

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO
E DA ÁGUA**



Dissertação

**Sistemas integrados de cultivo e pecuária em terras baixas do Sul do Brasil:
Parâmetros físicos e estoques de carbono orgânico de um Planossolo**

Jardel Böhmer Junior

Pelotas, 2022

Jardel Böhmer Junior

Título

**Sistemas integrados de cultivo e pecuária em terras baixas do Sul do Brasil:
Parâmetros físicos e estoques de carbono orgânico de um Planossolo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Liane Rodrigues de Lima

Coorientador (es): Prof^a. Dr^a. Lizete Stumpf

Pesquisador Dr. Adilson Luís Bamberg

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B111s Böhmer Junior, Jardel

Sistemas integrados de cultivo e pecuária em terras baixas do sul do Brasil : parâmetros físicos e estoques de carbono orgânico de um planossolo / Jardel Böhmer Junior ; Cláudia Liane Rodrigues de Lima, orientadora ; Lizete Stumpf, Adilson Luís Bamberg, coorientadores. — Pelotas, 2022.

48 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Qualidade física do solo. 2. Estoque de carbono. 3. Sistemas integrados. I. Lima, Cláudia Liane Rodrigues de, orient. II. Stumpf, Lizete, coorient. III. Bamberg, Adilson Luís, coorient. IV. Título.

Jardel Böhmer Junior

**Sistemas integrados de cultivo e pecuária em terras baixas do Sul do Brasil:
Parâmetros físicos e estoques de carbono orgânico de um Planossolo**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 30/11/2022

Banca examinadora:

Profa. Dra. Cláudia Liane Rodrigues de Lima. (Orientadora)
Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (USP),
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz “(ESALQ).

Profa. Dra. Marília Alves Brito Pinto
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Prof. Dr. Ryan Noremberg Schubert
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Agradecimentos

Primeiramente à Deus e à minha família, especialmente à minha namorada Rafaella Peglow Bubolz, por todo seu apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À professora Dra. Cláudia Liane Rodrigues de Lima, à professora Dra. Lizete Stumpf e ao pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Dr. Adilson Luís Bamberg, pela coorientação.

E aos técnicos, Paulo Luís da Luz Antunes e Rosiméri Damasceno Trecha, por todo apoio nas análises realizadas em laboratório.

Resumo

BÖHMER JUNIOR, Jardel. **Sistemas integrados de cultivo e pecuária em terras baixas do Sul do Brasil: Parâmetros físicos e estoque de carbono orgânico de um Planossolo**. 2022. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Solos de terras baixas apresentam-se em condições de elevado hidromorfismo e, por sua vez, dificuldade de inserção de espécies de sequeiro e de adoção de algumas atividades agrícolas. A rotação de culturas e a inserção de outras espécies de plantas vêm sendo testadas visando a sustentabilidade do sistema de produção e melhoria da qualidade física dos solos de terras baixas. O objetivo deste trabalho é avaliar atributos físicos (densidade, porosidade, agregação e a curva de retenção de água do solo), e químico (estoques de carbono orgânico) de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico em sistemas integrados de cultivos anuais de grãos e pecuária. O estudo foi desenvolvido em quatro áreas agrícolas localizadas no município de Capão do Leão e de Arroio Grande, no RS. Os sistemas integrados (SI) avaliados foram: a) SCAP - Sistema convencional de cultivo de terras baixas do RS: Arroz Irrigado - Pousio - Pousio – Pousio (pecuária de corte extensiva); b) ILP: Sistema de Integração Lavoura - Pecuária; c) ASAS: Rotação de culturas arroz-soja-arroz-soja; d) AASS: Rotação de culturas arroz-arroz-soja-soja. No período de outubro e novembro de 2020 foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10- 0,20 m. As avaliações foram realizadas nos laboratórios de física e química do Solo da UFPel e Embrapa Clima Temperado. Sistemas de cultivos e pecuária influenciaram alguns parâmetros físicos e químicos de um Planossolo em áreas de terras baixas do Sul do RS, em especial a macro e microporosidade, porosidade total e estoque de carbono. A introdução de culturas anuais (soja) no sistema produtivo resultou em melhoria dos atributos físicos, como a porosidade total, principalmente na(s) camada(s) 0-0,05m e 0,05-0,10m. Concluiu-se que o sistema integrado lavoura-pecuária conduzido sob camalhões de base larga reduziu a qualidade física do solo, pois observou-se menor microporosidade, porosidade total e estoque de carbono, por outro lado, a qualidade de solos terras baixas, em especial de Planossolos, pode ser melhorada pela adoção de rotação de culturas anuais (soja) em sistemas integrados de cultivos.

Palavras-chave: qualidade física do solo; estoque de carbono; sistemas integrados.

Abstract

BÖHMER JUNIOR, Jardel. **Soil quality of a Planosol under integrated crop and livestock systems in lowlands of southern Brazil: physical parameters and organic carbon stocks of a Planosol**. 2022. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Lowland soils present conditions of high hydromorphism and, in turn, difficulty in inserting upland species and adopting agricultural activities. Crop rotation and the insertion of other plant species have been tested aiming at the sustainability of the production system and improvement of the physical quality of lowland soils. The objective of this work is to evaluate some physical attributes (density, porosity, aggregation and the soil water retention curve), and chemical (organic carbon stocks) of a Eutrophic Solodic Haplic Planosol in integrated systems of annual crops of grains and livestock. The study was carried out in four agricultural areas located in the municipalities of Capão do Leão and Arroio Grande, in RS. The integrated systems (IS) evaluated were: a) SCAP - Conventional lowland cultivation system in RS: Irrigated Rice - Fallow - Fallow - Fallow (extensive beef cattle); b) ILP: Crop-Livestock Integration System; c) ASAS: Rice-soybean-rice-soybean crop rotation; d) AASS: Rice-rice-soybean-soybean crop rotation. In the period of October and November 2020, soil samples with preserved structure were collected in the layers 0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.20 m. The evaluations were carried out in the Soil Physics and Chemistry laboratories at UFPel and Embrapa Clima Temperado. Crop and livestock systems influenced some physical and chemical parameters of a Planosol in lowland areas of southern RS, especially macro and microporosity, total porosity and carbon stock. The introduction of annual crops (soybean) in the production system resulted in an improvement in physical attributes, such as total porosity, mainly in the 0-0.05m and 0.05-0.10m layer(s). It was concluded that the integrated crop-livestock system conducted under wide-base ridges reduced the physical quality of the soil, as it was observed lower microporosity, total porosity and carbon stock, on the other hand, the quality of lowland soils, especially of Planosols, can be improved by adopting annual crop rotation (soybean) in integrated cropping systems.

Keywords: soil physical quality; carbon stock; integrated systems.

Lista de Figuras

- Figura 1.** Municípios de Capão do Leão e Arroio Grande, Sul do Estado do Rio Grande do Sul/RS. 34
- Figura 2.** Pontos de coleta dos quatro diferentes sistemas integrados e o seu tipo de solo. 35
- Figura 3.** Densidade do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m / 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) de um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 41
- Figura 4.** Macroporosidade do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 42
- Figura 5.** Microporosidade do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m / 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 43
- Figura 6.** Porosidade total do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m, 0,05-0,10m e 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 44
- Figura 7.** Água disponível às plantas nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m, 0,05- 0,10m e 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias

seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 45

Figura 8. Carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola em um Planossolo sob diferentes camadas (0,00 – 0,05m, 0,05-0,10m e 0,10 – 0,20m) destacada pelas diferentes cores dos gráficos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 46

Figura 9. Estoque de Carbono do solo nos diferentes sistemas de produção sob diferentes camadas (0,00 – 0,05m / 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) destacada pelas diferentes cores dos gráficos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. 46

Lista de Tabelas

TABELA 1. Teores de areia, silte e argila do solo, nas camadas de 0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20m, cultivado sob diferentes sistemas integrados de produção agrícola.	36
Tabela 2. Porcentagem de agregados estáveis em água, retida nas diferentes classes de tamanho, em sistemas integrados de produção agrícola e em diferentes camadas de solo (0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m).	47

Lista de Quadros

Quadro 1. Descrição das características dos sistemas integrados	37
--	-----------

Lista de Abreviaturas

AD - Água disponível

C - Carbono

Cfa - Clima subtropical

cm - Centímetro

CRA - Curva de retenção de água no solo

CTC - Capacidade de troca de cátions

DMP - Diâmetro médio ponderado

h - Horas

ILP - Integração lavoura- pecuária

kPa - kilopascal

MO - Matéria orgânica

m - metro

mm - Milímetro

N - Nitrogênio

pH - potencial hidrogeniônico

RS - Rio Grande do Sul

SI - Sistemas integrados

Lista de Símbolos

°C – Graus Celsius

Ψ – Potencial mátrico

< – Menor que

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.2 Potencialidades de uso agrícola em Terras Baixas	26
2.3 Indicadores de qualidade de solos sob sistemas integrados de cultivo em áreas de terras baixas	29
3 HIPÓTESES	31
4 OBJETIVOS.....	31
4.1 Geral	31
4.2 Específicos.....	32
5 CAPÍTULO 1: QUALIDADE DE UM PLANOSSOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVOS E PECUÁRIA EM TERRAS BAIXAS DO SUL DO BRASIL	33
5.1 Introdução	33
5.2 Material e métodos.....	34
5.2.1 Área de estudo.....	34
5.2.2 Amostragem e avaliações físicas e estoque de carbono do solo.....	38
5.3 Resultados e discussão	40
5.5 Conclusão	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde o ano de 1993, avaliar a qualidade do solo apresenta interesse atual e crescente, principalmente, com o lançamento do livro “*Soil and water quality: an agenda for agriculture*”, pelo “*Board on Agriculture of the National Research Council*” dos Estados Unidos da América, onde ressalta-se que a qualidade do solo assume uma importância equiparada a qualidade do ar e da água na determinação global da qualidade ambiental (GOMES *et al.*, 2006).

Segundo Reis *et al.* (2016), a degradação do solo é consequência de ações antrópicas, entre elas, destaca-se as práticas agrícolas convencionais, sendo assim, necessário utilizar diferentes técnicas capazes de reduzir estes danos, como a compactação.

O modelo produtivo e de uso da terra predominante, baseado na monocultura e no preparo intensivo e continuado do solo, principalmente sob preparo convencional, tem provocado danos na qualidade dos solos agrícolas, perdas de solo por processos erosivos, compactação e a redução da fertilidade, da matéria orgânica, e da fauna edáfica também são reportados como alguns problemas. (SALTON *et al.*, 2001).

