¹ e, 60,8% tem produtividade considerada alta ou muito alta, superiores a 3600 Kg ha⁻¹. A condição física do solo é influenciada pelos sistemas de culturas utilizados e tem relação com a produtividade de soja nas propriedades rurais na região de abrangência da COTRIPAL.

Palavras-Chave: Sistema plantio direto, compactação do solo, rotação de culturas.

ABSTRACT

PHYSICAL QUALITY OF SOIL AND ITS RELATIONSHIP WITH THE PRODUCTIVITY OF SOY CULTURE

Author: Gert Müller

Advisor: Prof^o. Eng. Agr. Dr. Jackson Ernani Fiorin

The objective of this study is to evaluate the intensity of land use and management characterizing the impact of good practices on soil physical quality and soybean yield. The study was conducted in the coverage area of Cotripal Agropecuária Cooperativa (COTRIPAL). We selected 51 rural properties, 17 of each of the high, medium and low technological levels. It was applied a questionnaire that served as an indicator of soil quality, diagnosing the adoption of soil management and conservation practices, such as no - tillage, diversification and cover crops, complementary conservation practices, soybean productivity, among others. The physical characterization of the soil was performed as an indication of the probability of soil compaction. The parameters evaluated and the indicators of good practices were related to propose strategies of management to the producers. The soil physical quality is worrying, since 76% and 98% of the properties present compaction index above the critical level, respectively in the layer of 0 to 7 cm and of 7 to 14 cm of depth. Considering the adoption of good agricultural practices, about 3.9%, 23.5%, 29.4%, 35.1% and 7.8% of the properties have very low, medium, high and very high technological levels, respectively. Considering the degree of crop use and / or diversification, 15.7% use soybean / fallow, 21.6% soybean / wheat succession, and only 25.5% of the properties use a more diversified crop system including crop rotation and soil cover plants. The productivity of soybean in the region is excellent because only 15.7% of the properties have productivity below 50 bags ha⁻¹ and 60.8% have productivity considered high or very high, higher than 60 bags ha⁻¹. The physical condition of the soil is influenced by the cropping systems used and is related to soybean productivity in rural properties in the COTRIPAL region.

Key words: No-till system, soil compaction, crop rotation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Evolução do sistema plantio direto no Brasil de 1973 a 2012.....	16
Figura 2	Distribuição percentual das propriedades rurais em relação a presença de compactação acima do nível crítico na camada de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade. Cruz Alta, RS. 2019.....	29
Figura 3	Valores de densidade do solo (A), porosidade total (B) e grau de compactação do solo (C) nas propriedades rurais na presença e ausência da compactação na camada de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade. Cruz Alta, RS. 2019.....	31
Figura 4	Distribuição percentual das propriedades rurais em relação a classificação dos níveis tecnológicos com base no escore acumulado nos diferentes critérios relativos à adoção de boas práticas agropecuárias .Cruz Alta, RS. 2019.....	32
Figura 5	Distribuição percentual das propriedades rurais em relação a faixas de produtividade da cultura da soja. Cruz Alta, RS. 2019.....	33
Figura 6	Grau de compactação do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas de produtividade da cultura da soja. Cruz Alta, RS. 2019.....	34
Figura 7	Porosidade total do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas de produtividade da cultura da soja. Cruz Alta, RS. 2019.....	35
Figura 8	Distribuição percentual das propriedades rurais em relação ao grau de utilização e/ou diversificação de cultivos identificadas nas propriedades diagnosticadas. Cruz Alta, RS. 2019.....	36
Figura 9	Grau de compactação do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas do grau de utilização e/ou diversificação de cultivos. Cruz Alta, RS. 2019.....	37
Figura 10	Porosidade total do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas do grau de utilização e/ou diversificação de cultivos. Cruz Alta, RS. 2019.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de densidade do solo estabelecidos como críticos (Dsc) para a indicação de ocorrência de compactação dos solos em cada faixa de teor de argila dos solos. Santa Maria, RS, 2005.....	28
----------	--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Check-list dos critérios utilizados na avaliação das propriedades.....	25 e 26
----------	--	---------

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Hipóteses	13
1.2. Objetivos	13
1.2.1 Objetivos Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
2 REFERENCIAL TEORICO	15
2.1 Modelo Produtivo Gaúcho	15
2.2 Qualidade Física do Solo	17
2.3 Matéria Orgânica do Solo e sua Relação com a Produtividade da Soja	19
2.4 Os Desafios do Manejo e Conservação do Solo no RS	21
3 METODOLOGIA	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais culturas da agricultura gaúcha, responsável por grande parte da geração de emprego e renda no Estado. Com o passar dos anos a produtividade da oleaginosa vem aumentando, devido ao incremento do nível tecnológico nas lavouras.

Na região de abrangência da Cotripal Agropecuária Cooperativa (COTRIPAL) os sucessivos recordes de produtividades nas culturas de verão, também tem sido favorecidos pelos anos de clima favorável, associado à ocorrência de consecutivos fenômenos El Niño. Este fenômeno é provocado pelo aquecimento da superfície das águas do Oceano Pacífico que reflete no sul do Brasil em períodos que variam de 15 a 18 meses de precipitações pluviométricas acima da média. Devido a isso, tem ocorrido grandes volumes de chuva em curto espaço de tempo causando perdas de solo e água em áreas agrícolas mais declivosas. A ocorrência de erosão vem cada vez mais chamando a atenção de produtores e do Departamento Técnico da Cooperativa, no sentido de se desenvolver estudos e estratégias de manejo de solo e culturas que visem reduzir a perda de solo e sua fertilidade, assim como a redução dos impactos ambientais e a manutenção da capacidade produtiva dos solos da região.

Diante de tal problemática, acredita-se que a forma de se conduzir o sistema plantio direto (SPD) não tem preconizado o aporte de resíduos culturais e de raízes para garantir uma qualidade de solo suficiente para manter o potencial produtivo com mínima ocorrência de erosão. As causas mais prováveis dessa perda de solo, água e suas consequências, estejam ligadas a compactação, a baixa porosidade total do solo e ao baixo teor de matéria orgânica, o que reduz a infiltração de água no solo, o tornando mais suscetível aos efeitos da erosão.

O principal fator de sucesso no SPD é a implantação e o manejo da cobertura do solo. O solo agrícola deve estar sempre protegido, com cobertura verde ou morta. A cobertura permanente é indiscutivelmente a melhor prática de manejo para o controle da erosão do solo, por interceptar e absorver o impacto das gotas da chuva, promovendo a boa estrutura do solo, evitando o selamento e encrostamento superficial, promovendo infiltração e diminuindo o escoamento de água. A cobertura e/ou proteção do solo pode ser obtida através de um sistema de culturas de inverno, de verão e/ou nas suas entressafras, que de forma planejada em rotação, sequência ou consórcio adicionam grandes quantidades de matéria vegetal, que por

seus resíduos da parte aérea e do sistema radicular, melhoram a condição química física e biológica do solo e o potencial produtivo das culturas econômicas.

Por fim o presente estudo visa realizar um diagnóstico da intensidade de uso e manejo do solo caracterizando o impacto tecnológico das boas práticas agropecuárias na qualidade física do solo e na produtividade da cultura da soja, gerando subsídios técnico-prático à implementação de metodologias que visem a produção de maneira mais sustentável nas propriedades rurais da região de abrangência da COTRIPAL.

1.1 Hipóteses

- A intensidade de utilização e/ou diversificação de cultivos no sistema plantio direto influencia na qualidade física do solo.

- A qualidade física do solo na região de abrangência da COTRIPAL pode estar limitando a expressão de altas produtividades na cultura da soja.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivos Geral

O presente estudo tem por objetivo caracterizar os sistemas de culturas adotados nas propriedades rurais e seu impacto na qualidade física do solo e na produtividade da cultura da soja na região de abrangência da COTRIPAL.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade física do solo nas propriedades rurais da região de abrangência da COTRIPAL;

- Classificar os produtores em níveis tecnológicos baseado na adoção de boas práticas agropecuárias da propriedade como um todo;

- Diagnosticar os sistemas de culturas utilizados nas propriedades quanto a diversificação e utilização da rotação de culturas e plantas de cobertura do solo;

- Avaliar a produtividade da cultura da soja nas propriedades rurais;

- Relacionar o impacto tecnológico dos sistemas de culturas utilizados na qualidade física do solo e na produtividade da cultura da soja.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Modelo Produtivo Gaúcho

O Rio Grande do Sul se desenvolveu a partir da chegada dos imigrantes europeus, que aqui chegaram no início do século XX. Tal ocupação resultou em uma estrutura fundiária inicialmente de propriedades pequenas com enfoque produtivo na subsistência através de produção de vegetais como trigo e milho e de animais como bovinos, suínos e equinos este último dedicado a tração de equipamentos agrícolas. O modelo produtivo adotado no início da colonização acabava exaurindo os recursos do solo sendo necessária nova abertura de área produtiva.

Com a limitação de recursos, foi surgindo um modelo de rotação de espécies em mesma área o que aos poucos e com o passar do tempo ia recuperando o solo gradualmente o tornando produtivo novamente. Segundo Medeiros e Calegari (2007), na rotação de cultivos devem ser observados períodos mínimos sem o cultivo de uma mesma espécie na mesma área, tal modelo hoje descrito como rotação de culturas melhora o solo química física e biologicamente. Tal prática hoje é um dos pilares da semeadura direta sem preparo do solo que assumiu dimensão de verdadeira revolução, quebrando os padrões tradicionais e as recomendações clássicas para a agricultura e pastagens (Gassen, 1996. P. 17).

Em 1969, a Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS importou dos EUA uma semeadora para plantio direto por meio do convênio MEC/USAID. De maneira pioneira, o equipamento da marca Buffalo foi usado para semear um hectare de sorgo no campo agrícola do Posto Agropecuário do Ministério da Agricultura, no município de Não Me Toque, RS, tendo como o primeiro registro de plantio direto na palha no Estado do Rio Grande do Sul (MOTTER *et al.*, 2015).

Em 1970, na Estação Experimental do Ministério da Agricultura de Ponta Grossa – IPEAME, com apoio de empresas como ICI - *Imperial Chemical Industries* e *Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit – GTZ*, sigla em alemão, que em português quer dizer Agência Alemã de Cooperação Técnica, o plantio direto começou a ganhar popularidade para tornar-se referência (MOTTER *et al.*, 2015).

Em 1971, iniciaram as pesquisas com o plantio direto na cultura do trigo na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa – FUNDACEP FECOTRIGO localizada no

município de Cruz Alta, RS sob a liderança do Eng^o. Agrônomo José Abrão, transformada em fundação em 1989 com o nome de FUNDACEP FECOTRIGO, que nesta época já havia estudos comparativos deste novo sistema com as práticas convencionais (RUEDELL, 1995).

