

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola
Familiar



TESE

**Qualidade do Solo em Sistemas de Integração Lavoura- Pecuária
no Bioma Pampa**

Roberta Jeske Kunde

Pelotas, 2016

ROBERTA JESKE KUNDE

**Qualidade do Solo em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária no
Bioma Pampa**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Dra. Ana Cláudia Rodrigues de Lima

Co-orientador: Dr. Clenio Nailto Pillon

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

K95q Kunde, Roberta Jeske

Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa / Roberta Jeske Kunde ; Ana Cláudia Rodrigues de Lima, orientadora ; Clenio Nailto Pillon, coorientador. — Pelotas, 2016.

131 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Sistemas integrados. 2. Indicadores da qualidade do solo. 3. Análise multivariada. I. Lima, Ana Cláudia Rodrigues de, orient. II. Pillon, Clenio Nailto, coorient. III. Título.

CDD : 631.4

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Roberta Jeske kunde

**Qualidade do Solo em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária no Bioma
Pampa**

Data da defesa: 24/03/2016

Banca examinadora:

.....
Professora Dr^a. Ana Cláudia Rodrigues de Lima (Presidente)
Doutora em Qualidade do Solo – Wageningen University/Holanda

.....
Professor Dr. Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki
Doutor em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Santa Maria

.....
Pesquisador Dr. Jamir Luis Silva da Silva
Doutor em Zootecnia – Universidade Federal de Viçosa

.....
Professor Dr. Hêlvio Debli Casalinho
Doutor em Produção Vegetal -Universidade Federal de Pelotas

.....
Professor Dr. Carlos Eduardo da Silva Pedroso
Doutor em Zootecnia - Universidade Federal de Pelotas

À Nadir Kunde e Iolanda Jeske Kunde
(meus pais), Rodrigo Jeske Kunde (irmão)
e Gerson Kleinick Vignolo (noivo)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus por ter me dado forças durante esta caminhada e permitir alcançar mais esta vitória.

À Universidade Federal de Pelotas, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (Embrapa Clima Temperado) que me acolheu em 2009 como estagiária e disponibilizou durante a minha graduação, mestrado e doutorado toda a sua infraestrutura e profissionais de grande competência para me auxiliar durante a realização de todos os trabalhos que foram desenvolvidos ao longo destes 7 anos de parceria.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização deste trabalho.

Às famílias agricultoras envolvidas neste estudo por abrirem as portas das suas propriedades e concederem suas áreas localmente desenvolvidas, por estarem dispostos a aprender e conhecer mais sobre qualidade do solo, pela atenção, ajuda e disponibilidade todas as vezes que a nossa equipe se deslocou aos Municípios de Arroio do Padre e Rio Grande-RS.

À minha orientadora Ana Cláudia Rodrigues de Lima pela amizade, incentivo, profissionalismo, comprometimento à minha formação pessoal e profissional e pelo companheirismo que se estendia da sala de aula às coletas de campo. Agradeço muito por todos os ensinamentos e conhecimentos transmitidos, por ter deixado em mim o espírito da organização e da seriedade e principalmente por ter conduzido todos os momentos desta jornada com doçura e tranquilidade.

Ao meu co-orientador Clenio Nailto Pillon, pela oportunidade recebida em 2009 para ingressar como estagiária em seu grupo de pesquisa, o que promoveu não só o meu crescimento profissional, mas também meu amadurecimento pessoal. Além disso, gostaria de agradecer também pela confiança, incentivo, carinho, amizade e pela liberdade de crescer. És um exemplo de ser humano e profissional para mim e sempre me espelhei na tua competência e profissionalismo ao longo da minha jornada acadêmica.

Ao pesquisador Ricardo Alexandre Valgas, pela disponibilidade em me ajudar com a parte estatística do trabalho, pelo bom humor em que sempre me recebeu nas nossas reuniões, pelo cafezinho que rendia muita conversa e boas risadas, por todo o apoio e amizade.

Ao pesquisador Jamir Luís Silva da Silva por todo o apoio neste projeto, desde a seleção dos agroecossistemas até as coletas de campo, pela amizade e por sempre acreditar no meu crescimento e amadurecimento pessoal e profissional.

Ao pesquisador Adilson Luis Bamberg por todo o apoio, parceria e amizade firmada desde que fomos brindados com a tua chegada como coordenador do laboratório.

À pesquisadora da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori por toda a atenção e carinho com que me recebeu na unidade, pelos ensinamentos repassados e por disponibilizar o laboratório para a realização da análise espectroscópica de Fluorescência Induzida à Laser.

Aos amigos Ana Paula Camargo e Alberto Kuhn Klumb por toda a amizade e companheirismo desde a época da graduação, por todas as risadas e alegrias compartilhadas sempre que nos encontramos, e por estarem sempre torcendo pelo meu sucesso pessoal e profissional.

À minha amiga Juliana dos Santos Carvalho pela amizade, parceria e cumplicidade ao longo de todos esses anos. Vivemos e vencemos muitas etapas importantes juntas e o apoio mútuo foi a base para todas essas conquistas.

À minha amiga Cristiane Mariliz Stöcker pela amizade, carinho e parceria. Obrigada por ser minha irmã de coração, sempre me aconselhando, me incentivando, sendo minha companheira, seja nas coletas de campo ou nas aulas de “zumba”. Sem dúvida alguma, fostes um dos maiores presentes que a pós-graduação me proporcionou.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar pelos ensinamentos transmitidos nas disciplinas cursadas e em especial aos professores Hélyio Debli Casalinho e Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli, pela amizade, carinho, respeito, além dos grandiosos ensinamentos transmitidos.

Aos bolsistas Ronaldo Ribes e Rafael Buss, pela amizade e pelo auxílio nas coletas de solo. Sem a colaboração de vocês, a realização deste trabalho não seria possível.

A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação pela amizade, bons momentos de descontração na salinha da pós ou nos churrascos que realizamos, pelas alegrias compartilhadas e troca de experiências/vivências.

Ao funcionário do Laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperado Paulo Roberto da Silva Ferreira (Paulão), e aos estagiários Pablo Ribeiro e Bruna Gerke pela colaboração, dedicação e confiança. Vocês se tornaram mais que colegas, são amigos que quero ter sempre por perto e que fazem os meus dias de trabalho mais “leves e alegres”.

Ao amor da minha vida, meu noivo Gerson Kleinick Vignolo, pelo amor, amizade, cumplicidade, companheirismo, apoio incondicional e principalmente pela paciência, compreensão e ajuda. Te agradeço imensamente por sempre acreditar em mim, me incentivar e me aconselhar em todas as etapas desta caminhada.