Para um solo agrícola ser considerado de boa qualidade, deve ser capaz de cumprir suas funções ambientais, além de ter a capacidade de manter a produtividade, a biodiversidade vegetal e animal ao longo do tempo (GOMES *et al.*, 2006). Ações de manejo que visem a manutenção da matéria orgânica são importantes, pois influenciam diretamente na condição estrutural e na fertilidade do solo (CAMPOS *et al.*, 2016). Quando manejado seguindo os princípios da agricultura conservacionista, o solo tende a apresentar estabilidade, com a presença de vegetação nativa em cobertura, podendo permanecer em equilíbrio entre as taxas de adição e perdas de carbono (SANCHEZ, 1976). O preparo do solo para atividades agrícolas influencia a estabilidade do sistema e, assim, reduz os níveis do carbono orgânico devido a exposição da superfície e a proteção física da matéria orgânica proporcionada pelos agregados. Por outro lado, existem sistemas de cultivo, como as pastagens e o plantio direto que, quando bem conduzidos, conservam a matéria orgânica de modo que o balanço entre perdas e ganhos de carbono orgânico no solo

possa ser favorável, resultando em um maior equilíbrio destas áreas (GONÇALVES; CERETTA, 1999).

Em terras baixas do sul do Brasil, os cultivos agrícolas, geralmente utilizam o preparo convencional, com revolvimento anual da camada arável do solo, onde se costumava realizar a sucessão arroz irrigado - pecuária (criação extensiva de bovinos de corte a pasto (CORREIA *et al.*, 2013). Recentemente, a diversificação de culturas com soja, milho e sorgo vem ganhando espaço (PARFITT *et al.*, 2015). O principal problema da inserção destas culturas em terras baixas atribui-se a má drenagem natural, com áreas que apresentam topografia plana, horizonte superficial denso, relação micro/macroporosidade alta e condutividade hidráulica extremamente baixa no horizonte B (GOMES *et al.*, 2006), restringindo a difusão de oxigênio e movimento de água no perfil (PARFITT *et al.*, 2015).

Nas terras baixas do RS, tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado e pecuária de corte extensiva, a diversificação de culturas vem ocorrendo principalmente, através da ampliação da área plantada com soja, amparada por aspectos técnicos e econômicos. O cultivo de arroz irrigado requer um conjunto amplo de operações de adequação e preparo intensivo do solo, estruturas de irrigação e drenagem, controle rigoroso de plantas daninhas, cuidados com períodos de frio, dentre outros fatores que resultam em elevados os custos de produção. Por outro lado, a cultivo da soja de modo geral prescinde do revolvimento do solo, podendo ser estabelecida em semeadura direta, também com reflexos positivos sobre a fertilidade no solo, já que requer a correção da acidez e dos níveis de nutrientes. Apresenta como vantagens econômicas o elevado valor de mercado e a demanda internacional crescente, com custos de produção mais favoráveis, fatores que vêm se sobrepondo ou complementando à tradição de cultivo em terras baixas somente com arroz irrigado e pecuária de corte extensiva.

Considerando estes cenários produtivos, torna-se cada vez mais relevante compreender a influência de sistemas integrados de produção agrícola sobre os atributos físicos e sobre os estoques de carbono orgânico em solos de terras baixas do Sul do Brasil. Informações técnicas que permitam inferir sobre as consequências das práticas diversas de uso e de manejo, que possibilitem também indicar quais sistemas apresentam-se sustentáveis e economicamente viáveis, podendo contribuir para a tomada de decisão do setor produtivo, em nível local e regional. A escolha

mais adequada de sistemas de uso e manejo afetam não só a produtividade, mas, de certa forma, permitem mitigar a emissão de carbono e demais gases de efeito estufa para a atmosfera (SALES *et al.*, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas integrados de cultivo e rotação de culturas em terras baixas do Sul do Brasil

Entre os sistemas integrados de cultivos, temos a Integração lavoura-pecuária (ILP) que é capaz de adequar-se a todo tipo de propriedade, de pequeno ou grande porte, com objetivo de potencializar o uso de áreas degradadas com baixa produtividade, aumentando assim a lucratividade para o produtor. Seu funcionamento ocorre sob o manejo da pecuária, principalmente de bovinos, onde utiliza-se uma área de cultivo (lavoura) que está em rotação entre as espécies comumente utilizadas e, aquelas destinadas à alimentação dos animais (pastagem). O sistema de ILP, quando conduzido de forma eficiente, possibilita aumento de renda do produtor, aumentando assim a eficiência no uso de recursos do solo (ANDRADE *et al.*, 2021).

A rotação de culturas caracteriza-se pelo cultivo de duas ou mais espécies na mesma área em um período superior a um ano, já a sucessão de culturas é o cultivo de duas ou mais espécies em um espaço de tempo inferior a um ano. Para estabelecer conjuntos de práticas de forma sustentável, o planejamento tanto da rotação como da sucessão deve considerar, além das exigências das plantas, a caracterização edafoclimática do ambiente, e se o local está ou não adequado para a implantação de determinadas culturas. Sistemas adequados de rotação e sucessão de culturas mantém ou promovem maior estoque de carbono no solo, devido à adição de resíduos superar as perdas pela decomposição, principalmente em sistema plantio direto, pois possui uma menor taxa de decomposição quando comparado ao sistema de preparo convencional. Como consequência, o aumento no estoque de carbono melhora a qualidade do solo (DA SILVA *et al.*, 2017).

As culturas de sequeiro mais utilizadas em sucessão ou rotação com o arroz irrigado no Sul do Brasil, são o milho, soja, trigo, azevém sorgo e também determinadas espécies de pastagens cultivadas. A implementação destas culturas em solos de várzea busca reduzir a infestação de plantas invasoras no cultivo do arroz (principalmente arroz-vermelho), potencializar o uso do solo criar uma diversidade de renda aos agricultores, aumentando a rentabilidade da área e reduzir

doenças e pragas. Apesar da rotação de culturas apresentar muitos benefícios, mesmo que de forma comprovada, o seu uso ainda é restrito em solos hidromórficos do RS. A sensibilidade das culturas de sequeiro aos ambientes com excesso de água no solo, condições físicas e químicas desfavoráveis, problemas na comercialização, em determinados casos, tem impactado na expansão das culturas de sequeiro rotacionadas com o arroz irrigado em solos de várzea (GOMES *et al.*, 2002).

Em lavouras destinadas ao cultivo de arroz irrigado, um dos aspectos mais importantes da inserção de sistemas rotacionados ou sucessivos de cultivos é a possibilidade de controle de plantas daninhas, principalmente o arroz vermelho. A adoção destes sistemas auxilia o controle de plantas daninhas, que acaba por competir com o arroz por recursos influenciando nas operações de colheita e pós-colheita. A rotação/sucessão pode inclusive possibilitar a retomada do plantio do arroz em áreas anteriormente inviabilizadas devido à elevada infestação do arroz vermelho (DA SILVA *et al.*, 2017).

Visando a diversificação das atividades agrícolas em solos de terras baixas, sistemas integrados têm sido propostos e avaliados, com a adoção de práticas que superem o problema do hidromorfismo destas áreas. Uma destas práticas é o uso do sistema sulco-camalhão para o cultivo da soja em terras baixas. A soja cultivada em lavouras neste sistema viabiliza a irrigação e drenagem aumentando a produtividade de grãos da cultura, quando comparada ao plantio sem sulco-camalhão em terras baixas. Pesquisadores observaram que a produtividade da soja obteve aumento de 10% (+529 kg ha⁻¹) e 9% (+362 kg ha⁻¹) nos anos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016, pois esta associação, melhora o estabelecimento das plantas e favorece a fixação biológica de nitrogênio, permitindo assim, maior rentabilidade aos produtores através da soja rotacionada com arroz irrigado (CASSOL *et al.*, 2020).

O emprego de rotação soja-arroz na estação de verão e pecuária no inverno é um importante fator em busca da sustentabilidade do sistema. A rotação de gramíneas com leguminosas produtoras de grãos é um dos principais elementos em busca deste objetivo. Com a implementação da rotação de culturas são interrompidos os ciclos de espécies fitopatogênicas, pragas e plantas invasoras que geralmente, estão associadas à cultura quando cultivada sucessivamente.

Somado a estes benefícios, através da diversificação de culturas busca-se maior segurança por meio de um só tipo de produção de cultura em áreas agrícolas (CARMONA *et al.*, 2018).

Marchão *et al.* (2007) avaliaram a integração lavoura-pecuária em um Latossolo, sendo analisados os seguintes atributos físico-hídricos: densidade, umidade de saturação, porosidade total, macro/microporosidade, saturação efetiva, condutividade hidráulica, e curva de retenção de água no solo. Todas estas características foram impactadas no sistema de rotação em integração-lavoura pecuária, na camada de 0,00-0,20m, indicando a pastagem contínua após quatro anos com melhores resultados.

Por outro lado, Loss *et al.* (2011) concluíram que o sistema plantio direto e a integração lavoura-pecuária e braquiária (a fim de aumentar a produtividade de palhada durante o período seco), acaba desenvolvendo maior número de agregados na camada de 0,00-0,10 m, além da matéria orgânica na camada de 0,05-0,10 m, agregados estáveis em água (0,05–0,10 m), carbono orgânico e nitrogênio em agregados na camada 0,00-0,05, quando comparada ao sistema plantio direto sem a inclusão da braquiária.

Carvalho *et al.* (2016) ao avaliarem a qualidade dos solos hidromórficos em terras baixas sob integração lavoura-pecuária, concluíram que os teores de carbono orgânico total aumentaram na camada 0,10-0,20 m devido ao longo tempo que o solo foi submetido ao plantio direto, possibilitando o armazenamento de carbono nas camadas mais profundas do solo, além de favorecer a fauna edáfica, principalmente quanto a abundância e a diversidade de espécies.

2.2 Potencialidades de uso agrícola em solos de Terras Baixas no RS

Historicamente, as planícies gaúchas sempre foram importantes para a economia do Estado do Rio Grande do Sul. Com base em pastagens nativas, com a menor interferência de plantas daninhas e outros fatores que limitam o uso da terra, seu uso agrícola era inicialmente baseado na pecuária de corte, com criações extensivas para produção de carne e charque. Antes do fim do século XIX, o cultivo do arroz irrigado começou vagarosamente a ser implementado nestas áreas úmidas, que anteriormente eram de uso exclusivo a pecuária em extensão. Essa forma de uso em terras baixas, propiciou “vida nova” para estes ambientes úmidos. Com a

inserção da cultura do arroz irrigado resolveu-se um problema relacionado a produtividade nestas terras, que tem como característica marcante o hidromorfismo temporário do solo, devido ao fato da camada arável propícia aos sistemas radiculares ser de pouca espessura e situada sobre uma camada impermeável, de estrutura maciça e composta predominantemente pela fração argila (CUNHA; COSTA, 2013).