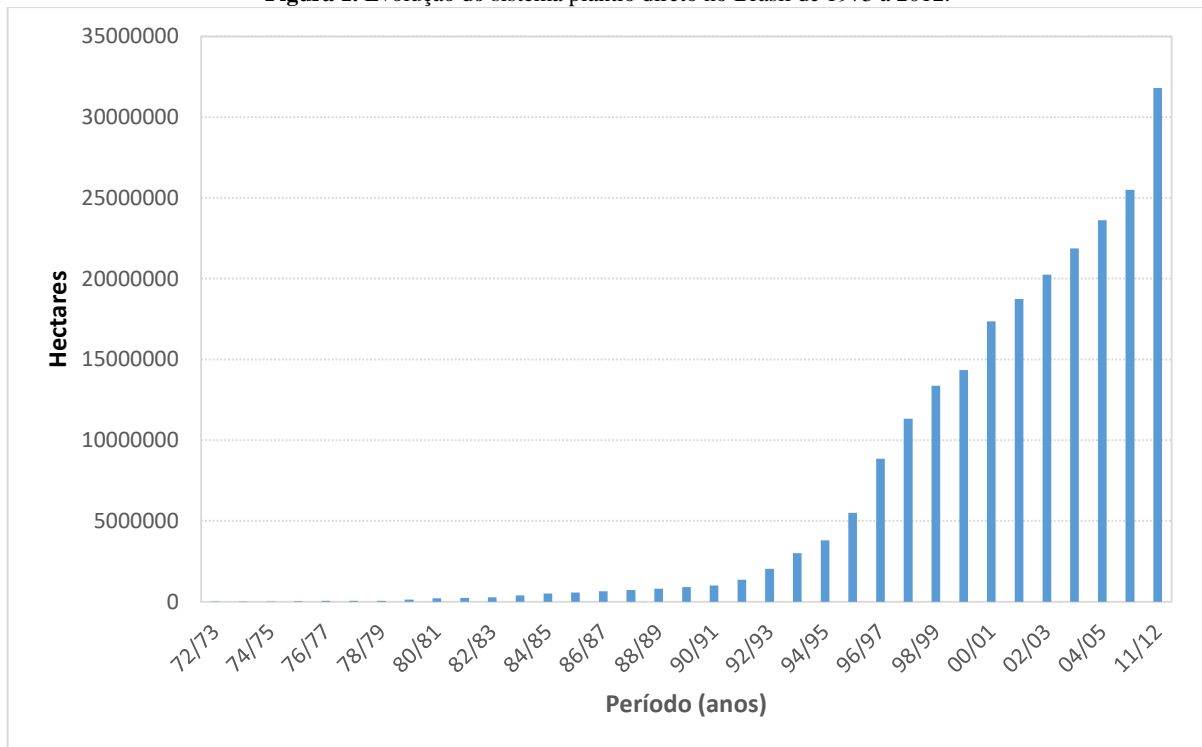
O Estado do Paraná foi pioneiro em utilizar a técnica que se transformaria posteriormente em Sistema Plantio Direto - SPD (CASÃO JR. *et al.*, 2012). Essa técnica surgiu na Inglaterra e nos Estados Unidos e as primeiras fazendas mecanizadas com o plantio direto surgiram no Estado do Kentucky, nos Estados Unidos. Foi nos Estados Unidos que agricultores paranaenses buscaram as primeiras informações para trazer essa tecnologia para o Brasil. (CASÃO JR. *et al.*, 2012).

De acordo com Bartz em entrevista concedida ao Motter (2015) em que ele confirma que desde 1971, havia uma agitação inicial em torno de plantio direto no Paraná, graças aos trabalhos de Rolf Derpsch e outros pesquisadores, no IPEAME, em Londrina e de Milton Ramos, que estabeleceu os primeiros ensaios na Estação Experimental da instituição, em Ponta Grossa, na safra de verão de 1971/72. A ICI fazia um trabalho de fomento importante nesses primeiros e áridos tempos.

Em 1972, o produtor Herbert Bartz de Rolândia, PR tornou-se personagem central dessa revolução na agricultura. Em sua propriedade, após presenciar intensas chuvas que trouxeram um imenso prejuízo, decidiu-se por viajar para a Inglaterra e Estados Unidos em busca de conhecimentos que pudessem controlar a erosão. Na Inglaterra obteve conhecimento sobre a nova tecnologia na Estação Experimental da ICI. No mesmo ano ele importou equipamentos dos EUA e começou em sua propriedade experiências de cultivos com base no SPD e graças à técnica e sua propriedade tornou-se referência no assunto. Nessa época a soja já era uma cultura difundida na região (MOTTER *et al.*, 2015).

Os preceitos da agricultura conservacionista que compõem o plantio direto compreendem a mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura, a manutenção dos restos culturais na superfície do solo, a diversificação de espécies pela rotação, pela sucessão ou pela consorciação de culturas, a redução do intervalo de tempo entre a colheita e semeadura, o aporte de grande quantidade de material orgânico ao solo, com qualidade e frequência compatíveis com sua demanda biológica e a cobertura permanente do solo (DENARDIN *et al.*, 2011).

O SPD foi se expandindo e sua consolidação se deu a partir de 1992, conforme Figura 1, não somente no Sul do Brasil, mas também em outros estados, tendo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - FEBRAPDP e os CATs um papel importante nessa expansão.

Figura 1. Evolução do sistema plantio direto no Brasil de 1973 a 2012.

Fonte: FEBRAPDP, 2017.

2.2 Qualidade Física do Solo

Segundo (VEZZANI 2009) a discussão sobre qualidade do solo intensificou-se no início dos anos 90 quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar a preocupação com a degradação ambiental. Técnicas que visem à avaliação da qualidade estrutural de um solo de forma simples e confiável ainda são objetos de investigações, sendo utilizados normalmente índices de qualidade do solo para monitorar as alterações em relação ao manejo do solo e à qualidade ambiental (Stefanoski et al., 2013). Cardoso et al. (2013) trabalhando com plantas de cobertura e espaçamentos concluíram que o cultivo das espécies de plantas de cobertura altera os teores de potássio e fósforo e não modifica os demais atributos químicos do solo, independente do espaçamento utilizado entre as plantas.

O Sistema Plantio Direto (SPD) desde que bem manejado seguindo princípios básicos, com mínima mobilização de solo, diversificação de espécies via rotação e cobertura vegetal permanente no solo, alcança inúmeros benefícios com o passar do tempo, tais como a

melhoria da qualidade do solo e aumento de produtividade dos cultivos (Sá, et al. 2010). Tal melhoria só não está mais presente na vida de todos pois segundo Derpsh (2014) carece de padronização, para tal seria necessária uma espécie de certificação do modelo produtivo sobre SPD, através da elaboração de protocolos experimentais mais detalhados, ainda, segundo o mesmo autor, se necessitam indicadores de qualidade que sejam sensíveis, práticos e reflexivos do histórico do uso e manejo das áreas.

A qualidade física do solo descreve como o solo permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas (REICHERT *et al.*, 2003). A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o desenvolvimento das plantas, pois influencia nas condições de encrostamento, compactação, adensamento, infiltração de água e suscetibilidade do solo à erosão (CAMPOS *et al.*, 1995; AGUIAR, 2008). A estrutura do solo é representada pelo arranjo das partículas minerais e orgânicas em agregados e pela rede de poros do solo (REINERT; REICHERT, 2006), sendo esta alterada pelo uso agrícola do solo (KAISER, 2010). O agrupamento dos agregados do solo, organizados numa forma geométrica definida, constitui a estrutura do solo (REINERT; REICHERT, 2006). Uma boa estrutura é a que tem poros e espaços porosos bastante volumosos para aeração, infiltração e desenvolvimento radicular das plantas, e agregados bastante densos e coesos (BERTONI; NETO, 1990). Se o solo está bem estruturado, vai influenciar no crescimento de raízes, que promove o crescimento vegetal resultando em maiores rendimentos (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

Um grande número de propriedades físicas, processos biológicos e químicos são afetados pelo tipo, tamanho e grau de desenvolvimento dos agregados do solo, tais como maior ou menor permeabilidade à água (LEPSCH, 2002). Dessa forma a estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, resistência à penetração, porosidade total, macro e microporosidade, infiltração da água no solo, capacidade de retenção d'água; condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (CAMARGO, 2016; ARAÚJO *et al.*, 2012).

No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos (CARNEIRO *et al.*, 2009). As práticas utilizadas para manejar o solo podem provocar alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos (NIERO *et al.*, 2010). Qualquer alteração no manejo do solo pode alterar diretamente sua estrutura e atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, podendo causar prejuízos à sua qualidade e à produtividade das culturas (CARNEIRO *et al.*, 2009).

A expressão dos diferentes atributos físicos também é influenciada pela espessura do solo que está relacionada à sua profundidade, aos tipos de horizontes presentes no perfil

(LEPSCH, 2010) e a textura do solo (ARAÚJO *et al.*, 2012). Segundo Ferreira (2010), sob condições de estrutura comparáveis, quanto mais argiloso o solo, menor a densidade.

Segundo Singer & Ewing (2000), os atributos mais utilizados como indicadores de qualidade física do solo deveriam ser aqueles que consideram a profundidade efetiva de enraizamento, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, distribuição do tamanho das partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e estabilidade dos agregados. Na tentativa de encontrar indicadores de qualidade física do solo que sejam práticos e reflexivos, alguns indicadores têm sido propostos, e o caso da agregação do solo, devido à sua elevada sensibilidade a mudanças e sua alta correlação com o acúmulo de carbono.

Os agregados podem ser classificados por tamanhos, em função de seu diâmetro, e variam de acordo com o manejo utilizado e as características do solo. Em SPD de longa duração com mínimo de perturbação em ambientes tropicais e subtropicais tem se observado a presença de macro agregados extragrandes, cujo diâmetro varia de 8 a 19mm, sendo que a maior parte de estoque de C nesses ambientes se concentra nestas classes maiores (Ferreira *et al.*, 2014). BAYER *et al.* (2008) afirmaram que o aumento da macro agregação melhorou a estabilização e, conseqüentemente, a fixação de C dentro dos agregados. Isso ocorre porque, no SPD, não ocorre o constante fraturamento dos macro agregados, provocado pelo preparo mecânico do solo, ou este fica restrito às linhas de semeadura. Em consequência, a entrada de O₂ através das trocas gasosas com o ar atmosférico é sensivelmente reduzida, criando um ambiente menos oxidativo no interior dos agregados. Assim, a exposição da MOS ao ataque microbiano é minimizada, permitindo que os agentes de agregação atuem como ligantes na formação de macro agregados (BAYER *et al.*, 2011).

O aumento da erosão hídrica ocorre em virtude da degradação das propriedades físicas do solo que é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural (BERTOL, 2000). Esses indicadores da qualidade física do solo são essenciais para entender o processo erosivo, pois são sensíveis aos efeitos do manejo do solo. O emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua qualidade física, química e biológica, diminuindo a qualidade do solo (COSTA *et al.*, 2003; REICHERT *et al.*, 2003).

2.3 Matéria Orgânica do Solo e sua Relação com a Produtividade da Soja

A matéria orgânica do solo é constituída por compostos de carbono em diferentes graus de associação com a fase mineral do solo, originados a partir da decomposição de

resíduos vegetais e animais (Zandonadi et. al., 2014). Além de ser fonte de nutrientes, a matéria orgânica apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e, devido a sua alta reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, em especial os micronutrientes, bem como a atividade de elementos potencialmente fitotóxicos como Al^{3+} e Mn^{2+} , em solos ácidos e em metais pesados. Nos ambientes tropicais, a matéria orgânica do solo tem importância elevada. É amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos à física e química dos solos devido a melhor agregação e retenção de água, maior CTC e disponibilidade de nutrientes (ZANDONADI et al., 2014). Além destes existem os aspectos biológicos que estão relacionados com microrganismos benéficos encontrados na matéria orgânica.