À família Vignolo (minha segunda família) Carlos, Célia, Giuliano e Giancarlo pelo amor, dedicação e carinho que tenho recebido durante todos esses anos que convivemos juntos. Vocês são essenciais na minha vida, estão sempre ao meu lado me apoiando em tudo o que eu decido fazer. Sinto-me lisonjeada e orgulhosa em poder fazer parte desta família tão linda.

Em especial, agradeço aos meus pais Nadir e Iolanda, e ao meu irmão Rodrigo por todo o amor, pela educação, pelo incentivo aos estudos, mesmo sabendo de todas as dificuldades para ter acesso ao ensino no interior de São Lourenço, pela confiança e apoio incondicional em todas as etapas da minha vida. Sem o apoio de vocês seria impossível trilhar este caminho e enfrentar todos os obstáculos que encontrei ao longo desta caminhada. São 10 anos longe de casa e agradeço imensamente pelo voto de confiança que me foi dado em 2006 quando ingressei na Universidade e por sempre acreditarem na minha capacidade de me tornar uma profissional qualificada e capacitada.

À todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho queria dizer, muito obrigada!

*“A menos que modifiquemos a nossa
maneira de pensar, não seremos capazes de
resolver os problemas causados pela forma
como nos acostumamos a ver o mundo.”*

Albert Einstein

RESUMO

KUNDE, Roberta Jeske. **Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa**. 2016. 131f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

O crescente nível de degradação dos solos tem promovido a adoção de manejos agrícolas que aliem a produção agropecuária à conservação do solo. Neste contexto, Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) têm sido adotados com sucesso, pois ocupam os recursos disponíveis nos agroecossistemas concomitante à melhoria da qualidade do solo. Baseado no exposto, o presente trabalho foi estruturado em dois capítulos, onde buscou-se avaliar a qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares sob sistemas de ILP, definindo indicadores físicos, químicos e biológicos capazes de detectar os efeitos das práticas de manejo utilizadas em diferentes sistemas de uso do solo. O capítulo 1 foi desenvolvido no Município de Arroio do Padre e o capítulo 2 no Município de Rio Grande, RS. Foram avaliados três sistemas de uso do solo: campo nativo pastejado (CN), pastagem de azevém (PA) e milho com sucessão de azevém (MI). Em cada um dos sistemas foram coletadas amostras indeformadas e deformadas de solo nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m para a determinação de indicadores como: densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado, macronutrientes, micronutrientes, carbono orgânico total, nitrogênio total, fracionamento físico granulométrico e densimétrico da matéria orgânica, índice de manejo de carbono, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e fluorescência induzida por laser. No capítulo 1, concluiu-se que a análise fatorial evidenciou que o “Fator Matéria Orgânica” foi o que mais contribuiu para a variação total dos dados nas três camadas avaliadas. Os indicadores que compõem o “Fator Matéria Orgânica” estão mais associados ao CN, enquanto que os indicadores do “Fator Agregação”, “Fator Compactação” e “Fator Carbono Microbiano” estão mais associados à PA, sendo os indicadores respiração basal do solo, fração leve livre e porosidade total àqueles mais relacionados ao sistema MI e a densidade do solo encontra-se relacionada aos três sistemas de uso do solo. Somente a porosidade total não foi eficiente para detectar diferenças entre os sistemas estudados. No capítulo 2, concluiu-se que a análise fatorial evidenciou que os fatores “Matéria Orgânica”, “Matéria Orgânica Leve” e “Carbono Humificado” foram os que mais contribuíram para a variação total dos dados nas três camadas avaliadas. Os indicadores que compõem o “Fator Matéria Orgânica” estão mais associados ao CN e os indicadores relacionados ao “Fator Agregação”, “Fator Frações Granulométricas” e “Fator Porosidade Total” estão mais associados aos sistemas MI e PA. A densidade do solo, a fração pesada da matéria orgânica e o carbono microbiano encontram-se relacionados aos três sistemas de uso do solo. O diâmetro médio ponderado e a respiração basal do solo não foram eficientes para detectar diferenças entre os sistemas de uso do solo.

Palavras-chave: sistemas integrados; indicadores da qualidade do solo; análise multivariada.

ABSTRACT

KUNDE, Roberta Jeske. **Soil quality in Integrated Crop-Livestock Systems in the Pampa Biome**. 2016. 131f. Thesis (Doctorate) – Post-Graduation Program in Family Agricultural Production Systems. University Federal of Pelotas, Pelotas, 2016.

The increasing level of soil degradation has promoted the adoption of agricultural management that combine agricultural production to soil conservation. In this context, Integrated Crop-Livestock Systems (ILP) have been successfully adopted, because they occupy the available resources in agroecosystems, concomitant to the improvement of soil quality. Based on the above, this study was divided into two chapters, where we sought to evaluate the soil quality on family farms in ILP systems, defining physical, chemical and biological indicators able to detect the effects of management practices used in different land use systems. The chapter 1 was developed in the municipality of Arroio do Padre and the chapter 2 in Rio Grande, RS. Were evaluated three land use systems: grazed native field (CN), ryegrass pasture (PA) and maize with succession of ryegrass (MI). In each of the systems, disturbed and undisturbed soil samples were collected in the layers from 0.00-0.05m, 0.05-0.10m and 0.10-0.20m for determining indicators such as: bulk density, soil porosity, mean weight diameter, macronutrients, micronutrients, total organic carbon, total nitrogen, granulometric physical fractionation and densimetric physical fractionation, carbon management index, microbial biomass carbon, basal soil respiration and laser-induced fluorescence. In Chapter 1, we concluded that the factor analysis showed that the "Organic Matter Factor" was the largest contributor to the total variance of the data evaluated in the three layers. The indicators that compose the "Organic Matter Factor " are more associated with the CN, while the indicators of "Aggregation Factor", "Compression Factor" and "Microbial Carbon Factor" are more related to PA, and the indicators soil basal respiration, free light fraction and porosity are more related to the system MI. The bulk density is related to the three land use systems. Only the total porosity was not enough to detect differences between the systems studied. In chapter 2, it was concluded that the factor analysis showed that the factors "Organic Matter", "Light Organic Matter" and "Humified Carbon" were the main contributors to the total variance of the data evaluated in the three layers. The indicators that compose the "Organic Matter Factor" are more associated with the CN and indicators related to "Aggregation Factor", "Granulometric Fractions Factor" and " Total Porosity Factor" are more associated with PA e MI. The bulk density, the heavy fraction of organic matter and microbial carbon are related to the three land use systems. The mean weight diameter and basal soil respiration were not effective to detect differences between land use systems.