Os solos localizados em áreas de várzea, devido a sua heterogeneidade em função do material de origem e de diferentes níveis de hidromorfismo, expressam enorme variação em suas características, morfológicas, físicas, químicas e minerais. Desta forma encontram-se em diferentes classes, apresentando limitações e restrições referentes ao seu uso. Apresenta de forma natural, densidade elevada, alta relação entre micro/macroporos e difícil drenagem, pelo fato de apresentar uma camada subsuperficial praticamente impermeável, tornando assim extremamente difícil o seu uso e manejo. Estas características podem ser consideradas favoráveis para o cultivo de arroz irrigado, principalmente pela redução na perda de água e de nutrientes nestes ambientes. Porém são restritivos aos cultivos de sequeiro, principalmente por dificultar o desenvolvimento radicular, onde até mesmo, em casos mais severos de compactação, o arroz irrigado tem dificuldade para o seu desenvolvimento (GOMES *et al.*, 2006).

Desenvolver uma proposta de desenvolvimento sustentável das terras baixas, com a inclusão da atividade agrícola, que contemple a conservação dos recursos naturais, exige o uso de tecnologias adequadas, assim como considerar a viabilidade social e econômica (PETERS e STANTON, 1991). Novas técnicas estão sendo estudadas e avaliadas em busca da sustentabilidade dos sistemas produtivos. Um exemplo a ser destacado em terras baixas é a semeadura de espécies de inverno, seja de gramíneas como o azevém, ou leguminosas, como o trevo persa. Esta ação tem por finalidade a potencialização da ciclagem de nutrientes no sistema de produção e ao longo do tempo promover o acúmulo de matéria orgânica no solo (CARMONA *et al.*, 2018).

Um sistema de manejo do solo adotado em terras baixas, afim de drenar o excesso de água, são os camalhões, na qual consiste em elaborar uma espécie de canteiro onde são inseridas as linhas de semeadura. O solo que é retirado para construção deste canteiro forma um sulco entre estes canteiros. Esta técnica é

utilizada de forma massiva na agricultura mundial, e de forma específica para o cultivo de milho e soja, rotacionados com arroz irrigado, em terras baixas, localizadas no Mississipi (USA). No estado do Rio Grande do Sul, é notório um aumento no emprego deste manejo, sendo comumente denominado de microcamalhão, sulco-camalhão ou camalhão. Em terras baixas o ideal é o seu uso em áreas sistematizadas, e tratando-se do modelo digital de elevação do terreno (MDE), possibilita o uso do camalhão em qualquer área de terras baixas. Isso é importante para que o sulco não seja construído com uma declividade em sentido oposto ao fluxo natural preferencial da água, ou seja, evitando assim uma declividade negativa e conseqüentemente o armazenamento da água nos camalhões (PARFITT *et al.*, 2017).

Outra estratégia de manejo do excesso de água em terras baixas são os camalhões de base larga. Este sistema se baseia na conformação do micro-relevo em faixas abauladas que confluem para pequenos drenos, executados com pequena declividade na direção de drenos maiores que removem o excesso de água não infiltrado no perfil do solo (DA SILVA *et al.*, 2005). Theisen *et al.* (2010) avaliaram o cultivo de milho em camalhões de base larga em áreas hidromórficas, normalmente impróprias para estabelecimento dessa cultura e ao plantio direto, devido à dificuldade em drenar o excesso de água. Durante 3 anos, com o plantio do milho estabelecido em camalhões de base larga, obtiveram produtividade superior às médias estaduais (entre 32% e 46%) e regionais (entre 70% e 160%) nos anos de 2008, 2009 e 2010. Os talhões para experimento eram de 2 a 7 hectares onde foram plantadas 25 cultivares. Camalhões de base larga têm se mostrado eficientes para drenar o excesso de água nestes agroecossistemas, inclusive com a inclusão da pecuária de corte, potencializando o uso da terra com cultivos de sequeiro no verão e no inverno, em rotação e sucessão de culturas. Além disso, este sistema também colabora com a conservação do solo, por possibilitar a adoção do plantio direto em terras baixas, mesmo em ambientes de elevado hidromorfismo.

Lacerda *et al.* (2016) concluíram que o preparo antecipado do solo realizado na entressafra reduz a emissão de metano e óxido nitroso no cultivo da soja, quando comparado à semeadura em sistema plantio direto. Independentemente do manejo adotado na entressafra, cultivar soja em terras baixas proporciona baixas taxas de emissão de metano, sendo assim uma alternativa interessante também para a

redução na emissão dos gases de efeito estufa.

Scivittaro et al. (2017) mostraram que o cultivo de soja e sorgo forrageiro reduziu a emissão de gás metano (CH₄) e aumentou a emissão de óxido nitroso (N₂O) em comparação ao cultivo de arroz irrigado. Porém, a redução do CH₄ foi mais significativa que o aumento das emissões de N₂O. Logo, os autores recomendam a diversificação de culturas de sequeiro em rotação com o arroz irrigado, pois este tipo de manejo também reduz a emissão dos gases de efeito estufa quando comparado ao tradicional cultivo de arroz irrigado por inundação.

2.3 Indicadores de qualidade de solos sob sistemas integrados de cultivo em Terras Baixas do Sul do Brasil

As terras baixas do RS têm como característica principal o fato de ocorrer em altitudes de até 50 m, e declividades de no máximo 5%. No Estado elas ocupam uma área de 60.650 km² (22,6% do território) e englobam várias classes de solos como os Planossolos (56%), Gleissolos (7%), Chernossolos (16%), Neossolos (12%), Plintossolos (7%) e Vertissolos (1,4%) (CARMONA *et al.*, 2018). dentre essas os Planossolos apresentam como características a baixa capacidade de drenagem, camada superficial de textura arenosa, a ocorrência do horizonte B textural e a compactação na camada subsuperficial (CARMONA *et al.*, 2018). Outra característica importante dos solos em terras baixas está relacionada à disponibilidade hídrica. No verão, os índices pluviométricos são muito irregulares, e somado a isto há baixa capacidade de retenção de água do solo nesta região, ocasionando oscilações e comprometimento da disponibilidade hídrica para os cultivos de verão. Logo, sugere-se o uso de irrigação, principalmente nos anos de ocorrência de La Niña (fenômeno natural), para evitar possíveis prejuízos aos produtores rurais, como também potencializar a produtividade dos cultivos (PARFITT *et al.*, 2017).

Nos solos de terras baixas, também denominados de “várzeas”, geralmente há a sucessão entre arroz irrigado/pecuária extensiva de corte como atividade agrícola, buscando uma diversificação com o cultivo de soja, milho e sorgo (PARFITT *et al.*, 2017) e culturas de inverno.

Segundo Da Silva *et al.* (2017), a qualidade do solo pode ser entendida como sua capacidade de funcionamento, seja em um ambiente natural ou que obteve

algum tipo de ação antrópica, cujo objetivo é manter a produção biológica, promover melhorias na qualidade ambiental e proporcionar a sanidade de plantas e animais. Para isso, o solo deve proporcionar um bom suporte para desenvolvimento das plantas, fazer uma boa regulação hídrica no ambiente, armazenar e propiciar a ciclagem de nutrientes e também amenizar elementos que prejudicam o ambiente. Sendo assim, a melhora na qualidade dos solos favorece o rendimento dos cultivos de forma contínua. Esta qualidade do solo pode ser observada através de indicadores químicos, físicos e biológicos, e também pelo teor de matéria orgânica presente no solo, que indica alterações, dependendo das formas de manejo e também nos processos entre o sistema solo-planta, que é capaz de demonstrar a qualidade do solo.

Winck *et al.* (2014), avaliaram seis diferentes culturas sob plantio direto durante um período de 21 anos, e puderam constatar que a adição de resíduos orgânicos pelo sistema radicular das plantas foram fundamentais para o estoque de carbono e nitrogênio nas frações granulométricas do solo.

Segundo Rosa *et al.* (2011) a sucessão entre arroz irrigado e azevém em plantio direto, em um período de 21 anos, tem maior eficiência em preservar os estoques de carbono total (COT) e da fração leve livre, na camada até 0,05m, quando comparado ao arroz irrigado em sistema convencional.

Nascimento *et al.* (2009) obtiveram resultados semelhantes ao de Rosa *et al.* (2011), ao avaliar sistemas de manejo (sistema plantio convencional / sistema plantio direto) e a matéria orgânica em solo de várzea com plantio de arroz irrigado, onde o sistema plantio direto promoveu maior acúmulo de carbono orgânico na camada superficial de 0,00-0,05m em solos hidromórficos. Por outro lado, em sistema plantio convencional, houve um contrabalanço, pois o maior acúmulo de carbono ocorreu nas camadas de 0,10-0,20m. Em virtude desta compensação entre os sistemas avaliados, nas diferentes camadas, os autores não encontraram diferenças significativas nos estoques de carbono orgânico, em uma camada compreendida entre 0,00 a 0,20m, durante 11 anos, acompanhando os diferentes sistemas de manejo do solo. Os resultados obtidos foram: 38,39 Mg ha⁻¹ em sistema plantio convencional e 37,36 Mg ha⁻¹ em sistema plantio direto.

Ribeiro *et al.* (2016), avaliaram as condições físico-hídricas de um Planossolo em plantio convencional e sistema plantio direto (SPD) de soja. Os autores concluíram que o SPD favoreceu o desenvolvimento de microporos em uma

camada de 0,00 a 0,10m, aumentando assim a disponibilidade hídrica para a soja e favorecendo a produtividade. Por outro lado, quanto a macroporosidade, independente do sistema de manejo utilizado, acaba limitando o desenvolvimento de culturas de sequeiro.

Pedrotti et al. (2001) avaliando sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo concluíram que sistemas de manejo que contam com maior mobilização do solo apresentam maiores densidades em seu perfil, ou seja, contribuem para a degradação física do solo mesmo, apresentando camadas compactadas. Os sistemas que desenvolvem menores mobilizações no preparo do solo obtêm melhores condições físicas relativas à densidade.