A matéria orgânica é considerada como eficiente indicador para determinar a qualidade do solo modificada por sistemas de manejo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005). O contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização de agregados (CAMPOS *et al.*, 1995) e a reestruturação dos solos depende da adoção de sistemas conservacionistas de manejo como o plantio direto que mantem a proteção do solo tem-se apresentado como uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade, pois melhora o estado de agregação devido ao incremento do teor do carbono orgânico, sobretudo na camada de 0 a 10cm (SILVA *et al.*, 2000a). Carpenedo & Mielniczuk (1990) verificou que há melhoria significativa da estrutura do solo após a implantação e manutenção do SPD.

Quando a cobertura é realizada com resíduos vegetais que possuem alta relação C/N, observa-se decréscimo na mineralização da matéria orgânica e aumento na imobilização dos nutrientes nela contidos (N, P, S), sobretudo na camada superficial do solo, devido à maior oferta de C-orgânico que estimula a atividade microbiana responsável pela imobilização do N no sistema solo-planta (MUZILLI, 2002).

É de suma importância, portanto, um processo contínuo de aporte de resíduos vegetais de qualidade e em quantidade, preferencialmente, depositado na superfície do solo, para que sejam mantidas de forma estável e até aumentadas as produtividades agrícolas (STRECK; FERREIRA; SCHWARZ, 2000).

Para manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade de seu uso, é fundamental que haja diversidade e abundância de espécies da macrofauna edáfica (MERLIM *et al.*, 2005) pois são indicadores da biodiversidade do solo e da intensidade das atividades biológicas.

SANTI (2007), estudando duas áreas no Rio Grande do sul identificou diferenças nas taxas de infiltração de água em áreas de alto e baixo rendimento, sendo de 75 a 100% superior nas áreas de alto rendimento, ainda segundo o mesmo autor na quantidade de água retida no solo as áreas de alto rendimento apresentaram um acumulado de 288mm, já nas áreas de baixo rendimento apenas 136mm acumulados, diferença de 152mm, ou seja, 112% superior a retenção de água em solos de alto potencial produtivo, outro ponto avaliado foi o escoamento superficial identificado como principal responsável pela perda de solo e com ele seus agregados e atributos químicos, identificou em chuvas simuladas de 300mm/h que em solos de alto rendimento o escoamento se iniciou após 27 minutos, já em áreas de baixo rendimento o escoamento iniciou após decorridos apenas 10 minutos da simulação. Em áreas de alto potencial produtivo foi identificado grande número de bioporos que ajudaram a entender a necessidade de se buscar o aumento da qualidade do solo como meio de se elevar a atividade biológica e conseqüentemente gerar melhorias na permeabilidade do solo, possibilitando fluxo preferencial de água ou mesmo facilitar o crescimento radicular. Casos como o estudado demonstram a importância de se adotar estratégias visando elevar os teores de matéria orgânica do solo especialmente nas áreas de baixo potencial de rendimento, como pré-requisito a melhoria da qualidade física como a agregação densidade e a porosidade, isso, com efeitos conjuntos sobre a fertilidade do solo, infiltração e retenção de água, implicando diretamente na produtividade das culturas.

2.4 Os Desafios do Manejo e Conservação do Solo no RS

O SPD está alicerçado na cobertura do solo pelos resíduos culturais, protegendo a superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva minimizando a erosão e aumentando a infiltração de água no solo (FIORIN, 2007). A sustentabilidade deste sistema está ligada a esta mesma cobertura, que catalisa e sustenta toda a continuidade do sistema (RUEDELL, 1998).

Em 1960 o Sistema Plantio Direto foi introduzido no Brasil como um novo método de manejo de solo, na década de 1980, passou a ser visto como um sistema de processos tecnológicos, entretanto, segundo (DENARDIN et al., 2010), após cerca de 70 safras agrícolas da adoção do SPD no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, observa-se, problemas de frequência que podem comprometer a estabilidade da produção agrícola.

A degradação do solo com aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração a redução da porosidade e da taxa de infiltração de água no solo, deformação

morfológica de raízes e concentração de raízes na camada superficial do solo, ocorrência de erosão com arraste de nutrientes, fertilizantes e corretivos pela enxurrada e prematura expressão de déficit hídrico por ocasião de pequenas estiagens. Esses problemas, certamente, resultam do descaso com a adoção plena do complexo de processos tecnológicos que compõe o sistema plantio direto, com destaque para: incipiente rotação de culturas, insuficiente cobertura de solo, pequena adição de fitomassa ao solo, manejo inadequado do sistema integração lavoura-pecuária, uso de semeadoras equipadas, exclusivamente, com discos para abrir os sulcos de semeadura, ausência de práticas mecânicas para manejo de enxurrada, abandono da semeadura em contorno, escarificação esporádica do solo sob justificativas mal fundamentadas, excessivo uso de calcário etc.

No Rio Grande do Sul, além de um SPD mal conduzido, grande parte dos solos cultivados está adensada, principalmente, devido à baixa produção de resíduos culturais, causando degradação da estrutura e redução na infiltração de água no solo (STRECK, 2014).

A água que não infiltra no solo por causa da erosão nas lavouras e nas estradas vai depositando sedimentos morro abaixo e assoreando rios, arrastando agroquímicos e contaminando os mananciais hídricos. É preciso conservar o solo e usá-lo de tal forma que as taxas de erosão não sejam superiores à taxa de formação do solo (STRECK, 2015). Os problemas atuais de degradação do solo decorrentes da negligência à adoção de práticas conservacionistas têm sido motivos de embates técnicos, especialmente nos anos de variação de índice pluviométrico, isso porque em anos mais chuvosos as áreas agrícolas expressam a incapacidade de amortizar o excesso de chuva ou armazenar água no perfil do solo em anos de estiagem (LONDERO, 2015).

Fica evidenciada a falta de preocupação para com a erosão provocada pela enxurrada que continua a fluir em algumas áreas de lavoura para os sistemas do entorno, transportando solo, material orgânico, agroquímicos, e, conseqüentemente, promovendo relevantes perdas econômicas, poluição e degradação ambiental (DENARDIN; FAGANELLO; SANTI, 2010).

Barroso e Silva (1992) acrescentam que a erosão, além de causar a redução na capacidade de armazenamento de água pelos reservatórios, causa, ainda, aumento no custo do tratamento de água, o desequilíbrio do balanço de oxigênio, o comprometimento do desenvolvimento de espécies aquáticas e a necessidade da construção de obras de combate a cheias.

O transporte de corretivos, fertilizantes, partículas de solo e material orgânico pode implicar em poluição de mananciais de superfície, redução do tempo de concentração de

bacias hidrográficas, redução do volume de água armazenada no solo e redução da recarga de aquíferos subterrâneos (SCHICK *et al.*, 2000; DALLA COSTA, 2004).

Em estudos realizados por Denardin *et al.*, (2008) constatou-se que em lavouras sob SPD, a erosão hídrica promove arraste de corretivos, fertilizantes e matéria orgânica, presentes na camada superficial do solo, gerando sedimento enriquecido, que além de representar prejuízo econômico ao sistema agrícola produtivo, pode constituir fator de poluição. Concluindo que dessa forma é necessário criar medidas para minimizar os efeitos erosivos no solo.

Gassen e Gassen (1996) enfatizam que a recuperação da qualidade da água é uma das principais preocupações dos governos, decorrente da demanda da própria sociedade. O manejo sustentado do solo é uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico (ZONTA *et al.*, 2012).

O Plantio Direto é a mais importante ação ambiental brasileira em atendimento às recomendações da conferência da Organização das Nações Unidas (Eco-92) e da Agenda 21 brasileira, indo ao encontro do que foi acordado na assinatura do Protocolo Verde. Porém não é somente pelos benefícios ao meio ambiente que muitos agricultores que plantam milho, soja, trigo, feijão e arroz estão adotando o SPD. Há uma série de vantagens como a melhor retenção de umidade havendo maiores rendimentos em anos secos.

Para o sucesso do SPD, são necessários os alguns requisitos por ser um sistema complexo, é exigido que o agricultor tenha conhecimento mais amplo e domínio de todas as fases do sistema, como manejo de mais de uma cultura e, muitas vezes, uma associação de agricultura e pecuária. O sistema exige ainda acompanhamento mais rígido da dinâmica de pragas, doenças e plantas daninhas, do manejo de fertilizantes e das modificações causadas ao ambiente à medida que o sistema vai sendo implantado.

Comparativamente ao sistema convencional, no sistema de plantio direto é menor a decomposição da cobertura vegetal, acumulando a matéria orgânica e aumentando o teor de C orgânico total, que estabiliza a estrutura do solo, pelo efeito cimentante na formação e manutenção dos agregados (BARRETO *et al.*, 2009). O plantio direto nessas condições acumula resíduos culturais, promovendo acúmulo de carbono, que beneficiam a absorção de água e infiltração, aumentando a sortividade do solo, porosidade total e macroagregação (SÁ *et al.*, 2014). Esses benefícios podem acentuar-se com o uso da rotação ou sucessão de culturas, que podem melhorar a estrutura do solo e reduzir a compactação, devido à síntese radicular de material orgânico, associado à configuração e proporção de raízes laterais (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009). Com apenas dois anos de plantio direto de milho

irrigado no semiárido, melhoram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, havendo aumento no conteúdo de água, do carbono orgânico, nitrogênio, da população microbiana e estabilidade de agregados (MUÑOZ; LÓPEZ-PIÑEIRO; RAMÍREZ, 2007), que, nessas condições, é resultado do acúmulo do carbono orgânico, cujas propriedades agregantes superam o efeito dispersante do sódio nestes sistemas (GIUBERGIA; MARTELLOTTI; LAVADO, 2013). O sistema de plantio direto mantém a agregação do solo semelhante à mata nativa, enquanto o plantio convencional reduz a agregação e o acúmulo de carbono no solo.

A compactação superficial do solo é mais intensa no plantio direto em relação ao plantio convencional, mas não altera a retenção de água (Sales R. P. et al., 2016), isso pode ser remediado com preparo profundo ou uso de espécies descompactadoras em rotação (RADFORD et al., 2007).

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido na região de abrangência da COTRIPAL, situada no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente nos municípios de Panambi, Condor, Pejuçara e Santa Barbara do Sul, com uma área territorial de 2330,06 km² (0,83% do Estado) e uma população de 60.493 habitantes. A COTRIPAL é uma empresa cooperativa que a 60 anos atua na área agrícola da região adquirindo os produtos agrícolas de seus associados e fornecendo insumos e assistência técnica.

A escolha destes municípios para a realização do estudo se deu pelo fato de existir um trabalho consolidado pela cooperativa devido a um maior tempo de assistência técnica prestada aos seus associados.