Keywords: integrated systems; soil quality indicators; multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,00-0,05m.....	48
Figura 2- Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,00-0,05m.....	49
Figura 3- Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,05-0,10m.....	51
Figura 4- Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,05-0,10m.....	52
Figura 5- Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,10-0,20m.....	54
Figura 6- Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,10-0,20m.....	54
Figura 7- Proporção de carbono da fração grosseira (CFG) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre - RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.....	60
Figura 8- Proporção de carbono da fração leve livre (FLL), carbono da fração leve oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre - RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.....	61

Figura 9- Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,00-0,05m. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho.....67

Figura 10- Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,05-0,10m. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho.....67

Figura 11- Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,10-0,20m. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho.....68

Figura 12- Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,00-0,05m.....84

Figura 13- Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,00-0,05m.....85

Figura 14- Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,05-0,10m.....87

Figura 15- Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,05-0,10m.....88

Figura 16- Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,10-0,20m.....90

Figura 17- Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,10-0,20m.....91

Figura 18- Proporção de carbono da fração grosseira (CFG) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre - RS, 2016. CN=campo nativo; PA=pastagem de azevém e MI=milho..... 99

Figura 19- Proporção de carbono da fração leve livre (FLL), carbono da fração leve oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande - RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.....100

Figura 20- Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,00-0,05m. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho.....105

Figura 21- Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,05-0,10m. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho.....105

Figura 22- Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,10-0,20m. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho.....106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Proporções relativas das frações granulométricas e respectiva classe textural no perfil dos solos, nos seus três sistemas de uso das propriedades agrícolas familiares em estudo. Arroio do Padre, 2016.....	38
Tabela 2- Valores médios de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efet.) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 010-0,20m. Arroio do Padre, 2016.....	39
Tabela 3- Valores médios de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) de um Argissolosob diferentes sistemas de uso nas camadas de0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 010-0,20m.Arroio do Padre, 2016.....	39
Tabela 4- Cargas fatoriais das variáveis físicas, químicas e biológicas após a rotação Varimax de um Argissolo sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre, 2016.....	46
Tabela 5- Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,00-0,05m. Arroio do Padre-RS, 2016.....	50
Tabela 6- Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,05-0,10m. Arroio do Padre-RS, 2016.....	53
Tabela 7- Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,10-0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016.....	55

Tabela 8- Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) de um Argissolo Vermelho sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária. Arroio do Padre, 2016.....56

Tabela 9- Estoques (Mg ha^{-1}) de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação carbono/nitrogênio (C/N), carbono da fração grosseira (CFG), carbono associado aos minerais (CAM), carbono da fração leve-livre (FLL), carbono da fração leve-oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016.....58

Tabela 10- Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) de um Argissolo nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m. Arroio do Padre-RS, 2016.....63

Tabela 11- Teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) em um Argissolo nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m.....65

Tabela 12- Grau de humificação (HFIL) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m. Arroio do Padre - RS, 2016.....69

Tabela 13- Proporções relativas das frações granulométricas e respectiva classe textural no perfil dos solos, nos seus três sistemas de uso das propriedades agrícolas familiares em estudo. Rio Grande-RS, 2016.....74

Tabela 14- Valores médios de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efet.) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.....75

Tabela 15- Valores médios de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) de um Argissolosob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.....75

Tabela 16- Cargas fatoriais das variáveis físicas, químicas e biológicas após a rotação Varimax de um Argissolo sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.....82

Tabela 17- Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,00-0,05m. Rio Grande-RS, 2016.....86

Tabela 18- Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,05-0,10m. Rio Grande-RS, 2016.....89

Tabela 19- Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.....92

Tabela 20- Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) de um Argissolo Vermelho sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária. Rio Grande-RS, 2016.....93

Tabela 21- Estoques (Mg ha^{-1}) de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação carbono/nitrogênio (C/N), carbono da fração grosseira (CFG), carbono associado aos minerais (CAM), carbono da fração leve-livre (FLL), carbono da fração leve-oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m. Rio Grande-RS, 2016.....97

Tabela 22- Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) de um Argissolo nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m. Rio Grande-RS, 2016.....102

Tabela 23- Teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), e quociente metabólico (qCO_2) em um Argissolo nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.....104

Tabela 24- Grau de humificação (HFIL) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m. Rio Grande-RS, 2016.....107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC- Agricultura de baixo carbono
Al-Alumínio
B- Boro
C- Carbono
Ca- Cálcio
CAM- Carbono associado aos minerais
CBM- Carbono da biomassa microbiana
CFG- Carbono da fração grosseira
CN- Campo nativo pastejado
C/N- Relação carbono/nitrogênio
COT- Carbono orgânico total
CO₂-Gás carbônico
CTC ef- Capacidade de troca de cátions efetiva
Cu-Cobre
DMP- Diâmetro médio ponderado
Ds- Densidade do solo
Fe- Ferro
FIL- Fluorescência induzida à laser
FLL- Fração leve livre
FLO- Fração leve oclusa
FP- Fração pesada
GEE- Gases de efeito estufa
HFIL- Índice de humificação da matéria orgânica
IEC- Índice de estoque de carbono
IL- Índice de labilidade da matéria orgânica
ILP- Integração lavoura-pecuária
IMC- Índice de manejo de carbono
IQS- Indicadores da qualidade do solo
K- Potássio
L- Labilidade da matéria orgânica
m%- Saturação por alumínio
Mg- Magnésio