Da Nóbrega et al. (2022) avaliaram a retenção e disponibilidade de água em um Planossolo Háptico sob sistemas integrados de produção agropecuária através de funções de pedotransferência, onde segundo os autores não houve variação significativa após quatro anos, nos diferentes tratamentos e profundidades de solo avaliadas.

3 HIPÓTESES

O estudo teve como hipótese principal que sistemas integrados de cultivo em Planossolos de terras baixas no sul do Brasil, os quais, normalmente adotam rotação/sucessão de arroz com culturas de verão ou pastagem buscam a melhoria da qualidade do solo, em especial sobre alguns atributos físicos e carbono orgânico.

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

A partir da avaliação da qualidade física e do estoque de carbono de um Planossolo sob sistemas integrados de cultivo, indicar sistemas de uso e manejo que possam incrementar alguns parâmetros físicos, carbono orgânico do solo e promover a sustentabilidade da produção agrícola em terras baixas do sul do Brasil.

4.2 Específicos

- I) Avaliar a densidade solo, a porosidade total, a estabilidade de agregados em água e a água disponível às plantas;
- II) Avaliar o carbono orgânico e o estoque de carbono orgânico total no solo.

5 CAPÍTULO 1: QUALIDADE DE UM PLANOSSOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVOS E PECUÁRIA EM TERRAS BAIXAS DO SUL DO BRASIL

5.1 Introdução

A soja vem despertando interesse por parte de muitos agricultores que cultivam em terras baixas no Rio Grande do Sul/RS, principalmente por proporcionar aumento da renda. Seu cultivo em terras baixas, tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado, pode ajudar no controle de plantas daninhas, entre elas, o arroz vermelho e o capim-arroz, que prejudicam a produtividade do cereal. Através de técnicas que possibilitam o cultivo nestes ambientes de elevado hidromorfismo, e também por meio de novas cultivares adaptadas a este meio, isso tem se tornado cada vez mais comum, porém, ainda é necessário o aperfeiçoamento para potencializar a produtividade da soja em terras baixas (TIMM et. al 2017).

De acordo com Marchesan et al. (2016) a implementação da soja em terras baixas pode promover a sustentabilidade do sistema produtivo pela rotação de culturas, ampliando assim o uso da área, e inclusive beneficiar a produtividade do arroz. Nestas áreas geralmente existe uma estrutura organizada para a produção do arroz que possibilita a irrigação e disponibilidade de água para a produção de soja, proporcionando benefícios mútuos para ambas culturas.

O principal desafio para o cultivo da soja em terras baixas está atrelado na maior parte do ano ao excesso de água nestes ambientes. Características do solo, manejo adaptado ao cultivo de arroz e a localização geográfica proporcionam riscos ao cultivo. Torna-se fundamental uma avaliação criteriosa sobre as práticas a serem adotadas, entre elas, a adequada drenagem para que seja possível o cultivo da soja.

Já sistemas integrados, como a ILP, alguns autores destacam a importância em se observar a intensidade e também ajustar a carga animal sobre a área, pois, segundo De Souza et al., (2009) a integração lavoura-pecuária em um Latossolo Vermelho distroférico, com intensidade moderada de pastejo, pode melhorar a qualidade do solo, por outro lado, uma intensidade elevada proporciona a redução nos teores de matéria orgânica do solo. Spera et al. (2009) em um estudo sobre integração lavoura-pecuária e os atributos físicos do solo sob plantio direto, indica que a elevada carga animal no sistema comprometeu a qualidade do solo, retirando

alta quantidade de nutrientes e intensificou a decomposição da palhada presente no solo.

Pretende-se assim a partir da avaliação da qualidade física e carbono orgânico de um Planossolo sob sistemas integrados de cultivo, indicar sistemas de uso e manejo que possam incrementar alguns parâmetros do solo e promover a sustentabilidade da produção agrícola em terras baixas do sul do Brasil.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido em quatro áreas conduzidas sob diferentes sistemas de cultivo e preparo do solo, sendo três delas localizadas no município de Capão do Leão e uma em Arroio Grande, RS. Duas delas situam-se na Estação Experimental da Embrapa Terras Baixas sob as coordenadas geográficas 31°49'04,13"S e 52°27'53,77" e as outras se referem a uma propriedades rurais situadas em Capão do Leão (31°50'25.3"S e 52°35'08.8") e Arroio Grande, RS (32°04'22.5"S e 52°43'00.5"), respectivamente (Figura 1).

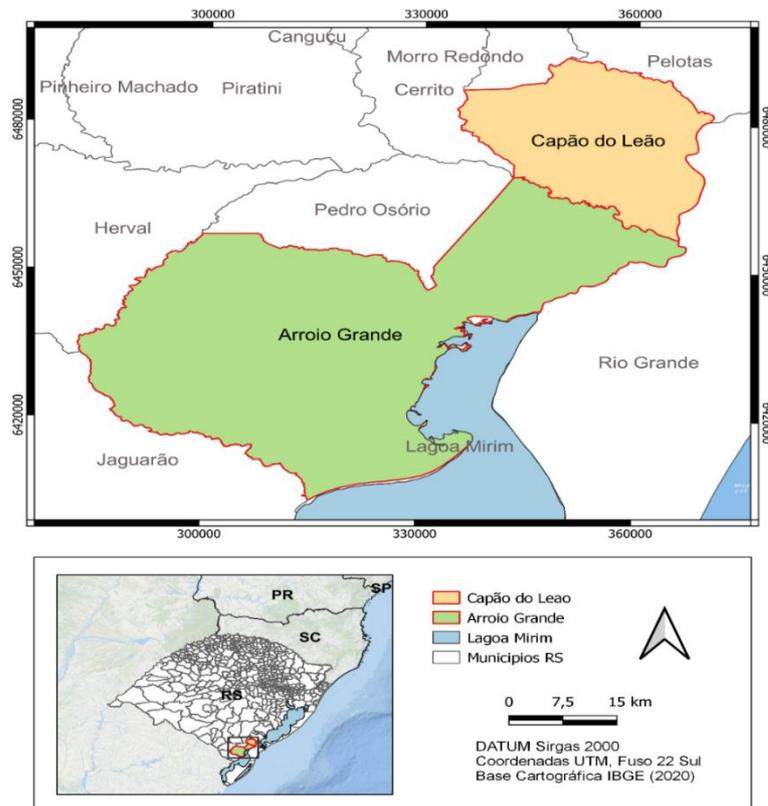


Figura 1. Municípios de Capão do Leão e Arroio Grande, Sul do Estado do Rio Grande do Sul/RS.

Os solos das áreas utilizadas neste estudo fazem parte da Unidade de Mapeamento Pelotas (Figura 2), e são classificados como Planossolos Háplicos Eutróficos Solódicos (STRECK et al., 2008).

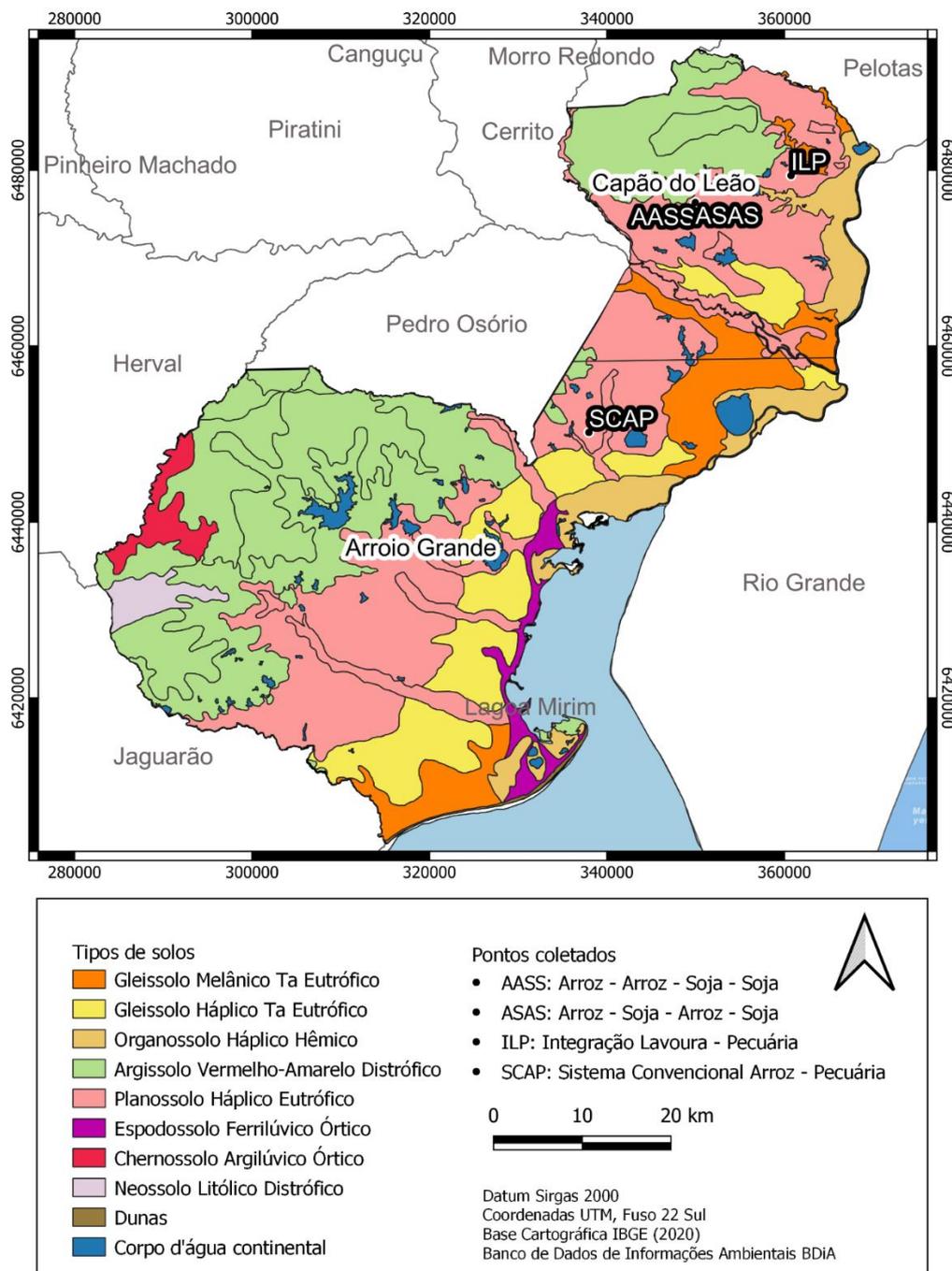


Figura 2. Pontos de coleta dos quatro diferentes sistemas integrados e o seu tipo de solo.