A partir do sistema de banco de dados referentes a produtividade e a fidelidade do associado com a cooperativa CRM (**Customer Relationship Management**), foram escolhidas três propriedades, pelos seus respectivos assistentes técnicos, sendo uma propriedade considerada de nível tecnológico baixo, uma propriedade de nível tecnológico médio e outra de nível tecnológico alto. Na área de abrangência do estudo, 17 assistentes técnicos da cooperativa atuantes nesses municípios, indicaram 3 propriedades cada, contemplando uma amostragem de 51 propriedades.

Em cada propriedade escolhida foram aplicados de forma conjunta com os assistentes técnicos a “planilha/questionário” (Quadro 1.) objetivando a avaliação das propriedades levando em consideração os seguintes critérios: preservação das APP's, reserva legal e respeito à capacidade de uso do solo; estado de conservação das estradas internas da propriedade; estado geral da conservação do solo no sistema plantio direto da propriedade, considerando a adoção das seguintes práticas: práticas de manejo e conservação do solo; sistema de plantio direto na palha; culturas de cobertura do solo no intervalo entre os cultivos comerciais; qualidade da estrutura, descompactação e infiltração de água; diversificação de culturas; práticas conservacionistas complementares: plantio /semeadura e demais práticas culturais e mecânicas em nível; eficiência do controle da erosão e armazenamento de água na lavoura com e sem terraços; conservação das estradas internas da propriedade e seu armazenamento de água na lavoura; produtividade da cultura da soja na propriedade; utilização e produtividade de culturas de inverno: percentual de utilização das áreas da propriedade no inverno; produtividade do trigo; produtividade da aveia branca; produtividade da aveia preta; percentual de utilização das áreas da propriedade com pastagem no inverno.

Quadro 1. Check-list dos critérios utilizados na avaliação das propriedades

Parâmetros de Avaliação	Peso	Nota Avaliação						Soma	Score
		0	1	2	3	4	5		
Uso do solo em relação a aptidão agrícola, preservação e/ou reposição das APPs e Reserva Legal (atenção especial para as matas ciliares e às demais exigências do PRA)	0,5								
Nível de adoção das práticas de manejo e conservação do solo em relação:	5								
- ao sistema de plantio direto na palha									
· à utilização de culturas de cobertura do solo no intervalo entre os cultivos comerciais									
- à qualidade da estrutura, descompactação e capacidade de infiltração de água									
· à diversificação de culturas 1- soja; 2- soja e trigo; 3- soja, trigo e outras gramíneas de inverno; 4- 3+ utilização de milho para colheita de grão ou silagem; 5- 4+ outras culturas econômicas alternativas (nicho de mercado)									
	Soma								
Práticas conservacionistas complementares	2,5								
Realiza plantio/semeadura e demais práticas culturais e mecânicas em nível?									
Nível de eficiência do controle da erosão e armazenamento de água na lavoura com terraços									
Nível de eficiência do controle da erosão e armazenamento de água na lavoura sem terraços									
Nível de conservação das estradas internas e armazenamento água na lavoura									
	Soma								

Continua ...

O check list foi utilizado afim de diagnosticar a intensidade de uso e manejo do solo das propriedades estudadas, afim de fazer uma correlação entre a intensidade de uso e manejo do mesmo com a produtividade da cultura da soja. Na avaliação das propriedades, foram atribuídos pesos aos diferentes critérios do CHECK LIST apresentado no Quadro 1, conforme a ordem de importância/impacto tecnológico das boas práticas agropecuárias adotadas na região.

A partir de um escore de pontuação proveniente de um questionário que foi aplicado pelos técnicos da cooperativa, afim de que os mesmos indicassem três produtores por carteira de clientes, foi definido 5 níveis que servirão de indicador da intensidade do trabalho realizado na propriedade em relação ao manejo do solo. Os níveis foram enquadrados como: escore Muito Baixo de 0 a 12,5 pontos, escore Baixo de 12,5 a 25,0 pontos, escore Médio de 25 a 37,5 pontos, escore Alto de 37,5 a 50,0 pontos e escore Muito Alto de 50 a 62,5 pontos.

Posterior a aplicação do questionário foram coletadas amostras de solo, afim de avaliar a condição física do solo. As coletas foram realizadas nas glebas que melhor representem a média produtiva da propriedade, não sendo nem na melhor nem na pior área da propriedade.

Na caracterização física do solo foi realizada através da avaliação da densidade do solo, grau de compactação e porosidade total do solo. Essas amostras foram compostas por 3 subamostras (pontos de coleta) escolhidos de forma aleatória na área. No procedimento de coleta foi realizada a abertura de uma trincheira. Para a coleta das amostras foi utilizado anéis volumétricos de dimensões conhecidas, nas camadas de 0-7 cm e 7-14 cm de profundidade, colocando o anel no centro dessas camadas. O anel foi introduzido no sentido vertical do solo. Uma vez realizada a “toalete” da amostra no anel, as mesmas foram colocadas em latas de alumínio e encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo. No laboratório, o material acondicionado nas latas foi submetido ao processo de secagem em estufa a 105°C, até peso constante, para a determinação da massa do solo seca (MSS). A densidade do solo (DS) foi calculada pela fórmula: $DS = [MSS / \text{Volume do anel}]$, expresso em g.cm^{-3} . A porosidade total do solo (PT) foi calculada pela fórmula: $PT = [1 - (DS / \text{Densidade de Partículas}) * 100]$, expresso em %, onde a Densidade de Partículas foi utilizado o valor (padrão de referência) de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$.

O grau de compactação (GC) foi calculado por uma equação em que se utiliza valores de densidade do solo (DS) e densidade referência do solo (DSref) que é a densidade do solo após a aplicação de determinada pressão em laboratório. Nesse estudo, a densidade referência do solo (DSref) foi gerada a partir da equação ($DS_{ref} = - 0.00033 \text{ argila} + 1.91655$) proposta por Reichert *et al.*, (2009), baseada no teor de argila (g kg^{-1}) da camada amostrada.

A partir da DSref calculada é possível se obter o grau de compactação do solo (GC) na camada, expresso em percentual (%) através da equação: $GC = (DS/DSref) * 100$]. Os valores quando acima do indicado impedem o pleno desenvolvimento das plantas, devido à grande compactação do solo.

A caracterização física do solo, como indicativo da probabilidade de compactação, foi baseada no resultado da análise da densidade do solo, através do seu enquadramento em critérios definidos por Michelin (2005). Com base nesses critérios, os solos foram agrupados em faixas de textura, em função do teor de argila. Para cada faixa de teor de argila, estabeleceu-se um valor crítico de densidade do solo, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de densidade do solo estabelecidos como críticos (Dsc) para a indicação de ocorrência de compactação dos solos em cada faixa de teor de argila dos solos. Santa Maria, RS, 2005.

Faixa de Argila (%)	Densidade Solo Crítica (g cm ⁻³)
0 – 20	1,60
20 – 30	1,55
30 – 40	1,50
40 – 50	1,45
50 – 60	1,40
60 – 70	1,35
> 70	1,30

Fonte: MICHELON (2005)

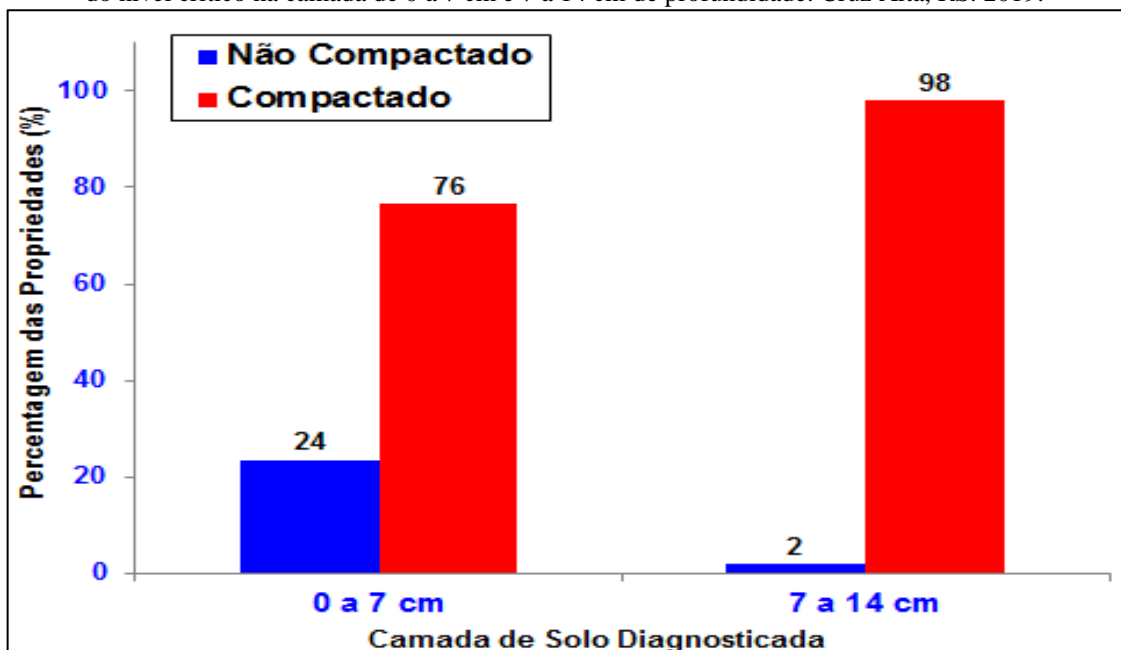
Após a avaliação da densidade do solo, as amostras foram classificadas em relação à probabilidade de ocorrência de compactação, em níveis assim descritos: (N): Não compactada: quando a amostra apresentou densidade do solo inferior aos níveis críticos estabelecidos para determinada faixa de argila; (S): Compactada: quando os valores de densidade do solo apresentaram-se superiores ao nível crítico estabelecido para determinada faixa de argila.

Os teores de matéria orgânica e de argila do solo foram obtidos através de informações do banco de dados da COTRIPAL, realizadas nas mesmas glebas que melhor representem a média produtiva da propriedade. Em relação a produtividade obtida na gleba que melhor representa a média da propriedade, foram classificadas em Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, nas faixas de < 40; 40 a 50; 51 a 60; 61 a 70 e > 70 sacas ha⁻¹, respectivamente. Com os resultados obtidos foram realizados estudos relacionando os parâmetros avaliados e os indicadores de boas práticas obtidas no diagnóstico aplicado aos assistentes técnicos, para propor estratégias de manejo aos produtores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é apresentada a distribuição percentual das propriedades rurais em relação a presença de compactação acima do nível crítico na camada de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade. Na profundidade de 0 a 7 cm a condição de não compactado representa 24% do total de propriedades analisadas. Entretanto, na profundidade 7 a 14 cm o percentual não compactado é de apenas 2%. Tal redução na condição de compactado na camada superficial do solo era esperado, associado ao fato da ação dos restos culturais de anos anteriores, maior efeito do sistema radicular e das hastes sulcadoras na superfície, que diminuem o adensamento do solo. A grande preocupação no entanto é o alto percentual de propriedades com compactação acima do nível crítico representando 76% e 98% das propriedades, respectivamente na camada de 0 a 7 cm e de 7 a 14 cm. As camadas mais profundas do solo apresentam histórico de adensamento resultante do preparo convencional do solo (pé de grade e pé de arado), sistema utilizado nas décadas passadas, intenso tráfego de máquinas agrícolas cada vez mais pesadas e a predominância da monocultura no sistema plantio direto, fazendo com que esse problema persistisse e se acentuasse até os dias atuais.