MI- Milho com susseção de azevém

Mn- Manganês

MOS - Matéria orgânica do solo

N– Nitrogênio

Na- Sódio

NT- Nitrogênio total

P- Fósforo

PA- Pastagem de azevém

pH- Potencial hidrogeniônico

Pt- Porosidade total

QS- Qualidade do solo

RBS- Respiração basal do solo

RS- Rio Grande do Sul

SPD- Sistema plantio direto

V%- Saturação por bases

Zn- Zinco

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL	22
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1 Bioma Pampa	24
2.2 Sistemas de uso e manejo do solo no Bioma Pampa.....	25
2.3 Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária	26
2.4 Qualidade do solo.....	31
2.4.1 Indicadores físicos da qualidade do solo	32
2.4.2 Indicadores químicos da qualidade do solo	33
2.4.3 Indicadores biológicos da qualidade do solo	33
3. CAPÍTULO 1 – QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS FAMILIARES SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO MUNICÍPIO DE ARROIO DO PADRE- RS	35
3.1 INTRODUÇÃO	35
3.2 METODOLOGIA	37
3.2.1 Seleção dos agroecossistemas	37
3.2.2 Caracterização do local de estudo	37
3.2.2.1 Clima.....	37
3.2.2.2 Solo	38
3.2.3 Caracterização dos sistemas de uso e manejo em estudo	40
3.2.4 Critérios para a definição dos indicadores da qualidade do solo	40
3.2.5 Amostragem de solo	41
3.2.6 Indicadores físicos da qualidade do solo	41
3.2.6.1 Densidade e porosidade do solo	41
3.2.6.2 Agregação do solo	42
3.2.6.3 Granulometria do solo	42
3.2.6.4 Fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica	42
3.2.6.5 Fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica	42
3.2.7 Indicadores químicos da qualidade do solo	43
3.2.7.1 Análise química de rotina	43
3.2.7.2 Carbono orgânico e nitrogênio total	43
3.2.7.3 Índice de manejo de carbono.....	43
3.2.7.4 Fluorescência Induzida por laser	44
3.2.8 Indicadores biológicos da qualidade do solo	44
3.2.8.1 Carbono da biomassa microbiana.....	44
3.2.8.2 Respiração basal do solo	44
3.2.9 Análises estatísticas	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.4 CONCLUSÕES	70
4 CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS FAMILIARES SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO MUNICÍPIO DE RIO GRANDE- RS	72
4.1 INTRODUÇÃO	72
4.2 METODOLOGIA	73

4.2.1 Seleção dos agroecossistemas	73
4.2.2 Caracterização do local de estudo	74
4.2.2.1 Clima.....	74
4.2.2.2 Solo	74
4.2.3 Caracterização dos sistemas de uso e manejo em estudo	76
4.2.4 Critérios para a definição dos indicadores da qualidade do solo	76
4.2.5 Amostragem de solo	77
4.2.6 Indicadores físicos da qualidade do solo	77
4.2.6.1 Densidade e porosidade do solo	77
4.2.6.2 Agregação do solo	77
4.2.6.3 Granulometria do solo	78
4.2.6.4 Fracionamento Físico granulométrico da matéria orgânica.....	78
4.2.6.5 Fracionamento Físico densimétrico da matéria orgânica.....	78
4.2.7 Indicadores químicos da qualidade do solo	79
4.2.7.1 Indicadores químicos de rotina.....	79
4.2.7.2 Carbono orgânico e nitrogênio total	79
4.2.7.3 índice de manejo de carbono	79
4.2.7.4 Fluorescência Induzida por laser	80
4.2.8 Parâmetros biológicos da qualidade do solo	80
4.2.8.1 Carbono da Biomassa Microbiana.....	80
4.2.8.2 Respiração Basal do solo	80
4.2.9 Análises estatísticas	81
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.4 CONCLUSÕES	107
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
7 ANEXOS.....	131

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Bioma Pampa compreende regiões entre o Sul do Uruguai até norte da Argentina, sul do Brasil e parte do Paraguai, ocupando, no Brasil, uma área de 176.496 Km², correspondendo a cerca de 2% do território nacional. As paisagens naturais do Pampa se caracterizam pelo predomínio dos campos nativos, com a presença de matas ciliares, matas de encosta, formações arbustivas, butiazais, banhados e afloramentos rochosos (MMA, 2015). A conservação do Bioma Pampa tem sido ameaçada pela conversão dos campos nativos em culturas anuais e pela degradação associada à invasão de espécies exóticas e uso inadequado. Além disso, o pastejo excessivo resulta em diminuição na cobertura do solo e em riscos de erosão, além de substituição de espécies forrageiras produtivas por espécies que são menos produtivas e de menor qualidade, ou até na perda completa das boas espécies forrageiras (PILLAR et al., 2009).

O crescente nível de degradação dos solos tem promovido a adoção de sistemas de produção mais sustentáveis, os quais buscam aliar a produção agropecuária com a conservação do solo, da água e da biodiversidade. Neste sentido, a utilização de sistemas de produção que propiciem e favoreçam a melhoria e conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é a chave para a qualidade e sustentabilidade ambiental dos agroecossistemas.

Nesse sentido, uma das alternativas é a adoção de sistemas de produção como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que dentre os sistemas conservacionistas tem merecido destaque, pois proporciona a diversificação e a maximização da exploração da propriedade rural e contribui para a melhoria e/ou manutenção da qualidade do solo, pois nestes sistemas a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo aliado à ausência de revolvimento do solo, reduzem a emissão de gás carbônico, aumentam os estoques de carbono no solo e a diversidade microbiana, além de melhorar a fertilidade e os atributos físicos do solo.

Apesar do crescente interesse de um melhor entendimento sobre quais as alterações e impactos que os sistemas de ILP podem causar na qualidade dos solos do Bioma Pampa, vale ressaltar que raros são os estudos que abordam de forma dinâmica e integrada a avaliação de indicadores físicos, químicos e biológicos, principalmente em agroecossistemas desenvolvidos pelo agricultor (propriedades agrícolas). Além disso, outro fator que merece destaque é a escassez de trabalhos

que abordem esta temática em solos com alto grau de fragilidade como os Neossolos.

Percebendo, então, essa carência de pesquisas sobre sistemas integrados no âmbito do Bioma Pampa, principalmente em ambientes localmente desenvolvidos, o presente trabalho testou a hipótese de que os sistemas de ILP mantêm ou incrementam a qualidade do solo.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo em agroecossistemas familiares, representativos deste Bioma, sob sistema de ILP, com base em indicadores físicos, químicos e biológicos do solo. Para tanto, o trabalho foi estruturado em Introdução Geral, Revisão Bibliográfica e dois capítulos, finalizando com as Considerações Finais.

Os Capítulos 1 e 2 avaliaram a qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares sob sistemas de ILP, definindo indicadores físicos, químicos e biológicos capazes de detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo utilizadas nos sistemas de uso avaliados. O que diferencia os dois estudos é o fato do capítulo 1 ter sido desenvolvido no Município de Arroio do Padre-RS e o capítulo 2 no Município de Rio Grande-RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bioma Pampa

Bioma é um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação próximos e identificáveis em escala regional, com condições de solo e clima similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria daquela região (IBGE, 2015). O Brasil apresenta seis biomas, sendo estes denominados: Bioma Amazônia, Bioma Mata Atlântica, Bioma Caatinga, Bioma Cerrado, Bioma Pantanal e Bioma Pampa.

O Bioma Pampa, também conhecido como campos do sul ou campos sulinos, ocupa uma área de 176.496 Km² e correspondente a cerca de 2% do território nacional. No Brasil, o Pampa só está presente no Rio Grande do Sul (RS), ocupando 63% do território gaúcho, estendendo-se pela Argentina e Uruguai (IBF, 2015). Esta região se caracteriza por apresentar cobertura vegetal predominante de campos naturais, com matas de galeria e áreas de relevo suave e ondulado, como na Campanha e Missões, ou formando mosaicos de campo e floresta, em áreas de relevo forte ondulado como na Serra do Sudeste. O clima é úmido ao longo do ano, havendo uma tendência à seca no verão em direção ao interior do estado, em especial na Fronteira Oeste. As pastagens naturais são apropriadas para criação extensiva de gado (HASENACK, 2007).