A classe textural franca foi encontrada na maioria das camadas e sistemas (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de areia, silte e argila do solo, nas camadas de 0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20m, cultivado sob diferentes sistemas integrados de produção agrícola.

Minerais	Arroz-Arroz/ Soja-Soja	Lavoura- Pecuária	Arroz-Pousio/ Pousio-Pousio	Arroz-Soja/ Arroz-Soja
0,00-0,05 m				
Areia	36,09	42,37	40,10	48,83
Silte	51,82	44,92	42,81	40,52
Argila	12,09	12,72	17,09	10,65
Classe Textural	Franco- argilosa	Franca	Franca	Franca
0,05-0,10 m				
Areia	37,39	39,90	40,95	42,30
Silte	49,23	44,95	41,35	43,85
Argila	13,38	15,15	17,70	13,86
Classe Textural	Franca	Franca	Franca	Franca
0,10-0,20 m				
Areia	37,57	37,44	43,17	49,75
Silte	49,69	47,32	39,72	40,29
Argila	12,74	15,25	17,11	9,96
Classe Textural	Franca	Franca	Franca	Franca

O clima regional é do tipo Cfa, mesotérmico quente, onde a média do mês mais frio está compreendida entre 3 e 18 °C, com precipitação pluvial média mensal não inferior a 60 mm, com umidade constante, e a temperatura do mês com maior temperatura é superior a 22 °C (REIS et al., 2016).

A localização dos sistemas integrados de cultivo e preparo do solo avaliados neste estudo, considerando os tipos de solos, são apresentados na Figura 2. A descrição das principais características de cada sistema de cultivo e preparo são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1. Descrição das características dos sistemas integrados.

Sistema de cultivo e preparo do solo	Sequência adotada
SCAP - Sistema convencional de cultivo de terras baixas do RS: Arroz Irrigado - Pousio - Pousio – Pousio (pecuária de corte extensiva)	<ul style="list-style-type: none">- Verão: cultivo de arroz irrigado sob preparo convencional do solo- Inverno: área mantida sob pousio, com o desenvolvimento de vegetação espontânea. Uso sob pastejo extensivo com bovinocultura de corte de baixa carga animal- Preparo do solo: revolvimento (aração + duas gradagens) a cada 4 anos, antecedente ao cultivo do arroz irrigado
ILP: Sistema de Integração Lavoura - Pecuária	<ul style="list-style-type: none">- Verão: sequência de culturas sob sistema plantio direto: (soja – gramínea de verão (milho/capim-sudão);- Inverno: semeadura com sobressemeadura de azevém. Pastejo intensivo com bovinocultura de corte de média a alta carga animal.- Preparo do solo: área mantida sob sistema plantio direto, sem revolvimento do solo por mais de 10 anos. Dessecação da vegetação presente, previamente à semeadura da cultura de verão. Uso de camalhões de base larga.- Pecuária: pastejo intensivo com bovinocultura de corte.
ASAS: Rotação de culturas arroz-soja-arroz-soja	<ul style="list-style-type: none">- Verão: cultivo de arroz irrigado sob preparo convencional do solo; cultivo de soja sob semeadura direta.- Inverno: sobressemeadura natural de azevém e plantas espontâneas.- Preparo do solo: revolvimento anual, com preparo antecipado (outono); dessecação da vegetação presente, previamente à semeadura direta da soja; uso de macro e micro drenagem.

<p>AASS: Rotação de culturas arroz-arroz-soja-soja</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verão: cultivo de arroz irrigado sob preparo convencional do solo; cultivo de soja sob semeadura direta. - Inverno: sobressemeadura natural de azevém e plantas espontâneas. - Preparo do solo: revolvimento bianual (dois anos sim, dois anos não), com preparo antecipado (outono); dessecação da vegetação presente, previamente à semeadura direta da soja; uso de macro e micro drenagem.
--	--

5.2.2 Amostragem, avaliações físicas e estoque de carbono do solo

A coleta das amostras foi realizada entre outubro e novembro de 2020. Em cada uma das áreas realizaram-se aberturas de quatro trincheiras, em locais escolhidos aleatoriamente para a amostragem, de modo a ser representativo do sistema de cultivo. As amostras foram coletadas nas camadas 0,0-0,05 m, 0,05 -0,10 m e 0,10 - 0,20 m para determinação dos seguintes atributos:

Físicos: foram avaliadas a densidade, a macro e microporosidade, a porosidade total, a estabilidade de agregados e a curva de retenção de água do solo em cada um dos SI (sistemas integrados). Para a densidade, porosidade e curva de retenção de água do solo coletaram-se amostras de solo em triplicata, com o auxílio de anéis volumétricos (0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura), totalizando 36 amostras por SI (3 amostras x 3 camadas x 4 trincheiras). Para a estabilidade de agregados foi coletada uma amostra de solo, com auxílio de uma pá de corte, totalizando 12 amostras por SI (1 amostra x 3 camadas x 4 trincheiras).

a) Os estoques de carbono orgânico total foram avaliados em cada um dos SI. As amostras de solo para estas avaliações foram coletadas em duplicata, com o auxílio de uma pá de corte, totalizando 12 amostras por SI (1 amostra x 3 camadas x 4 trincheiras).

As amostras com estrutura preservada foram preparadas de acordo com o descrito em Donagema (2011). As amostras foram saturadas em água por capilaridade durante 24 h, em seguida colocadas em uma mesa de tensão, sendo equilibradas a um potencial de - 6 kPa, para determinação da macroporosidade. Após equilíbrio, as amostras foram secas em estufa a 105°C até a obtenção de peso

constante para determinação da microporosidade e da densidade do solo. A porosidade total foi calculada pela soma da macro e da microporosidade.

Para a determinação das curvas de retenção de água no solo foram utilizadas a mesa de tensão para as tensões de 1 kPa e 6 kPa e as câmaras de pressão de Richards (KLUTE, 1986) para as tensões de 10, 33, 102 e 1530 kPa.. A partir da CRA foi possível, a partir do ajuste dos dados experimentais ao modelo de van Genuchten (1980), o cálculo da água disponível (AD) que compreende a diferença do conteúdo de água no solo em equilíbrio nos potenciais equivalentes à capacidade de campo (-100 kPa) e no ponto de murcha permanente (-1.500 kPa).

As amostras de solo de estrutura não preservada foram secas ao ar e a sombra até atingir o ponto de friabilidade. Em seguida, foram cuidadosamente destorroadas manualmente, observando-se os pontos de fraqueza dos agregados, e passadas em peneira de 9,52 mm. A seguir, cada amostra foi dividida em quatro partes, onde uma das partes foi destinada para a determinação da umidade e as demais como repetições laboratoriais para determinação da distribuição dos agregados por classes de tamanho via úmida, utilizando o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936). O peneiramento úmido foi realizado utilizando jogos de peneiras com abertura de malha de 4,76; 2,0; 1,0; 0,25 e 0,105 mm. Em cada jogo de peneiras (3 repetições por sistema avaliado), a amostra foi colocada sobre a peneira de maior malha, contendo um papel filtro para retenção do solo até que este fosse saturado por capilaridade, durante 10 minutos. Depois do solo saturado o papel foi retirado e, com o auxílio de jatos de água de baixa pressão, lavado de modo a não perder material. Em seguida, o aparelho de Yoder foi acionado por 15 minutos, com movimento vertical de 30 oscilações por minuto. O solo retido em cada peneira foi transferido para cápsulas de alumínio com auxílio de jatos de água fracos, dirigidos ao fundo da peneira e, em seguida, colocado na estufa para secagem, sendo o material posteriormente pesado. Após a pesagem da amostra de solo retida nas peneiras, foi inserido hidróxido de sódio (NaOH) e homogeneizado para exclusão do material inerte. A avaliação correspondeu aos intervalos de classes (C) de tamanho de agregados de: C1: 9,52 - 4,76 mm; C2: 4,75 - 2,0 mm; C3: 1,99 - 1,00 mm; C4: 0,99 - 0,25 mm; C5: 0,24 - 0,105 mm e C6: <0,105 mm. A partir dessas classes, os agregados foram separados em macroagregados (agregados maiores ou iguais a 0,25 mm) e microagregados (agregados menores que 0,25 mm) de acordo com Tisdall e Oades (1982).

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneiras de malha 2,00 mm e maceradas para quantificação dos teores totais de C via combustão, pelo método de Walkley-Black (Tedesco et al., 1995), onde o C orgânico é oxidado a CO₂ através da reação entre K₂Cr₂O₇ (dicromato de potássio) e H₂SO₄ (ácido sulfúrico) em contato com o solo. Para evitar interpretações equivocadas dos resultados devidos à influência do manejo na densidade do solo, os estoques de C foram calculados e expressos em termos de massa equivalente, utilizando-se a fórmula matemática de SISTI et al., (2004), descrita por Fernandes (2013). O estoque de C foi calculado a partir dos resultados de C total, densidade do solo e espessura de cada camada amostrada.

5.3 Resultados e discussão

Na camada superficial (0,00 m a 0,05 m) não houve efeito significativo dos sistemas avaliados sobre a densidade do solo (Figura 3). Na camada de 0,05 m a 0,10 m, uma densidade significativamente menor foi observada no solo na sucessão arroz-soja-arroz-soja, a qual destaca-se em relação aos demais sistemas (Figura 3). Neste caso, pode-se inferir que este resultado pode estar associado à maior frequência de revolvimento do solo proporcionada por esse SI. Ao se revolver anualmente o solo, rompem-se camadas de solo que possam estar nos primeiros estágios da compactação. Adicionalmente, são recriados mecanicamente os espaços inter-agregados.

Já na camada 0,10 m a 0,20 m não foi possível verificar diferenças significativas na densidade do solo quando comparados todos os sistemas integrados de produção agrícola (Figura 3). De modo geral, pode-se considerar que em todos os SIs o solo apresentou altos valores de densidade do solo, o que também reflete as características naturais dos Planossolos encontrados nas terras baixas do Sul do Brasil (Bamberg et al., 2009).