Figura 2. Distribuição percentual das propriedades rurais em relação a presença de compactação acima do nível crítico na camada de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade. Cruz Alta, RS. 2019.

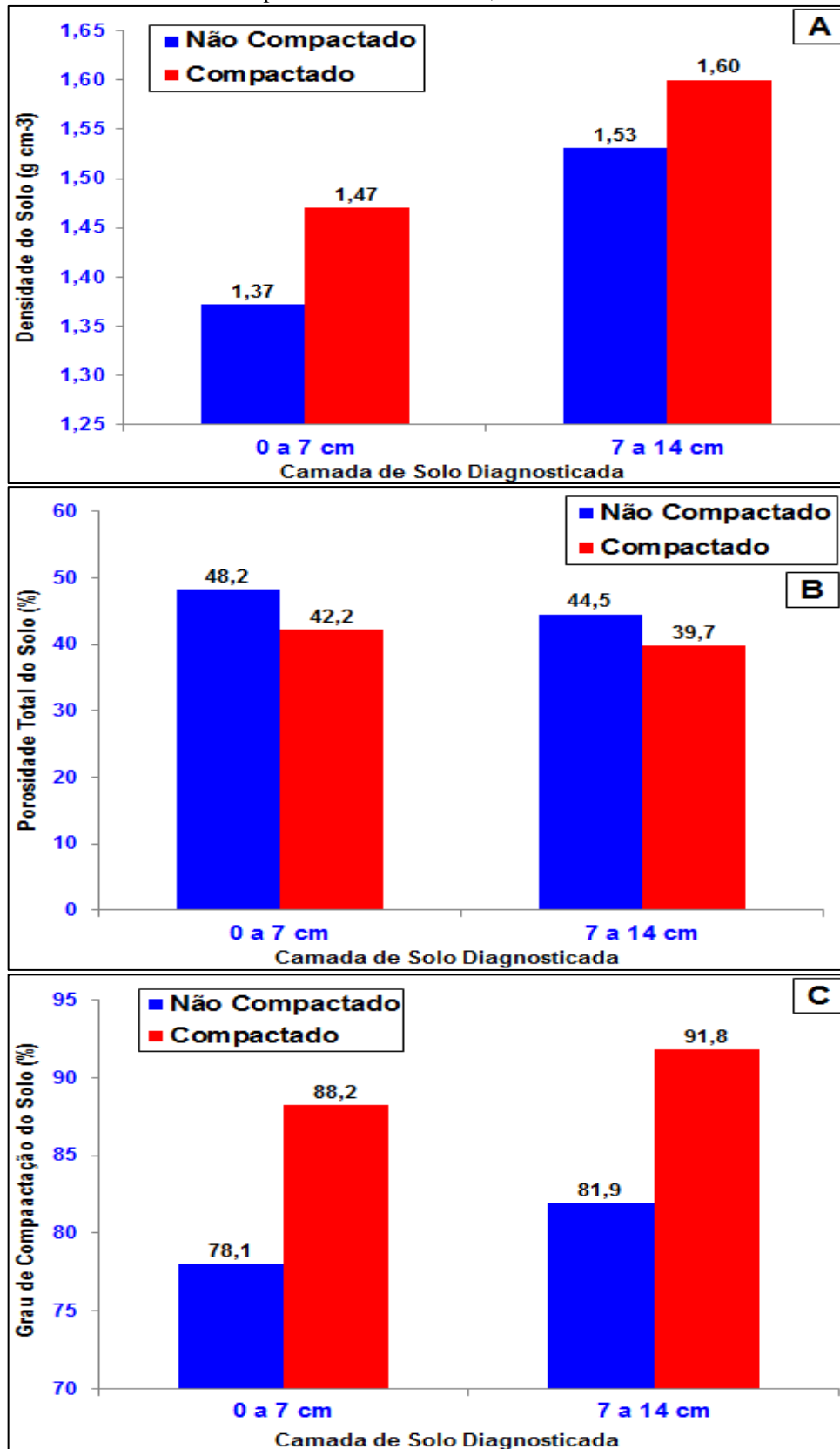


Com o agrupamento das propriedades basendo-se na densidade crítica do solo, segundo os critérios apresentados por MICHELON (2005), na Figura 3ABC é apresentada a densidade do solo, porosidade total e o grau de compactação do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm, obtida pela média das propriedades consideradas compactadas e não compactadas. Observa-se que os valores de densidade do solo são estatisticamente superiores nas propriedades consideradas na condição de solo compactado (Figura 3A). A densidade do solo é um dos parâmetros utilizados como indicativo da qualidade física do solo. Expressa a massa do solo seco dividido pelo volume ocupado pelo solo, e em condições de lavoura, pode variar entre 1,1 a 1,6 g cm⁻³. Quanto maior o valor da densidade do solo, maior é a compactação e restrição no crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das raízes e das plantas (REINERT; REICHERT, 2006), portanto, quando a densidade é alterada há reflexo direto na expansão do sistema radicular das plantas.

Com o adensamento do solo promovido pelo manejo adotado nas propriedades consideradas como compactado, ocorre concomitantemente a redução significativa na porosidade do solo (Figura 3B). A porosidade total do solo que é o volume de poros ocupado pelo ar (macroporosidade) e ou pela água (microporosidade), tal informação nos dá uma importante visão sobre a retenção e disponibilização de ar e de água para os cultivos. A macroporosidade é uma classe de tamanho de poros, que após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. Já a microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, retém contra a gravidade disponibilizando água as culturas por um período maior. A proporção, entre o volume de poros e o volume total de um solo é inversamente proporcional à densidade do solo (REINERT; REICHERT, 2006), ou seja, quanto maior for a fração de poros do solo menor será sua compactação, maior será o crescimento de raízes, a infiltração de água e conseqüentemente o armazenamento de água no solo.

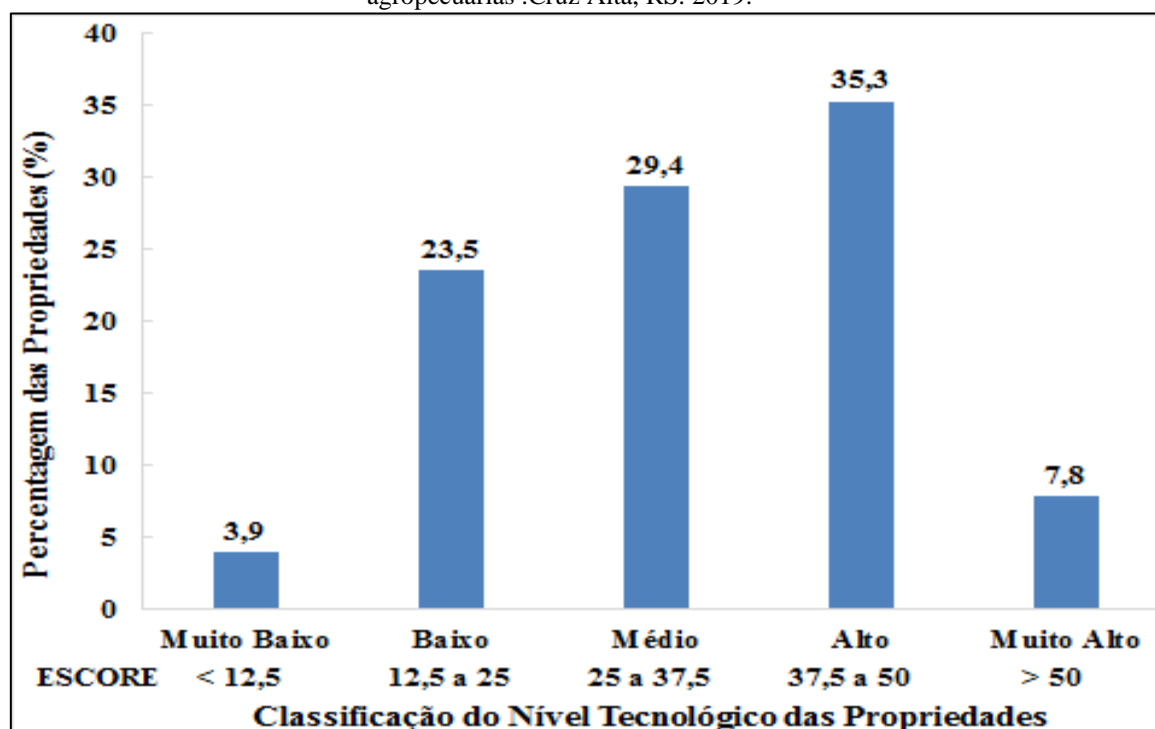
De forma semelhante o grau de compactação foi superior na condição de propriedades consideradas compactadas (Figura 3C). Isso está de acordo com REINERT & REICHERT (2006), que quanto maior o grau de compactação do solo menor será a porosidade total do solo e consecutivamente maior será a densidade do solo.

Figura 3. Valores de densidade do solo (A), porosidade total (B) e grau de compactação do solo (C) nas propriedades rurais na presença e ausência da compactação na camada de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade. Cruz Alta, RS. 2019.