A economia do RS historicamente evoluiu tendo por base a pecuária, a produção de grãos e a exploração florestal. Com a expansão da economia, em especial do mercado de exportação, ocorreu também uma expansão da fronteira agrícola, avançando em regiões de fragilidade ambiental, colocando em risco a biodiversidade (VARGAS, 2008).

Restam apenas 41% da vegetação original do Pampa: 23% de campos, 5% de florestas e 13% de mosaicos de campos, arbustos e matas. O RS possui 32 unidades de conservação estaduais e 11 áreas protegidas federais, que formam menos de 0,5% do Bioma. Além disso, a maioria delas foi criada nos anos 1970 e 1980 e não protegem áreas exatamente de Pampa (BOURCHEIT, 2009).

As pastagens do estado ocupavam cerca de 60% do território gaúcho. Estas, por sua vez, tem apresentado uma taxa de redução gradativa, restando cerca de

30% dos campos originais, especialmente pelo cultivo da soja, milho, arroz e, recentemente, o florestamento (SANTOS, 2011).

O Bioma Pampa também tem perdido sua área para o cultivo de espécies exóticas, como eucalipto, acácia-negra, capim braquiária, entre outros. A invasão de ecossistemas por espécies exóticas é considerada a segunda maior causa de perda de biodiversidade em todo o planeta, logo atrás da degradação ambiental causada pelo homem. Assim, um exemplo é a invasão de capim anoni (*Eragrostis plana*) nas áreas de campo natural do Bioma Pampa, a qual tem contribuído para a redução da diversidade florística dos agroecossistemas (REVISTA IBAMA, 2005; SANTOS, 2006).

2.2 Sistemas de uso e manejo do solo no Bioma Pampa

A configuração da paisagem brasileira, principalmente no Bioma Pampa, tem mudado nos últimos anos. Estas áreas passaram a sofrer mudanças desde a época da colonização, especialmente com as demarcações de fronteiras, com a introdução da pecuária e o estabelecimento da estrutura fundiária de médias e grandes propriedades conhecida até hoje (MATEI; FILIPPI, 2012).

As pastagens no Bioma Pampa ocupavam cerca de 60% do território do estado do RS e mais recentemente, as áreas de pastagem têm sido gradativamente substituídas pelo cultivo da soja, milho e arroz, restando cerca de 30% dos campos originais. O avanço recente da silvicultura pode diminuir ainda mais a área de campo natural (NABINGER et al., 2009).

A “Metade Sul” a qual está inserida neste Bioma era, basicamente, pecuarista até a introdução da soja a partir dos anos 1960 no norte do Estado, cuja expansão se deu para o Sul, inserindo no pampa gaúcho as atividades ligadas à agricultura, essencialmente, monoculturas de trigo e soja (VERDUM, 2006). Além disso, o Bioma Pampa tem sido local para investimentos estrangeiros no plantio de monoculturas de espécies exóticas, com uma ilusória “solução para os problemas ambientais por tratar-se de plantio de árvores” (FIGUEIRÓ; SELL, 2010).

A escala de conversão do Pampa para agricultura preocupa os ambientalistas, pois o avanço da soja reduz o espaço dos campos naturais. O RS é o terceiro maior produtor de soja do Brasil. De acordo com os dados de 2011 o estado produziu 11.717.548 toneladas do grão (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2015). Além disso, o estado é o maior produtor nacional de arroz e sua produção corresponde a

66,6% do total produzido no período de 2013, chegando a 7.692.223 toneladas (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2015), cobrindo uma área de aproximadamente 1.120.085 hectares (IRGA, 2014).

Devido a fatores ambientais favoráveis e ao relativo baixo custo da terra, comparativamente à outras regiões, as áreas cultivadas expandiram rapidamente sem um sistema adequado de manejo do solo, resultando em erosão e outros problemas que se agravam progressivamente. Atualmente, os campos que já representaram 2,4% da cobertura vegetal do país, são amplamente utilizados para a produção de grãos de inverno e de verão (trigo, arroz, milho e soja), cujo sistema de manejo pode incluir culturas em sucessão, monocultura de inverno e/ou verão ou ainda sistemas de integração com a produção de bovinos e ovinos. Entretanto, o uso e manejo inadequado do solo levam a processos de degradação ambiental, como por exemplo a arenização registrada em diferentes áreas da fronteira oeste do RS (WWF, 2008).

2.3 Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária

Atualmente, são impostos à agricultura desafios como a produção de alimentos em elevada quantidade e qualidade, garantindo segurança alimentar, produção de energia, fibras, madeira e outros bens para a humanidade e, ainda, auxiliando na mitigação de gases causadores de efeito estufa. O grande desafio tem sido, portanto, a produção de bens que a humanidade demanda de forma crescente, devido ao aumento populacional e da renda per capita, com reduzido impacto ambiental e, ao mesmo tempo, permitindo que as famílias de agricultores familiares consigam viver com dignidade no meio rural (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Para intensificar esta produção de alimentos, fibras e energia, os sistemas de produção são constantemente reformulados para aumentar a eficiência na produção, proteger o meio ambiente e/ou promover a recuperação ambiental. Com a expansão do cultivo da soja, a degradação de largas áreas devido à criação de gado e a baixa produtividade da pecuária (especialmente durante o inverno), sistemas como os que integram a produção de grãos e a criação animal podem ser vantajosos tanto para os agricultores quanto para o meio ambiente (CARVALHO et al., 2010; SULC; TRACY, 2007).

Nesse sentido, uma das alternativas mais apropriadas é a adoção de sistemas de produção como a ILP, que ocupam intensamente os recursos disponíveis nos agroecossistemas, concomitante à melhoria da qualidade do solo, favorecendo a redução do consumo de insumos e gerando maior renda por área (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Além disso, os sistemas de ILP constituem um dos pilares do programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono), com forte interação com o plantio direto de qualidade na palha, recuperação de pastagens degradadas e a fixação biológica de nitrogênio (SILVA et al., 2011).

A ILP é uma das tecnologias que compõem os compromissos voluntários assumidos pelo Brasil na COP-15, realizada em Copenhague, e que preveem a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) projetadas para 2020, entre 36,1% e 38,9%, estimando assim uma redução da ordem de um bilhão de toneladas de gás carbônico (CO₂) equivalente. Esses compromissos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (Lei no 12.187/09) e regulamentados pelo Decreto no 7390/10. Para efeito desta regulamentação, no caso específico da agricultura, foi estabelecido o “Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”, o que se convencionou chamar de “Plano ABC”. Desta forma, a contribuição da ILP na mitigação de GEE se dará pela expansão de sua área de adoção em quatro milhões de hectares até 2020. As outras tecnologias previstas neste plano são: recuperação de pastagens degradadas, sistema plantio direto (SPD), fixação biológica de nitrogênio, florestas plantadas e tratamento de dejetos animais (BRASIL, 2011).