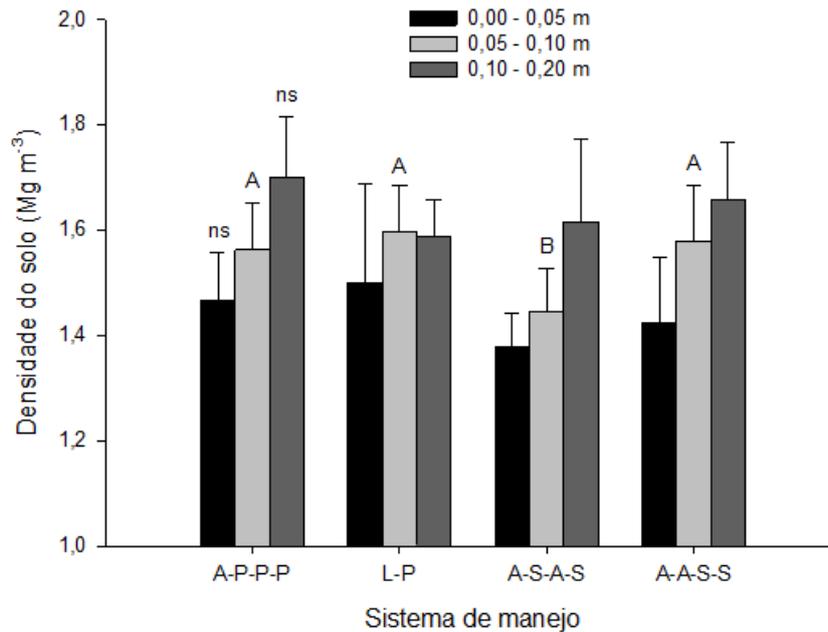


Figura 3. Densidade do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m / 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) de um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Valores mais elevados de densidade do solo geralmente refletem em menores valores de macroporosidade do solo. Parfitt et al. (2014) avaliando a sistematização em áreas de várzea no estado constataram diminuição da porosidade total e de macroporosidade na camada de 0,00 m-0,20 m e aumento da densidade devido ao intenso tráfego de máquinas e revolvimento do solo. Solos de várzea utilizados para fins agrícolas tendem a apresentar naturalmente baixos valores de macroporosidade e valores elevados de densidade. Nas áreas manejadas com revolvimento anual associado com incidência de elevada carga animal, isto pode ser agravado (Fulaneti et al., 2018). Por outro lado, a ausência de pisoteio animal e o tráfego limitado de máquinas agrícolas, bem como a ação de plantas com denso sistema radicular como o azevém, pode mitigar a compactação do solo em sistemas de produção, mesmo com o preparo convencional do solo. Na camada de 0,00 m a 0,05 m, resultados obtidos de macroporosidade foram semelhantes aos de densidade do solo, não apresentando diferença significativa (Figura 4).

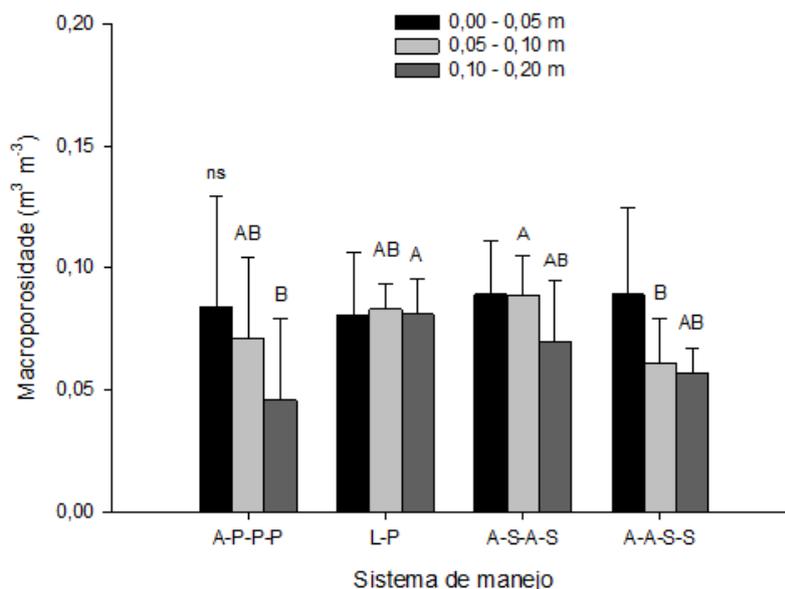


Figura 4. Macroporosidade do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 0,05 a 0,10 m, o sistema arroz-soja-arroz-soja apresentou os maiores valores médios de macroporosidade. Destaca-se que a macroporosidade e a porosidade total geralmente apresentam relação inversa com a densidade do solo. Neste sentido, é coerente verificar que, nesta camada de 0,05 m a 0,10 m, os menores valores de macroporosidade e maiores valores de densidade foram apresentados nos sistemas arroz-arroz-soja-soja, arroz-pousio-pousio-pousio e lavoura-pecuária. Provavelmente, este fato afetou a macroporosidade, concordando com os resultados obtidos por Parfitt *et al.* (2009), sendo este, por sua vez, os sistemas que originaram menores valores médios de macroporosidade na referida camada (0,05 m a 0,10 m), em relação a arroz-soja-arroz-soja. Já na camada de 0,10 m a 0,20 m, os maiores valores médios de macroporosidade foram apresentados pelo sistema integração lavoura-pecuária.

Cumprir destacar que, sobretudo, nenhum sistema de cultivo atingiu o limite mínimo de volume de macroporos, considerado como adequado para culturas típicas de solos aerados. Todos os sistemas de cultivo apresentaram valores médios iguais ou inferiores a $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, inferiores ao limite de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, conforme relatado por Reichert *et al.* (2009). Ações como a eliminação do revolvimento anual do solo, a introdução de culturas de inverno produtoras de palhada, com sistemas

radiculares densos e agressivos, podem agir no aumento do teor de matéria orgânica e formação de macroagregados, beneficiando a qualidade física do solo.

Em relação à microporosidade (Figura 5), na camada superficial (0,00 m a 0,05 m) e intermediária (0,05m a 0,10m), apenas o sistema integrado lavoura-pecuária apresentou o menor valor médio, com diferenças significativas quando comparado aos demais sistemas. Na camada mais profunda, de 0,10 m a 0,20 m, não houveram diferenças significativas entre os sistemas analisados.

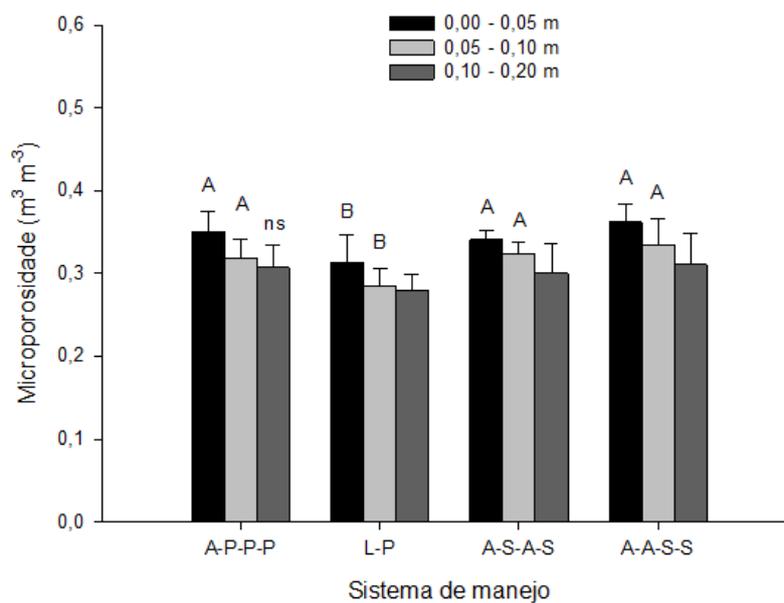


Figura 5. Microporosidade do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m / 0,05-0, 10m / 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Analisando os dados de porosidade total (Figura 6) destaca-se os maiores valores médios apresentados nas sucessões arroz-soja-arroz-soja e arroz-arroz-soja-soja na camada mais superficial (0,00 m a 0,05 m).

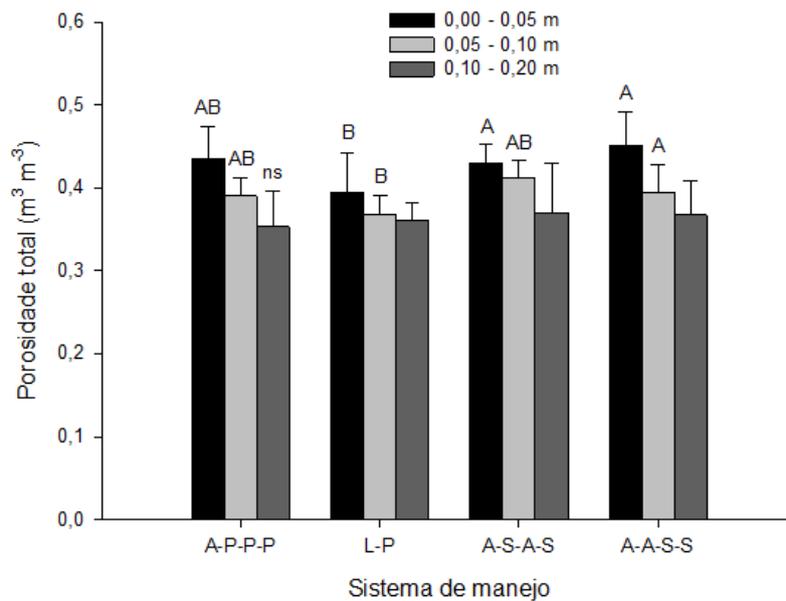


Figura 6. Porosidade total do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m, 0,05-0,10m e 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 0,05 m a 0,10 m, o sistema arroz-arroz-soja-soja foi superior aos demais sistemas em relação à porosidade total. Na camada de 0,10 m a 0,20 m, os resultados obtidos para os sistemas integrados demonstraram que estes foram semelhantes, não apresentando diferenças significativas quando comparados entre si (Figura 6). Da Silva et al. (2021) comparando a rotação de arroz e soja, em sistema plantio direto com plantio convencional, sob camalhão, em terras baixas, também evidenciaram maior porosidade do solo sob preparo convencional, o que é benéfico em relação ao fluxo de solução, possibilitando assim uma maior oferta de nutrientes às plantas.

Analisando todos os sistemas de cultivo e camadas, observa-se que a quantidade de água disponível (Figura 7), não apresentou diferença significativa entre os sistemas integrados de manejo, em nenhuma das três camadas avaliadas.