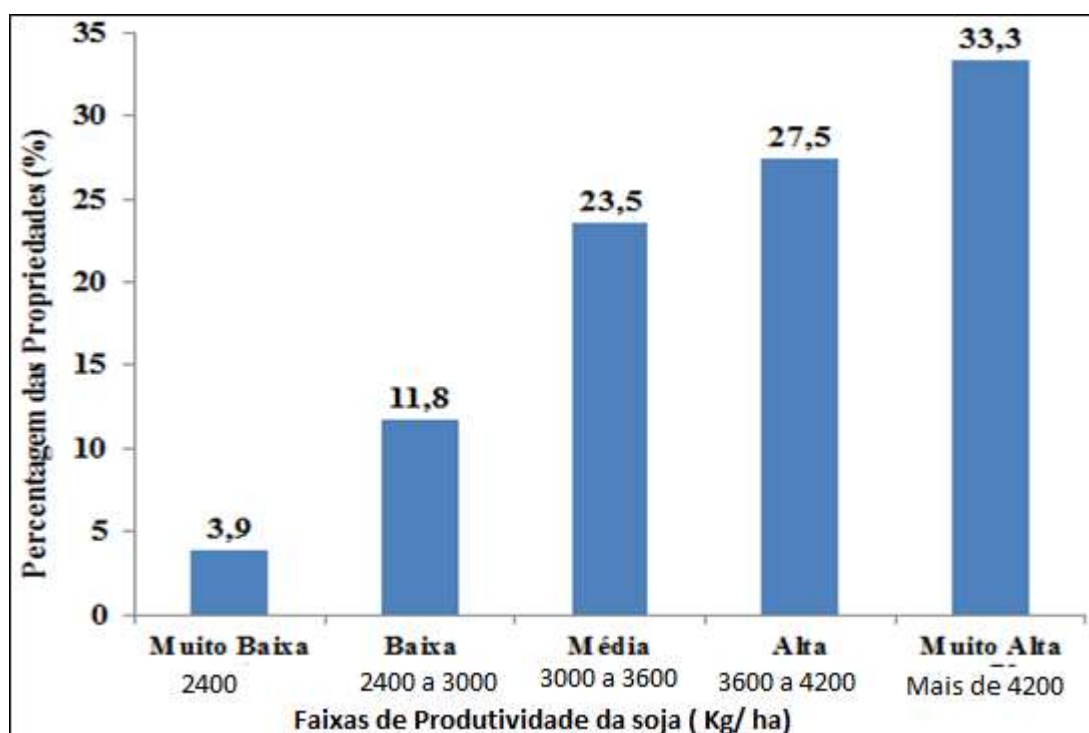
Na Figura 4 é apresentada a distribuição percentual das propriedades rurais em relação a classificação dos níveis tecnológicos elaborada com base no escore acumulado nos diferentes critérios relativos à adoção de boas práticas agropecuárias identificadas nas propriedades diagnosticadas. Observa uma grande amplitude qualitativa entre as propriedades estudadas, sendo que temos 3,9% das propriedades com nível tecnológico muito baixo, 23,5% das propriedades com nível tecnológico baixo, 29,4% das propriedades com nível tecnológico médio, 35,3% das propriedades com nível tecnológico considerado alto e 7,8% das propriedades com nível tecnológico muito alto. Os dados apontam que por um lado tem-se 27,4% das propriedades com nível tecnológico preocupante muito baixo ou baixo, em que esse grupo de produtores não tem bom entendimento em relação ao uso e aptidão do solo, não realiza com frequência práticas de conservação e manejo do solo adequados, e certamente, não apresentarão níveis de produtividade elevados. Por outro lado, identifica-se que 43,1% das propriedades estudadas possuem nível tecnológico considerado alto ou muito alto, com produtores que tem maior consciência em relação ao uso e aptidão do solo, realizam com certa frequência práticas de conservação do solo, tem maior intensidade no uso de diferentes culturas tanto comerciais como de cobertura de solo, e com isso certamente obterão níveis produtivos maiores.

Figura 4. Distribuição percentual das propriedades rurais em relação a classificação dos níveis tecnológicos com base no escore acumulado nos diferentes critérios relativos à adoção de boas práticas agropecuárias .Cruz Alta, RS. 2019.



Na Figura 5 é apresentada a distribuição percentual das propriedades rurais em relação a produtividade da cultura da soja. Observa-se a excelente média produtiva da cultura da soja na região estudada. Apenas 15,7% das propriedades tem produtividade menor que 3000 Kg de soja por hectare. Por outro lado, 60,8% das propriedades tem produtividade considerada alta ou muito alta sendo, superiores a 3600 Kg de soja por hectare. Isso mostra a grande capacidade que a cultura da soja tem de produzir satisfatoriamente em ambientes desfavoráveis rentabilizando o produtor e muitas vezes sendo responsável por toda renda da propriedade. Entretanto, nos últimos anos, o custo de produção vem aumentando, os altos custos com investimento acabam limitando a rentabilidade da propriedade que acaba passando por dificuldades financeiras.

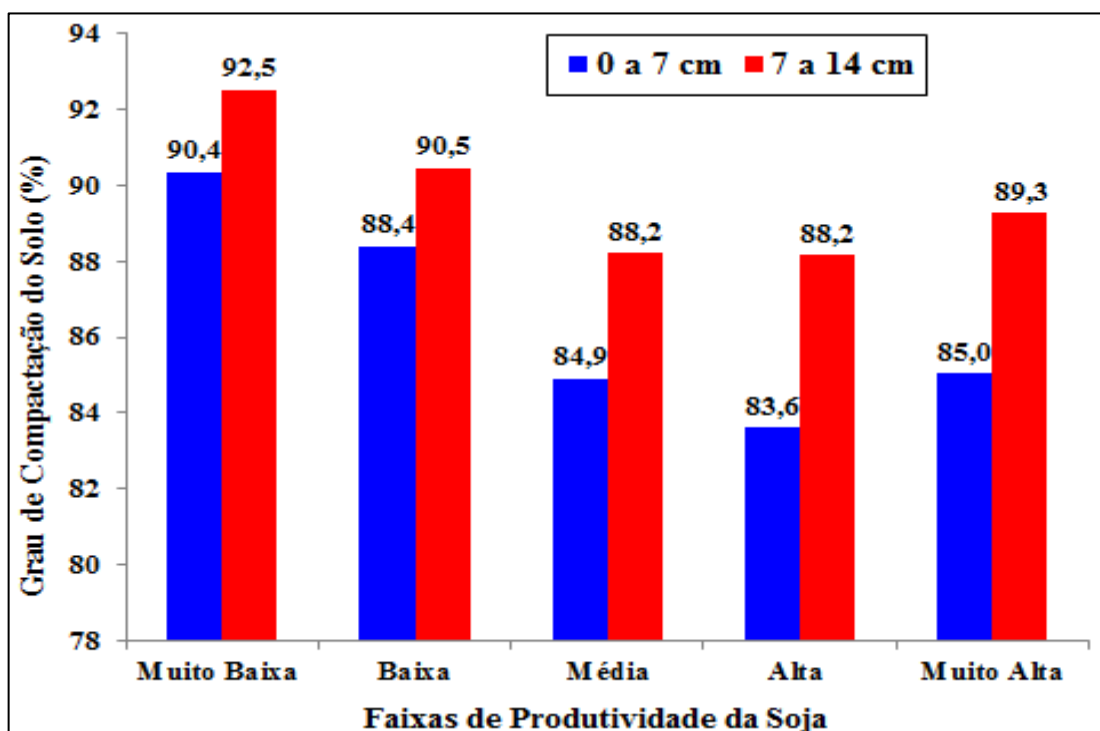
Figura 5. Distribuição percentual das propriedades rurais em relação a faixas de produtividade da cultura da soja. Cruz Alta, RS. 2019.



Com o objetivo de entender a influência da condição física do solo na produtividade, são apresentados nas Figuras 5 e 6, o grau de compactação e a porosidade total do solo, nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade, nas propriedades rurais em diferentes faixas de produtividade da cultura da soja. Pode-se identificar uma tendência clara que quanto maior a produtividade menor é o grau de compactação do solo (Figura 6) e maior a porosidade total do solo (Figura 7), ou seja, maior produtividade ocorre com maior frequência

em solos menos compactados. No entanto percebe-se também que o grau de compactação encontra-se muito alto e a porosidade total menor, em todos níveis de produtividade sendo mais preocupante na camada de 7 a 14 cm. Isso tem relação com o histórico de adensamento resultante do intenso tráfego de máquinas agrícolas cada vez mais pesadas e do preparo convencional do solo nas décadas passadas, aliado ao efeito dos restos culturais, sistema radicular e das hastes sulcadoras na superfície, que diminuem o adensamento do solo.

Figura 6. Grau de compactação do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas de produtividade da cultura da soja. Cruz Alta, RS. 2019.

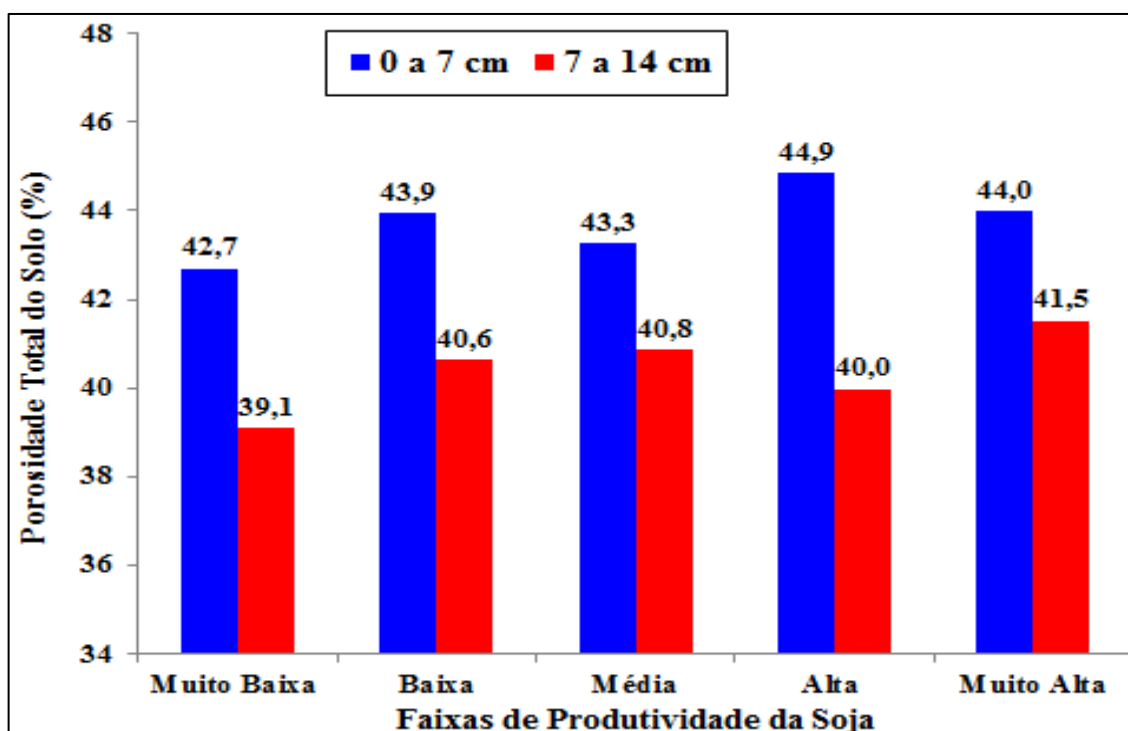


Segundo Suzuki et al. (2007), o grau de compactação ótimo para as culturas expressarem o potencial produtivo, encontra-se entre 77 e 88 %. Segundo os autores, a cultura da soja é favorecida por um grau de compactação intermediário em Latossolo, com grau de compactação ótimo, sem restrições até 86%, o que corrobora com os resultados obtidos (Figura 6), observando uma tendência clara de aumento de produção na medida que o grau de compactação diminui de 88 a 83%, na camada de 0 a 7 cm de profundidade. Entretanto, num Latossolo Vermelho de textura média, Beutler et al. (2005) verificaram grau de compactação ótimo de 80% para a soja, medindo a densidade referência pelo teste de Proctor.