O sistema de ILP pode ser definido como um sistema de produção que alterna, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes, destinadas à produção animal e culturas destinadas à produção vegetal, sobretudo grãos. É importante frisar nesse conceito que a ILP é considerada como um sistema de produção, em que vários fatores biológicos, econômicos e sociais se inter-relacionam e determinam a sua sustentabilidade (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

O interesse, nesse modelo de exploração, apoia-se nos benefícios que podem ser oferecidos pelo sinergismo entre pastagens e culturas anuais, como: melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; quebra de ciclo de doenças, redução de insetos-pragas e de plantas daninhas; redução de riscos

econômicos pela diversificação de atividades e redução de custo na recuperação e na renovação de pastagens em processo de degradação (VILELA et al., 2011).

Além disso, o sistema de ILP permite uso mais racional de insumos, máquinas e mão-de-obra na propriedade agrícola, além de diversificar a produção e o fluxo de caixa dos produtores. A ILP também permite sistemas de exploração em esquemas de rotação, onde se alternam anos ou períodos de pecuária com a produção de grãos ou fibras, utilização de produtos e subprodutos na alimentação animal (MACEDO, 2009).

Embora estes sistemas sejam considerados inovadores, a integração da agricultura com a pecuária como atividade voltada à produção de alimentos, remete aos princípios da civilização humana no período Neolítico, quando ocorria a domesticação das plantas e dos animais (CARVALHO et al., 2007). Segundo Keulen; Schiere (2004), os sistemas de ILP alcançam 2,5 bilhões de hectares no mundo, sendo responsáveis por mais de 50% da carne e mais de 90% do leite produzidos.

No Brasil, os imigrantes europeus trouxeram a cultura da associação que desde o início foram adaptadas às condições tropicais e subtropicais. No RS, a integração de animais com culturas agrícolas no estado foi registrada nos primeiros anos do século 20, onde bovinos pastejavam a resteva da cultura de arroz irrigado na área das terras baixas. Esse modelo de sistema integrado ainda é utilizado no presente momento. A partir da década de 70, outros modelos de ILP foram trabalhados na região norte do estado, em torno das culturas de soja e de milho com pastagens de inverno para pecuária de corte e posteriormente com pecuária de leite. Já na década de 90, iniciaram-se algumas pesquisas em integração silvipastoril e agrossilvipastoril e houve uma intensificação no conhecimento e tecnologias para manejo integrado dos sistemas considerando a interface solo-planta-animal-floresta e suas interações (SILVA et al., 2011).

Devido ao clima específico, economia e características estruturais de cada região, estes sistemas de produção estão dispostos em várias formas que diferem na sequência de espécies, detalhes de implementação e as fases de rotação entre a lavoura e a pecuária (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; CARVALHO et al., 2010; SALTON et al., 2008).

O sistema ILP pode ser utilizado com sucesso em pequenos e grandes estabelecimentos rurais e tem sido adotado em diversas regiões do Brasil. No caso de grandes áreas, a produção animal geralmente é representada por bovinos de corte, e a produção vegetal é constituída por culturas altamente mecanizadas, como a soja, por exemplo. Já em propriedades que não dispõem de extensas áreas agrícolas, como é o caso da maioria dos estabelecimentos rurais da região Sul do Brasil, a produção animal geralmente é representada por bovinos destinados à produção de leite e, em alguns casos, por ovinos e caprinos para produção de carne. Por sua vez, a produção vegetal é constituída por culturas como o fumo, o feijão e o milho, este último destinado à produção de silagem e grãos (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Vale ressaltar que a degradação das pastagens tornou-se um dos principais sinais de baixa sustentabilidade da pecuária nas diferentes regiões brasileiras. O manejo inadequado do rebanho normalmente é considerado como a principal causa de sua degradação (BALBINO et al., 2012). De acordo com Silva et al. (2012) é necessário o correto manejo das pastagens, no qual o ajuste da carga animal ou taxa de lotação (produto da lotação e do peso vivo médio dos animais) de acordo com a forragem produzida no pasto é o ponto crítico na longevidade das forrageiras e na produção de leite, carne, lã e pele. O pastejo deve ser conduzido com tal intensidade que permita aos animais a ingestão de forragem de acordo com sua demanda produtiva. Para que isso ocorra, é necessário a manutenção de estruturas de pasto que otimizem a máxima colheita de forragem pelos animais em pastejo e que o produtor os mantenha sob lotações que não venham a comprometer o sistema agropastoril.

Em função da crescente expansão e adoção das tecnologias de ILP ao longo do país, faz-se necessário a avaliação dos impactos causados por este sistema sobre a qualidade ambiental nos diversos biomas brasileiros. Especialmente no RS, a ILP é vista como alternativa para aumento da rentabilidade das propriedades agrícolas, as quais muitas vezes têm na cultura de grãos de verão a única fonte de renda anual (CARASSAI et al., 2011). Além disso, segundo Carvalho et al. (2011), no sul do Brasil o enfoque tem sido na rotação e diversificação de cultivos, principalmente como alternativas de renda e utilização da terra nos períodos interlavouras de verão.

De acordo com Balbinot Junior et al. (2009), no sul do Brasil o sistema ILP pode ser adotado sob três estratégias básicas, considerando o tipo de pastagem utilizada no sistema:

- Uso de pastagens anuais de inverno e culturas para produção vegetal no verão. Essa estratégia possui elevada importância no Sul do Brasil, pois há várias culturas para uso do solo no verão, como a soja, o milho, o feijão, o fumo e o arroz irrigado, enquanto que, no inverno, há carência de alternativas de cultivos agrícolas economicamente viáveis (BALBINOT JR., 2007; BRUM et al., 2005). Ao mesmo tempo, existem espécies de pastagens anuais de inverno que apresentam adequado rendimento e qualidade e são adaptadas às condições edafoclimáticas do Sul do Brasil (ASSMANN et al., 2004), como aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), aveia branca (*Avena sativa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e ervilhacas (*Vicia* sp.) (SANTOS et al., 2002). Nessa região, essas espécies fornecem alimento aos animais no período de maior escassez de forragem oriunda de campos naturais e naturalizados (CÓRDOVA et al., 2004) e de pastagens perenes melhoradas de verão. No caso do arroz irrigado, é comum a integração com a criação de bovinos, os quais são mantidos na resteva da cultura no período de pós-colheita ao preparo do solo para a safra seguinte ou durante o pousio da área, que geralmente tem duração de um a dois anos (MARCHEZAN et al., 2003).