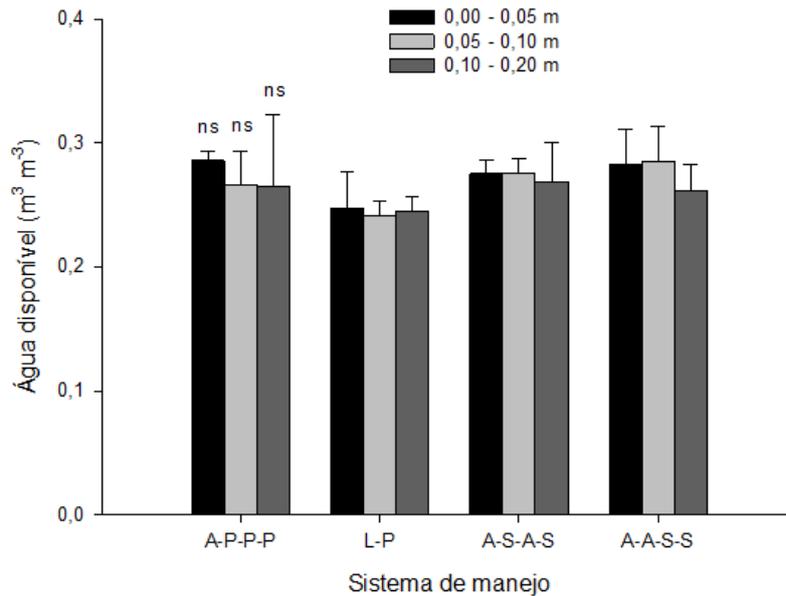


Figura 7. Água disponível às plantas nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola (A-A-S-S: Arroz-arroz-soja-soja; A-P-P-P: Arroz-pousio-pousio-pousio; L-P: Lavoura-Pecuária; A-S-A-S: Arroz-soja-arroz-soja) sob diferentes camadas (0,00 – 0,05 m, 0,05- 0,10m e 0,10 – 0,20m) em um Planossolo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ribeiro *et al.*, (2019) avaliando a adição de carbono em sistema de integração lavoura-pecuária submetido à diferentes intensidades de pastejo (aveia preta - *Avena strigosa Schreb.*) e adubação nitrogenada constataram que houve redução nos incrementos de C quando comparado ao pastejo a 7 cm com 15 cm, oriunda dos ganhos pela quantidade de resíduos vegetais.

De Souza *et al.*, (2009) avaliando os estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura pecuária, observaram redução nos estoques destes dois elementos a partir do 3º ano de implementação do sistema, em pastejo de alta intensidade (0,10 m de altura da pastagem) como critério de retirada dos animais na área pastejada. Em intensidades moderadas (0,20 e 0,40 m de altura da pastagem para retirada dos animais) com interação entre pastagem (gramínea) e soja (plantio direto), houve aumento nos estoques de carbono e nitrogênio do solo.

Esse resultado ajuda a compreender o menor estoque de carbono em lavoura-pecuária quando comparado com os demais sistemas avaliados, sendo provável uso de pastejo de alta intensidade nesta área (Figura 9).

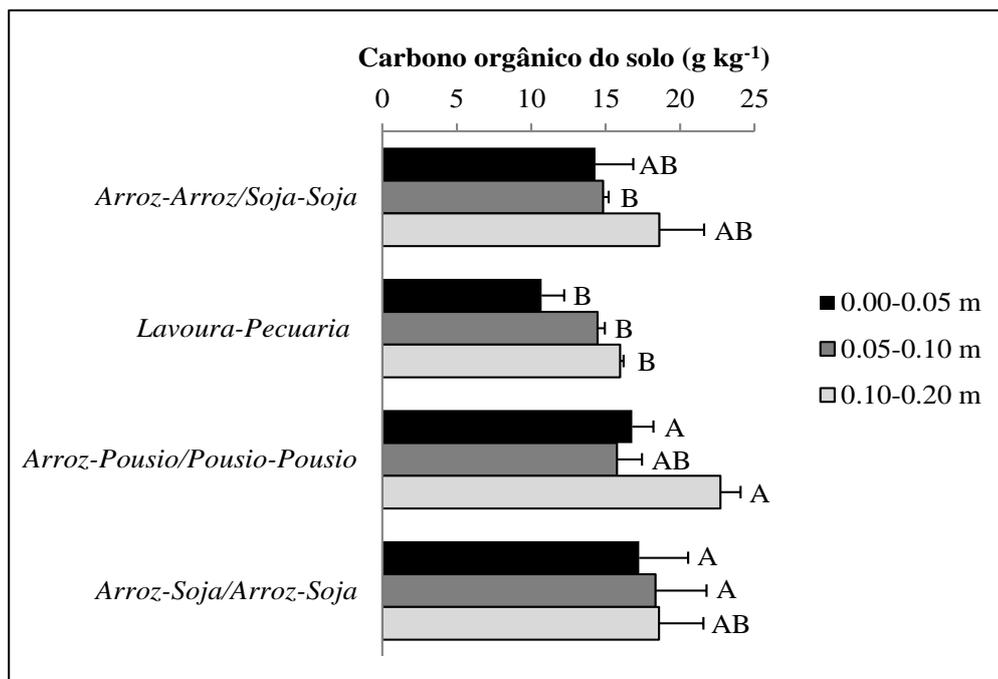


Figura 8. Carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas integrados de produção agrícola em um Planossolo sob diferentes camadas (0,00 – 0,05m, 0,05-0,10m e 0,10 – 0,20m) destacada pelas diferentes cores dos gráficos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

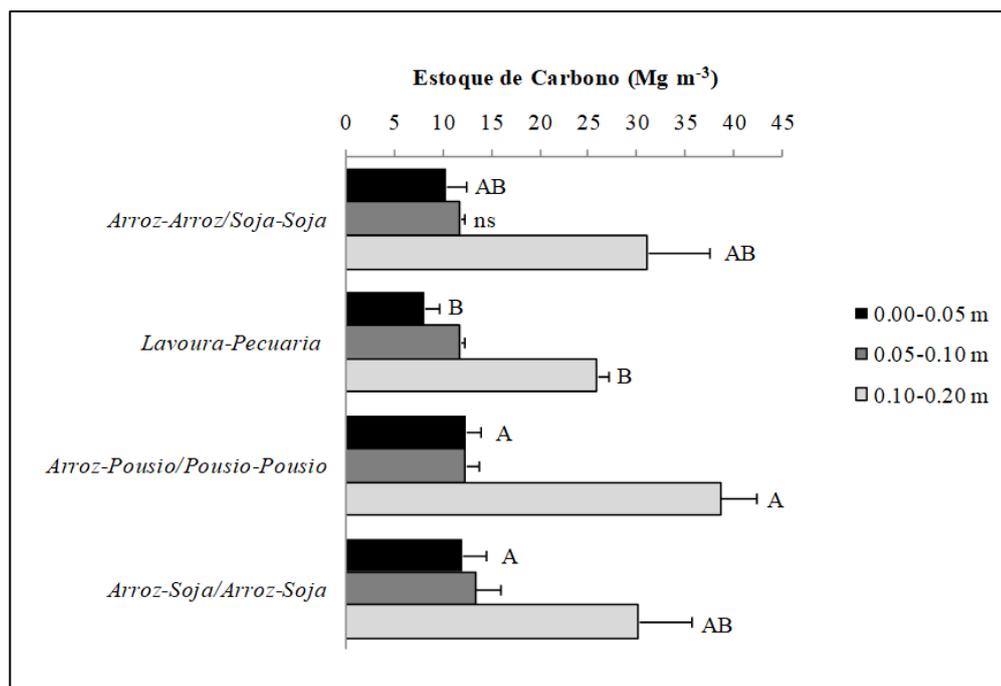


Figura 9. Estoque de Carbono do solo nos diferentes sistemas de produção sob diferentes camadas (0,00 – 0,05m / 0,05-0,10m / 0,10 – 0,20m) destacada pelas diferentes cores dos gráficos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Porcentagem de agregados estáveis em água, retida nas diferentes classes de tamanho, em sistemas integrados de produção agrícola e em diferentes camadas de solo (0,0 - 0,05 m, 0,05 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m).

Agregados estáveis em água (%)	Arroz-Arroz/ Soja-Soja	Lavoura- Pecuária	Arroz-Pousio/ Pousio-Pousio	Arroz-Soja/ Arroz-Soja
Classes de tamanho (mm)				
0,00-0,05 m				
C1 (9,52-4,76 mm)	1,56	0,92	0,04	0,30
C2 (4,76 -2,00 mm)	3,41	2,01	1,44	2,08
C3 (2,00 - 1,00 mm)	3,39	2,18	1,98	3,05
C4 (1,00 - 0,50 mm)	15,36	8,82	11,46	15,26
C5 (0,50 - 0,105mm)	4,12	4,55	3,50	2,82
C6 (< 0,105mm)	72,16	81,54	81,57	76,49
Macroagregados	23,71 A	13,92 B	14,93 AB	20,69 A
Microagregados	76,29 B	86,08 A	85,07 A	79,31 AB
DMP	0,43 A	0,27 AB	0,20 B	0,28 AB
0,05-0,10 m				
C1 (9,52-4,76 mm)	1,01	1,59	0,64	0,08
C2 (4,76 -2,00 mm)	2,39	3,60	2,49	1,01
C3 (2,00 - 1,00 mm)	2,79	4,34	3,00	2,09
C4 (1,00 - 0,50 mm)	19,32	16,18	17,56	18,27
C5 (0,50 - 0,105 mm)	3,30	5,53	4,13	5,67
C6 (< 0,105 mm)	71,19	68,76	72,19	72,88
Macroagregados	25,51^{ns}	25,72	23,68	21,45
Microagregados	74,49^{ns}	74,28	76,32	78,55
DMP	0,32^{ns}	0,45	0,32	0,24
0,10-0,20 m				
C1 (9,52-4,76 mm)	0,03	1,58	6,29	0,55
C2 (4,76 -2,00 mm)	0,45	3,25	4,56	1,01
C3 (2,00 - 1,00 mm)	0,62	3,91	3,42	2,30
C4 (1,00 - 0,50 mm)	18,44	24,24	19,60	22,15
C5 (0,50 - 0,105mm)	9,06	6,20	5,49	4,54
C6 (< 0,105mm)	71,39	60,82	60,64	69,45
Macroagregados	19,55^{ns}	32,98	33,87	26,00
Microagregados	80,45^{ns}	67,02	66,13	74,00
DMP	0,20^{ns}	0,48	0,82	0,25

De acordo com Tavares Filho et al., (2012), a formação dos agregados e seus diferentes tamanhos sofrem influência do manejo na densidade, granulometria, resistência a penetração, matéria orgânica, pH em água, água disponível, capacidade de troca de cátions (CTC), porosidade total, macroporos e umidade do solo.