A condição física do solo é decisiva para a expressão de altos tetos produtivos. A porosidade total que inclui a macroporosidade e microporosidade, aos quais são associados os

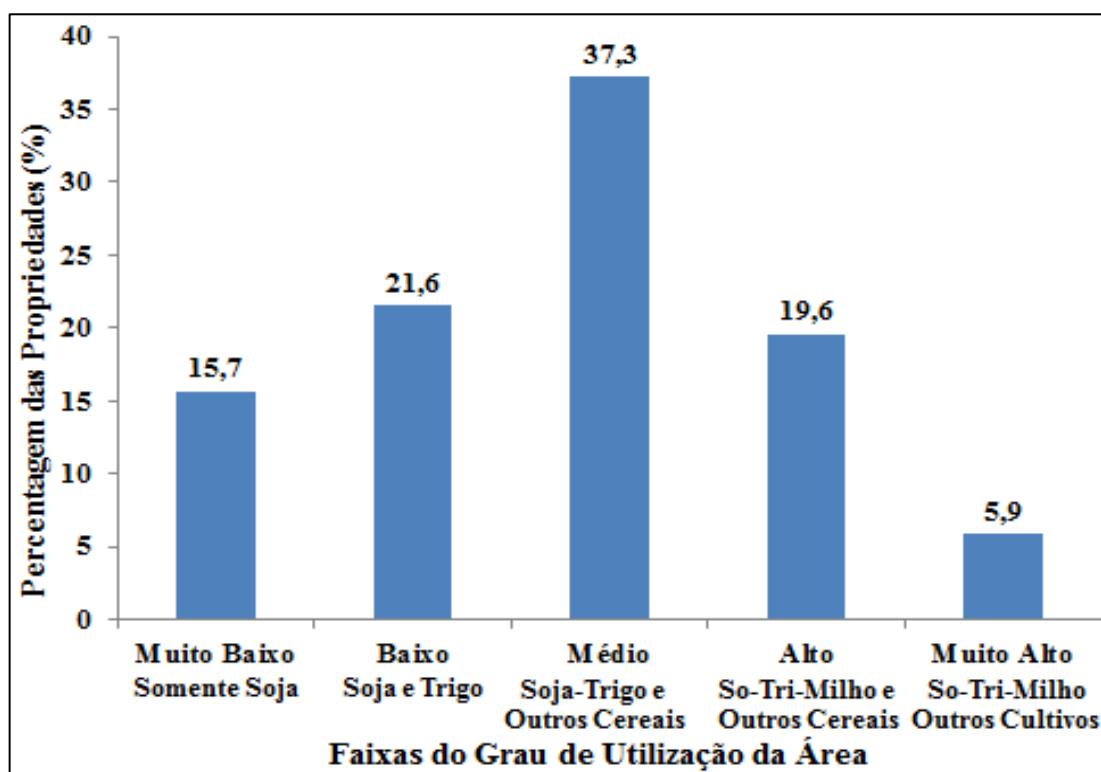
ambientes onde ocorrerão os processos de aeração e drenagem e de retenção de água para a microporosidade, a resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991). Também está relacionada à matéria orgânica, que, mesmo sendo importante para um bom cultivo, tem sido reduzida de forma gradativa no solo, principalmente porque o seu teor no solo é resultado do equilíbrio entre permanência de resíduos orgânicos e perdas por decomposição (CRUZ *et al.*, 2002). A porosidade do solo é referida como ideal quando se apresentar com $0,500 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$ ou 50% do seu volume total, no qual a microporosidade, responsável pelo armazenamento de água, variaria entre $0,250$ e $0,330 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$. Já a macroporosidade, representada pelo volume de poros responsáveis pela aeração das raízes, ficaria entre $0,170$ e $0,250 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$ (LIMA *et al.*, 2007). Pode se notar que a porosidade total dos solos nas camadas de 0 a 7 cm são maiores, isso, devido ao maior teor de matéria orgânica, efeito do sistema radicular e hastes sulcadoras, resultando num menor adensamento do solo nessa camada. Entretanto observa-se também que quanto maior a produtividade maior é a porosidade total do solo, isso se explica pelo fato de haver menor resistência a penetração radicular o que ocasiona um maior desenvolvimento das raízes que acabam absorvendo mais nutrientes, expressando maiores índices de produtividade.

Figura 7. Porosidade total do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas de produtividade da cultura da soja. Cruz Alta, RS. 2019.



A condição física do solo também é influenciada pelo sistema de culturas adotado nas propriedades. Na Figura 8 é apresentada a distribuição percentual das propriedades rurais em relação ao grau de utilização e/ou diversificação de cultivos identificadas nas propriedades diagnosticadas. Observando as peculiaridades das propriedades estudadas, mostra que em apenas 15,7% há monocultura da soja, ficando o período do inverno em pousio, entretanto, apenas 25,5% das propriedades possuem grau de utilização e/ou diversificação considerado alto ou muito alto, modelo de utilização considerado ideal por ser composto por vários tipos de culturas seja econômica ou de cobertura.

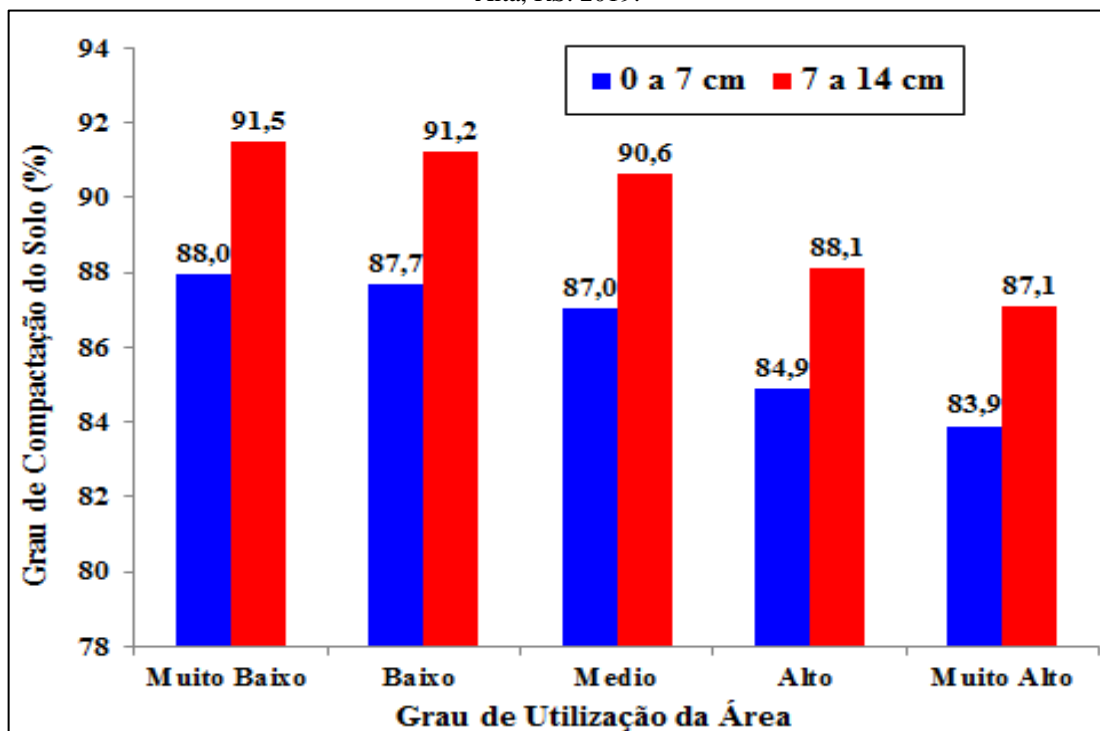
Figura 8. Distribuição percentual das propriedades rurais em relação ao grau de utilização e/ou diversificação de cultivos identificadas nas propriedades diagnosticadas. Cruz Alta, RS. 2019.



Na Figura 9 é apresentado o grau de compactação do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade, nas propriedades rurais em diferentes faixas do grau de utilização e/ou diversificação de cultivos. Observa-se tendência clara de menor grau de compactação quanto maior a intensidade de utilização/diversificação de cultivos associando plantas de cobertura de solo e culturas econômicas. Isso evidencia a necessidade do uso da rotação de culturas e da inserção de culturas de cobertura como pilares importantes para a

sustentabilidade do SPD. A melhoria da qualidade física pela rotação de culturas e plantas de cobertura do solo, também foi encontrada pelo trabalho desenvolvido por DENARDIN (2010), que coloca a capacidade para armazenar e disponibilizar água para as plantas, capacidade para armazenar e difundir calor, adequada permeabilidade à água e ao ar ou a gases e baixa resistência à penetração de raízes como propriedades desejadas para os solos cultivados.

Figura 9. Grau de compactação do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas do grau de utilização e/ou diversificação de cultivos. Cruz Alta, RS. 2019.

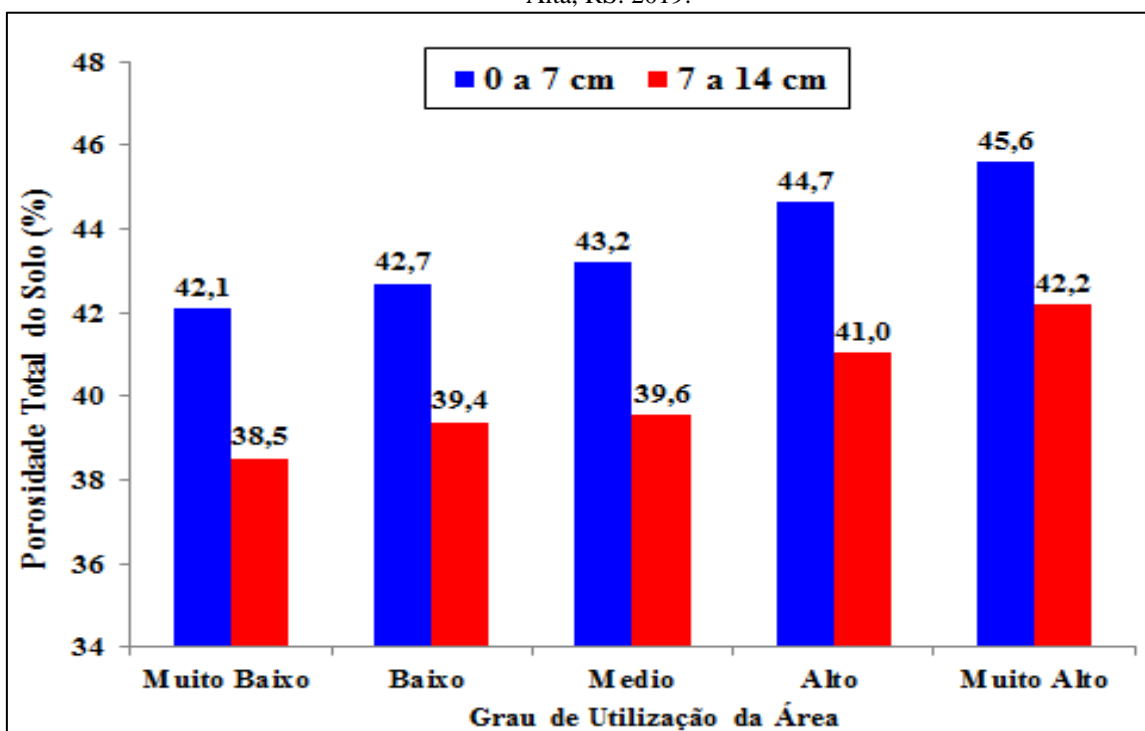


Para TORMENA (2009), o sucesso da semeadura direta envolve, necessariamente, a utilização de rotação de culturas para manter a qualidade produtiva do solo devido seu efeito em aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, ainda do ponto de vista físico, a diversidade de raízes e a maior adição de matéria orgânica em sistemas de rotação modificam inúmeras propriedades físicas conjuntamente e segue dizendo que a rotação de culturas deve ser planejada para que as culturas possam ser beneficiadas por suas antecessoras. Segundo o autor, um desses benéficos ocorre devido à diversificação de sistemas radiculares, que amplia as possibilidades da criação de bioporos, que além de modificar o fluxo de água e gases no solo, servem como rotas alternativas para o crescimento de raízes de plantas cultivadas em sequência. Neste sentido, a ampliação do volume de solo explorado pelas raízes aumenta a

eficiência do uso de fertilizantes e reduz os riscos de déficit hídrico. Uma maior penetração de água via bioporosidade implica numa maior reserva de água disponível, ainda que devessem considerar o efeito específico da cultura antecedente sobre a utilização da água disponível no solo.