- Uso de pastagens anuais de verão e culturas para produção vegetal no inverno. Essa estratégia possui pouca expressão, pois, no verão, a maioria das áreas agrícolas está ocupada com culturas destinadas à produção vegetal, embora, em alguns casos, a cultura de verão possa ser colhida precocemente, disponibilizando a área para cultivo de espécies de pastagens anuais de verão, como, por exemplo, o milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke).

- Uso de pastagens perenes por alguns anos, intercalando um ou mais anos com culturas anuais. Nesse caso, as pastagens perenes mais utilizadas no Sul do Brasil são as que exibem maior acúmulo de massa no verão, como, por exemplo, capim-Hemarthria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & Hubbard), capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), capim-Missineira gigante (*Axonopus catharinensis*), capim-Braquiária (*Brachiaria* sp.), capim-Mombaça e capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* Krapov & Gregory).

2.4 Qualidade do solo

Os estudos sobre a qualidade do solo (QS), apesar de sua grande importância, são relativamente recentes, pois tiveram seu início na década de 90, quando nos Estados Unidos, começou-se a relacionar a saúde das pessoas com a saúde do solo. Além disso, a discussão sobre a QS intensificou-se na comunidade científica, que por estar cada vez mais consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A definição de QS mais conhecida e citada tem sido: a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (DORAN; PARKIN, 1994; DORAN, 1997). Em outras palavras, é a capacidade do solo exercer suas funções como: funcionar como meio para o crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera e servir como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (KARLEN et al., 1997; LARSON; PIERCE, 1994).

Portanto, a QS está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (CARTER, 2001), integrando indicadores biológicos, físicos e químicos do solo, habilitando, assim, suas funções na plenitude. É nesse contexto que a ILP pode auxiliar no alcance desses objetivos, já que neste sistema se pressupõe o uso contínuo das áreas agrícolas e a melhoria da QS ao longo do tempo (ENTZ et al., 2002; RAO et al., 2003).

A maioria do pensamento em relação à QS está centrada na identificação de indicadores, assim como os que já existem para inferir sobre a qualidade do ar e da água. Desta forma, cientistas do solo, agricultores e instituições governamentais têm interesse em obter indicadores de qualidade do solo (IQS) para avaliar o solo em relação à degradação, estimar necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgar práticas de manejo, a fim de monitorar mudanças nas propriedades e nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental, que ocorram no tempo, em resposta ao uso da terra e as práticas de manejo (DORAN; PARKIN, 1994; DORAN, 1997).

Os IQS devem identificar um conjunto de propriedades do solo, atendendo aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações de manejo e de clima ao longo do tempo; ter boa relação custo-benefício e, quando possível, ser componente de banco de dados já existente (DORAN; PARKIN, 1994). Além disso, os IQS devem ser sistêmicos e não reducionistas e devem descrever a maioria dos processos ecológicos do solo (DORAN, 1997).

Com relação aos Sistemas de ILP, pesquisadores da ciência do solo têm buscado avaliar a QS por meio de indicadores físicos (CONTE et al., 2011; ORTIGARA et al., 2014), químicos (SILVA et al., 2014; SOUZA et al., 2009), biológicos (MARTINS et al., 2011; ZAGATTO, 2014) e também pela integração destes (SALTON et al., 2014; SILVA et al., 2011).

2.4.1 Indicadores físicos da qualidade do solo

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos tais como a taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo (GOMES; FILIZOLA, 2006).

De maneira geral, os principais indicadores físicos que têm sido utilizados e recomendados pela literatura são: textura, espessura (horizonte A; solum), densidade do solo, resistência à penetração, porosidade; capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012). Além disso, têm sido desenvolvidos indicadores que integram atributos físicos do solo como o intervalo hídrico ótimo (REICHERT et al., 2003), a densidade relativa do solo (KLEIN, 2006) e o parâmetro S (DEXTER, 2004).

Com relação aos sistemas de ILP, muitos pesquisadores têm sugerido como indicadores físicos da QS atributos como a resistência mecânica à penetração (CONTE et al., 2011; LANZANOVA et al., 2007; MARCHÃO et al., 2007; MOREIRA et al., 2012), densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total (CARASSAI et al., 2011; CONTE et al., 2011; FLORES et al., 2007; KUNDE et al., 2014; LANZANOVA et al., 2007; MARCHÃO et al. 2007; TIRLONI et al., 2012),

pressão de pré-consolidação (FLORES et al., 2007; ORTIGARA et al., 2014) e diâmetro médio ponderado de agregados (CONTE et al., 2011; LOSS et al., 2011; LOSS et al., 2014).

2.4.2 Indicadores químicos da qualidade do solo

Os indicadores químicos da QS são normalmente agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo (MOS), a acidez do solo, o conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos como o alumínio (Al) por exemplo, e determinadas relações como a saturação de bases (V%) e de alumínio (m%). Além disso, medidas que expressam a disponibilidade de nutrientes, como cálcio (Ca) e magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K) e micronutrientes, assim como suas relações, as quais são importantes para avaliar QS entre diferentes sistemas de manejos (ARAÚJO et al., 2012).

Com relação aos indicadores químicos da QS em sistemas de ILP, muitos estudos estão destacando atributos do solo como o carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) (LOSS et al., 2014; SILVA et al., 2014; SOUZA et al., 2009), teores de Ca, Mg, P, K e potencial hidrogeniônico (pH) (LOSS et al., 2011; SALTON et al., 2014).

Adicionalmente, diversos estudos nesta temática, têm abordado as frações da MOS como indicadores químicos da QS (BALDOTTO et al., 2015; GAZOLLA et al., 2015; LOSS et al., 2014; SALTON et al., 2011; SILVA et al., 2011; TIRLONI et al., 2012), em função de que o declínio ou acréscimo de carbono (C) nestas frações permite a mensuração do grau de preservação dos ecossistemas naturais e os possíveis impactos causados em sistemas agrícolas com diferentes tipos de manejo do solo.

2.4.3 Indicadores biológicos da qualidade do solo

Os indicadores biológicos do solo podem ser considerados indicadores de alguns processos que ocorrem no solo em resposta às perturbações antropogênicas, podendo constituir-se importantes variáveis para prever a qualidade dos ecossistemas agrícolas (PÔRTO et al., 2009).