Sendo assim, o que pode estar associado a esta maior porcentagem de macroagregados na camada superior (0,00 a 0,05 m) observados em arroz-arroz-soja-soja seja, possivelmente, a macroporosidade e a porosidade total mais elevada neste sistema em comparação aos demais. Outro fator que provavelmente foi favorável para esta maior porcentagem de agregados, segundo Mendes et al., (2003), é a existência de hifas de fungos, raízes e o manejo do solo sem revolvimento (durante 2 anos neste sistema), o que contribui na manutenção dos

teores de matéria orgânica, pelo não revolvimento do solo, favorecendo assim a estabilidade e formação dos macrogregados, ao comparar a um sistema integrado conduzido sob preparo convencional, onde o solo é revolvido com alta frequência.

Santos et al., (2012) avaliando atributos químicos e estabilidade de agregados em diferentes culturas de cobertura em um Latossolo, evidenciaram que a Braquiária (*Urochloa brizantha*) obteve destaque na formação de agregados maiores que 2 mm de diâmetro e DMP na camada superficial do solo (0,00 a 0,10 m). O autor acredita que estes aspectos estejam associados às raízes abundantes e agressivas, além dos exsudatos gerados pelo sistema radicular da braquiária. Para o autor há uma evidente importância das raízes de gramíneas para a formação de macroagregados e estabilidade de agregados, principalmente na camada superficial.

Através destes resultados obtidos, há uma evidência de que a rotação de culturas com a cultura do arroz (gramínea), dentro dos sistemas avaliados neste trabalho, possa ter uma relação direta na porcentagem de agregados estáveis. Os sistemas arroz-arroz-soja-soja e arroz-soja-arroz-soja apresentam maiores porcentagens de agregados estáveis em água (macroagregados) na camada mais superficial (0,00 m a 0,05 m), principalmente na classe 4 (1,00 - 0,50 mm), quando comparado com Lavoura-Pecuária e Arroz-Pousio/Pousio-Pousio nesta mesma camada.

Segundo Salomão *et al.* (2020), o sistema plantio direto tem influência nos índices de carbono orgânico, e quando este é integrado por plantas de cobertura e a rotação de culturas, apresenta melhoria de forma mais eficiente, favorecendo a agregação do solo.

5.5 Conclusões

Nas condições deste estudo, não houve diferença na densidade do solo entre os sistemas avaliados, nas camadas de 0,00 m a 0,05 m e 0,10 a 0,20 m. Na camada de 0,05 a 0,10 m arroz-soja-arroz-soja teve a menor densidade em relação aos demais SIs.

O sistema arroz-pousio-pousio-pousio (camada de 0,10 a 0,20 m) e arroz-arroz-soja-soja (camada de 0,05 m a 0,10 m), apresentaram os menores valores médios de macroporosidade.

A porosidade total em cultivo de arroz-arroz-soja-soja na camada de 0,05 a 0,10 m foi superior aos demais sistemas. Nas camadas de 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10m o sistema lavoura-pecuária apresentou os menores valores médios em relação aos outros SIs. Na camada de 0,10 a 0,20 m, os sistemas integrados avaliados não apresentaram diferenças significativas.

Nos sistemas avaliados, não houveram diferenças significativas em relação a quantidade de água disponível nas camadas avaliadas. Porém, o sistema integrado lavoura-pecuária apresentou menor valores médios de microporosidade em comparação aos demais sistemas nas camadas de 0,00 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m.

Os menores estoques de carbono foram apresentados pelo sistema integrado lavoura-pecuária, quando comparado com os demais sistemas.

Os sistemas que utilizam a rotação de culturas com soja, dentre os sistemas avaliados, podem ter uma relação direta com a porcentagem de macro agregados estáveis. Os sistemas arroz-arroz-soja-soja e arroz-soja-arroz-soja apresentaram maiores porcentagens de agregados estáveis em água (macroagregados) na camada superficial (0,00 m a 0,05 m), principalmente na classe 4 (entre 1,00 - 0,50 mm de diâmetro).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os sistemas integrados avaliados, o sistema integrado lavoura-pecuária conduzido em Planossolo sob camalhões de base larga apresentou as condições mais restritivas em relação à qualidade física do solo. Considera-se que a qualidade de solos terras baixas, pode ser melhorada pela adoção de rotação de culturas anuais (exemplo: soja) em sistemas integrados de cultivos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. T. et al. Integração lavoura pecuária (ILP): uma breve revisão de literatura. **Scientia Generalis**, v. 2, n. Supl. 1, p. 141-141, 2021.

BAMBERG, Adilson Luís et al. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1079-1086, 2009.

CAMPOS, M. C. C. et al. Estoque de carbono no solo e 12. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 01-15, 2018.

CARMONA, F. C. et al. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Terras Baixas: A integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre – RS. 2018, 164 p.

CARVALHO, J. S. et al. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CASSOL, G. V. et al. Camalhões e irrigação incrementam a produtividade de soja em rotação com arroz em terras baixas no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. 01398, 2020.

CORREIA, S. L. et al. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 512-520, 2013.

CUNHA, N. G.; COSTA, F. A. Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. **Circular Técnica**, 152. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 6 p.

DA NÓBREGA, C. C. et al. Funções de pedotransferência para estimar a retenção e a disponibilidade de água em Planossolo Háplico sob sistemas integrados de produção agropecuária no Agreste da Paraíba. **Scientia Plena**, v. 18, n. 7, 2022.

DA SILVA, J. J. C. et al. Culturas alternativas em sistema de camalhão de base larga na região costeira do Rio Grande do Sul. **Comunicado Técnico**, 114. Pelotas - RS, 2005. 3 p.

DA SILVA, L. B. X. et al. Efeito da época de preparo do camalhão no desenvolvimento de plantas de soja em terras baixas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 18913-18921, 2021.

DA SILVA, L. H. M. et al. Produtividade de soja em áreas de terras baixas rotacionadas com arroz. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 13, n. 3, 2021.

DA SILVA, P. R. F.; MARCHESAN, E.; SCHOENFELD, R. In: EMYGDIO, B. M.; DA ROSA, A. P. S. A.; DE OLIVEIRA, A. C. B. Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul. Brasília, DF: **Embrapa**, 2017.

DE SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

DONAGEMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. **Comunicado Técnico**, 95. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013. 5 p.

FULANETI, F. et al. Propriedades físicas do solo e sistemas de irrigação em terras baixas. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2018.

GOMES, A. S. et al. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado** (Documentos, 169). 2006, 41 p.

GOMES, A. S. et al. Rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado** (Documentos, 169). 2002, 65 p.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed). Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: **American Society of Agronomy**, p. 635-660, 1986.

LACERDA, C. L., et al. Efluxo de gases de efeito estufa no cultivo de soja em terras baixas: efeito da época e das operações de preparo do solo. **VI Encontro de Iniciação científica e Pós-graduação da Embrapa Clima Temperado**. 2016.

MARCHÃO, Robélio Leandro et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 873-882, 2007.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

MARCHESAN, E. Desenvolvimento de tecnologias para cultivo de soja em terras baixas. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 2, n. 1, p. 4-19, 2016.

MENDES, I. de C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 435-443, 2003.

NASCIMENTO, P. C. et al. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1821-1827, 2009.

PARFITT, J. M. B. et al. In: EMYGDIO, B. M.; DA ROSA, A. P. S. A.; DE OLIVEIRA, A. C. B. Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul. Brasília, p. DF: **Embrapa**, 2017.

PARFITT, J. M. B. et al. Manejo da água no cultivo da soja em rotação com arroz irrigado em área não sistematizada. Documentos, **Embrapa Clima Temperado**, 2017. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 120 p., 2015.

PARFITT, J. M. B. et al. Spatial Variability of the Chemical, Physical and Biological Attributes in Lowland Cultivated with Irrigated Rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 33, p. 819-830, 2009.

PARFITT, J. M. B.; PINTO, M. A. B.; TIMM, L. C. Efeito da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológicos de um solo de várzea no Rio Grande do Sul. **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas – RS. 2014.

PEDROTTI, A. et al. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 709-715, 2001.

PETERS, G. H.; STANTON, B. F. (Ed.). Sustainable agricultural development: the role of international cooperation. **Dartmouth: Dartmouth Publishing Company.** 1991, 704 p.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1623-1632, 2016.

RIBEIRO, P. L. et al. Condições físico-hídricas de Planossolo cultivado com soja em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1484-1491, 2016.

RIBEIRO, R. H. et al. Adição de carbono em sistema de integração lavoura-pecuária submetido à intensidades de pastejo e nitrogênio. **VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo**. 2019

ROSA, C. M. et al. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1769-1776, 2011

SALES, A.; SILVA, A. R. et al. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018.

SALTON, Júlio Cesar; FABRÍCIO, A. M.; HERNANI, Luís Carlos. Integração lavoura-pecuária: alternativas de rotação de culturas. **Encontro Regional de Plantio Direto no Cerrado**, v. 5, p. 31-32, 2001.

SANCHEZ, P. A. Soil organic matter. In: SANCHEZ, P. A. Properties and management of soils in the tropics. New York, **John Willey & Sons**, p. 162-183, 1976.

SANTOS, G. G. et al. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1171-1178, 2012.

SALOMÃO, P. E. A. et al. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, 2020.

SCIVITTARO, W. B. et al. Mitigação de emissões de gases de efeito estufa em terras baixas pela inserção de cultivos de sequeiro em rotação ao arroz irrigado. **Anais. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Embrapa Clima Temperado**. Gramado: Sosbai, 2017.

SPERA, S. T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 129-136, 2009.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER. 2008, 126 p.

TAVARES FILHO, J. et al. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 436-441, 2012.

TEDESCO, M. J. et. al., Análises de Solos, Plantas e outros materiais – 2a ed. **Porto Alegre: Depto de Solos, UFRGS**, 1995.

THEISEN, G.; DA SILVA, J. J. C.; ANDRES, A. Produção de Milho em Terras Baixas: Síntese de Três Anos de Estudos com Plantio Direto em Camalhões de Base Larga. Embrapa Clima Temperado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2010.

TIMM, P. A. et al. Avaliação de cultivares de soja produzida em sistema camalhão em terras baixas. In: **X Congresso do Arroz Irrigado**, Gramado – RS. Brazil; 2017.

TISDALL, Judith M.; OADES, Jennifer Malcolm. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

WINCK, B. R. *et al.* Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 980-989, 2014.