Os efeitos dos sistemas de culturas na melhoria da qualidade física do solo também são evidentes sobre o aumento da porosidade total do solo (Figura 10).

Figura 10. Porosidade total do solo nas camadas de 0 a 7 cm e 7 a 14 cm de profundidade nas propriedades rurais em diferentes faixas do grau de utilização e/ou diversificação de cultivos. Cruz Alta, RS. 2019.



Segundo REINERT & REICHERT (2006) o espaço do solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e ar compõem o espaço poroso, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. A porosidade do solo geralmente é classificada por grau de tamanho, sendo dividida em duas classes: micro e macroporosidade. 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.

O solo que é mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (ANDREOLA et al., 2000). Entretanto, quando o solo é submetido ao processo produtivo, as características físicas sofrem alterações (NEVES et al., 2007), tornando-se fundamental a avaliação dessas características após a introdução de atividades de caráter antrópico, devido ao fato de serem capazes de promover a perda da qualidade estrutural e aumentar a suscetibilidade à erosão (BERTOL et al., 2001). A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ et al., 2008).

A matéria orgânica do solo influencia direta e indiretamente todas as características do solo, de modo que a redução do carbono orgânico total está relacionada à degradação física dos solos, e seu incremento através do manejo adequado modifica a capacidade de carga dos solos, que se tornam menos vulneráveis à compactação (BLANCO-CANQUI et al., 2009; VIANA et al., 2011). De acordo com Wendling et al. (2005), a matéria orgânica é o principal agente de formação e estabilização dos agregados.

Segundo MATOS et al. (2008) o plantio direto é o que propicia melhor estruturação do solo, com o maior incremento na matéria orgânica, aumentando a estabilidade de agregados. Para SANTANA (2018), os valores de porosidade total sempre se apresentaram maiores no SPD, ainda, a quantidade de água armazenada no solo foi bem maior nesse sistema de manejo.

5 CONCLUSÕES

- A qualidade física do solo na região de abrangência da COTRIPAL é preocupante, pois 76% e 98% das propriedades apresentam índice de compactação do solo acima do nível crítico, respectivamente na camada de 0 a 7 cm e de 7 a 14 cm de profundidade;
- Considerando a adoção de boas práticas agropecuárias, cerca de 3,9%, 23,5%, 29,4%, 35,1 e 7,8% das propriedades possuem nível tecnológico muito baixo, baixo, médio e alto e muito alto, respectivamente;
- Considerando o grau de utilização e/ou diversificação de cultivos nas propriedades, 15,7% utiliza soja/pousio, 21,6% sucessão soja/trigo e, apenas 25,5% das propriedades utilizam um sistema de culturas mais diversificado incluindo rotação de culturas e plantas de cobertura do solo;
- A produtividade da cultura da soja na região é excelente pois, somente 15,7% das propriedades tem produtividade menor que 50 sacas ha⁻¹ e, 60,8% das propriedades tem produtividade considerada alta ou muito alta, superiores a 60 sacas ha⁻¹;
- A condição física do solo é influenciada pelos sistemas de culturas utilizados e tem relação com a produtividade de soja nas propriedades rurais na região de abrangência da COTRIPAL;

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M.I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. Mestrado (Dissertação) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Viçosa, 2008. 91 p.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.617-625, 2007.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.411-418, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.857-865, 2000.

ARAÚJO E.A.; KER J.C.; NEVES, J.C.L.; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/270106254_Qualidade_do_solo_conceitos_indicadores_e_avaliacao>. Acesso em: 24 out. 2018.

BARRETO, R.C. MADARI, B.E. MADDOCK, J.E.L. MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E. FRANCHINI, J. COSTA, A.R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbono loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.132, p.243-251, 2009.

BARROSO, D.G.; SILVA, M.L.V. Poluição e conservação dos recursos naturais solo e água. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.176, p.17-24, 1992.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. da S.; CARVALHO, P. C. de F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, 2011. v.7. p.55-117.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-Elefante-Anão C.V. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v.58, p.555-560, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p

BEUTLER, J.F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre. 107p. 2005.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; SCHLEGEL, A. J.; LYON, D. J.; VIGIL, M. F.; MIKHA, M. M.; STAHLMAN, P. W.; RICE, C. W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.73, p.1871-1879, 2009.

CAMARGO, F.F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016. 242 p.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CARVALHO, G.J. ; FREITAS, D.A.F.; AVANZI, J.C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.375-382, 2013.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos à diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Viçosa, v.29, n.5, p.777-788, 2005.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

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

DALLA COSTA, R. **Nutrientes na água de escoamento superficial em sistema plantio direto com mulching vertical**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Santa Maria, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2004. 63p.

DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v.18, p.33-34, 2008.

DENARDIN, J. E; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam à degradação do solo. **Boletim Informativo da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**, Ponta Grossa, p.6-10, 2010.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A. 15 de abril: dia nacional da conservação do solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não ? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.10-15, 2011.

DERPSCH, R., FRANZLUEBBERS, A., DUIKER, S., REICOSKI, D., KOELLER, K., FRIEDRICH, T., STURNY, W., SÁ, J., WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research ? **Soil and Tillage**, v.137, p.16-22, 2014.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **Evolução da área cultivada no sistema plantio direto na palha** – Brasil. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

FERREIRA, A. O. ; SÁ, J. C. M. ; BRIEDIS, C. . Macroaggregates Carbon Storage Potential in Brazilian Oxisol Under Long-Term No-till. In: ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting, 2014, Long Beach. **Anais do ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting**, 2014.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q.J. (ed.) **Física do solo**. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.1-27, 2010.

FIORIN, J.E. Rotação de culturas e plantas de cobertura do solo. In: FIORIN, J.E. **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**, Passo Fundo: Berthier, 2007. p.145-184.

GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto: o caminho do futuro**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207 p.

GIUBERGIA, J.P.; MARTELLOTTO, E.; LAVADO, R.S. Complementary irrigation and direct drilling have little effect on soil organic carbon content in semiarid Argentina. **Soil and Tillage Research**, v.134, p.147–152, 2013.

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <**Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201703_1.shtm> Acesso em: 02 Agosto 2018

INAGAKI, T. M.; SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; TIVET, F.; ROMANIW, J. Macroagregados como indicadores de qualidade em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.151, p.2-7, 2016.

JIMENEZ, R.L.; GONÇALVES, W.G.; ARAÚJO FILHO, J.V.; ASSIS, R.L.; PIRES, F.R.; SILVA, G.P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.116–121, 2008.

KAISER, D.R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, 151p. 2010. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Teses/DOUGLAS-RODRIGO-KAISER-TESE.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2018.

LONDERO, A.L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2002. 178 p.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2010. 216 p.

LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; MELLO, L.M.M.; LIMA, R.C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31, p.1233-1244, 2007.

LONDERO, A.L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, J.C.C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, p.1221-1230, 2008.

MEDEIROS, G.B.; CALEGARI, A. Sistema plantio direto com qualidade: a importância do uso de plantas de cobertura num planejamento cultural estratégico. **Revista Plantio Direto**, v. 102, p. 01-05, 2007.

MERLIM, A.O.; GUERRA, J.G.M.; JUNQUEIRA, R.M.; AQUINO, A.M. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v.62, p.57-61, 2005.

MICHELON, C.J.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; FIORIN, T.T.; GUBIANI, P.I. Qualidade física de solos irrigados por aspersão no Brasil. **Ingeniería del Agua**, v.15, p.95-105, 2008.

MOTTER, P.; DE ALMEIDA H.G. (Coord). **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

MUÑOZ, A.; LÓPEZ-PIÑEIRO, A.; RAMÍREZ, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. **Soil and Tillage Research**, v.95, n.1/2, p.255-265, 2007.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no Sistema Plantio Direto: a experiência no Estado do Paraná. In: Simpósio sobre rotação soja/milho no plantio direto, v.3, 2002. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2002.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.74, p.45-53. 2007.

RADFORD, B.J.; YULE, D.F.; MCGARRY, D. PLAYFORD, C. Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. **Soil and Tillage Research**, v.97, n.2, p.249–255. 2007.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos Solos e Sustentabilidade dos Sistemas Agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.14, n.27, p.29-48. 2003.

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.3. 2009

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades Físicas do Solo**. Universidade Federal de Santa Maria. CCR. Santa Maria, maio, 2006. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf>. Acesso em: 14 de novembro de 2018.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134 p.

RUEDELL, J. Soja numa agricultura sustentável. In: SILVA, M.T.B. (Coord.): **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, p.1-34, 1998.

SÁ, J.C.M. ; SEGUY, L.; SÁ, M.F.M.; FERREIRA, A.O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; CANALLI, L.B.S. Gestão da Matéria orgânica e da Fertilidade do Solo Visando Sistemas Sustentáveis de Produção. In: PROCHNOW, L.I. et al. (org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute – Brasil (IPNI), v.1, p.383-420, 2010.

SÁ, J.C.M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D.C.; SANTOS, J.Z.; SANTOS, J.B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and

agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v.136, p.38-50, 2014.

SALES R.P.; PORTUGAL, A.F.; MOREIRA, J.A.A.; KONDO, M.K.; PEGORARO, R.F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n 3, p. 429-438, 2016.

SANTANA, J.S. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.15, n.27, p.22-42, 2018.

SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015. 175p.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JR., A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.24, p.427-436, 2000.

SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/6044/3148>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2019.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q.J. (ed.) **Física do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 208p.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: Sumner, M. E. (ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Soil use and management and its impact on physical quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STRECK, E.V.; FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A. (Coord.). **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. Disponível em: <<http://www.agraer.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/68/2015/05/Livro-Solos-EMATER-RS.pdf>>. Acesso em: 28 janeiro. 2019.

STRECK, E.V. Interface pesquisa e extensão rural para difusão de práticas sustentáveis de manejo do solo. In: **X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo**. 15, 16 e 17 de outubro de 2014. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Região Sul. Disponível em: <http://www.sbcs-nrs.org.br/xrsbcs/cdonline/docs/edemar_streck.pdf>. Acesso em 22 de janeiro de 2019.

STRECK, E.V. **Conservar o solo garante sustentabilidade ambiental de alimentos**. Emater, RS, 2015.

TOGNON, A.A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guaira-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 1991. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1991. 85p.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma Visão Sobre Qualidade do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p:743-755. 2009.

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.2105-2114. 2011.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494. 2005.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n 5, p.891-900. 2004.

ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; MEDICI, L.O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.32; p.14-20. 2014.

ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, M.R. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, p 377-388. 2012.