Assim, os indicadores biológicos tornaram-se muito sensíveis às alterações na QS, pois possuem a capacidade de dar respostas muito rápidas a mudanças no solo, característica que nem sempre é observada nos indicadores químicos ou

físicos. Em alguns casos, alterações na população microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo como um todo (ARAÚJO et al., 2007).

Diversos estudos em sistemas de ILP têm apontado a fauna edáfica do solo (macrofauna e mesofauna) (BATISTA et al., 2014; CREPALDI et al., 2014; MARCHÃO et al., 2007; SILVA et al., 2008; ZAGATTO, 2014) como um indicador biológico sensível às alterações de manejo do solo nestes sistemas. Além disso, outras pesquisas em ILP também apontam o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e o quociente metabólico (CARDOSO et al., 2009; CARNEIRO et al., 2013; SOUZA et al., 2010; STIEVEN et al., 2014).

3. CAPÍTULO 1 – QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS FAMILIARES SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO MUNICÍPIO DE ARROIO DO PADRE- RS

3.1 INTRODUÇÃO

O crescente nível de degradação das terras tem promovido a adoção de sistemas de produção mais sustentáveis, os quais buscam aliar a produção agropecuária com a conservação do solo, da água e da biodiversidade. Neste sentido, a utilização de sistemas de produção que propiciem e favoreçam a melhoria e conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é a chave para a qualidade e sustentabilidade ambiental dos agroecossistemas.

Atualmente, são impostos à agricultura desafios como a produção de alimentos em elevada quantidade e qualidade, garantindo segurança alimentar, produção de energia, fibras, madeira e, ainda, auxiliar na mitigação de gases causadores de efeito estufa. O grande desafio tem sido, portanto, a produção de bens que a humanidade demanda de forma crescente, devido ao aumento populacional e de renda per capita, com reduzido impacto ambiental e, ao mesmo tempo, permitir que os agricultores familiares consigam viver com dignidade no meio rural (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Para intensificar esta produção de alimentos, fibras e energia, os sistemas agrícolas são constantemente reformulados para aumentar a eficiência na produção, proteger o meio ambiente e/ou promover a recuperação ambiental. Com a expansão do cultivo da soja, a consequente degradação de largas áreas devido à criação de gado e a baixa produtividade da pecuária (especialmente durante o inverno), sistemas como os que integram a produção de grãos e a produção animal podem ser considerados vantajosos tanto para os agricultores quanto para o meio ambiente (CARVALHO et al., 2010; SULC; TRACY, 2007).

Nesse sentido, uma das alternativas mais apropriadas é a adoção de sistemas integrados de produção como a ILP que alternam na mesma área o cultivo de forrageiras anuais ou perenes, destinadas à produção animal e culturas destinadas à produção vegetal, sobretudo grãos (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). A ILP é um sistema de produção em que vários fatores biológicos, econômicos e sociais se inter-relacionam e determinam a sua sustentabilidade e, nas últimas

décadas, as áreas agrícolas utilizadas com este sistema vêm se tornando mais expressivas no Brasil, em virtude dos inúmeros benefícios que podem ser obtidos com o seu uso (MACEDO, 2009). Nos sistemas de ILP, a manutenção de resíduos culturais na superfície somado à ausência de revolvimento do solo, reduzem a emissão de CO₂, aumentam o estoque de C no solo (GUARESCHI et al., 2012; LOSS et al., 2011) e a diversidade microbiana, além de melhorar a fertilidade e os atributos físicos do solo (SILVA et al., 2011).

Em função da crescente expansão e adoção das tecnologias de ILP ao longo do país, faz-se necessário a avaliação dos impactos causados por este sistema sobre a qualidade ambiental nos diversos biomas brasileiros, em especial no Bioma Pampa. O Bioma Pampa, também conhecido como campos do sul ou campos sulinos, ocupa uma área de 176.496Km², correspondente a cerca de 2% do território nacional, estando presente somente no Rio Grande do Sul e ocupando 63% do território gaúcho, estendendo-se também pelos territórios da Argentina e Uruguai (IBF, 2015). O Pampa se caracteriza por apresentar cobertura vegetal predominante de campos naturais, com matas de galeria e áreas de relevo suave/ ondulado, o clima é úmido ao longo do ano, havendo uma tendência à seca de verão em direção ao interior do estado e as pastagens naturais são apropriadas para criação extensiva de gado (HASENACK, 2007).

Especialmente no Pampa, a ILP é vista como alternativa para aumento da rentabilidade das propriedades agrícolas familiares, as quais muitas vezes têm na cultura de grãos de verão a única fonte de renda anual (CARASSAI et al., 2011). De acordo com Balbino et al. (2011), este sistema vem sendo adotado em todo o país em diferentes combinações nos seus diferentes biomas, sendo que no Pampa, por exemplo, são utilizados aveia-branca, milho, soja e trigo em rotação com pastagens anuais de inverno (aveia-preta, azevém, ervilhaca) e verão (milheto) ou com pastagens perenes compostas por alfafa, festuca ou pensacola consorciadas a trevo-branco, trevo-vermelho e cornichão.

Apesar dos ganhos ambientais já conquistados, e comprovados, obtidos em decorrência da adoção de sistemas integrados de produção, são necessários maiores estudos onde possam ser definidos, de forma integrada, indicadores de ordem física, química e biológica que possam ser utilizados para detectar mudanças na qualidade do solo. Além disso, percebe-se também a necessidade de desenvolver mais pesquisas em agroecossistemas desenvolvidos pelo agricultor

(propriedades agrícolas), visto que a grande maioria dos estudos realizados até agora se desenvolvem em grandes áreas experimentais (MARCHÃO et al., 2007; ORTIGARA et al., 2014; SALTON et al., 2014; STIEVEN et al. 2014).

Levando em consideração a referida carência, o presente estudo visou avaliar a qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares sob sistemas de ILP no Município de Arroio do Padre-RS, determinado indicadores físicos, químicos e biológicos capazes de detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo utilizadas nos sistemas de uso avaliados.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Seleção dos agroecossistemas

O estudo foi desenvolvido em Outubro de 2013 em duas propriedades agrícolas familiares, representativas do Bioma Pampa, sob o sistema de ILP, localizadas no Município de Arroio do Padre-RS. Em cada uma das propriedades foram avaliados três sistemas de uso do solo: campo nativo pastejado (CN), pastagem de azevém (PA) e milho com sucessão de azevém (MI). Neste estudo, o CN foi adotado como sistema de referência.

Para a seleção dos agroecossistemas foram adotados os seguintes critérios: estarem localizados em regiões que fossem representativas do Bioma Pampa; apresentarem as mesmas condições de solo, clima e relevo dentro do Município; apresentarem um sistema de ILP com um tempo uniforme e considerável de implantação (6 a 8 anos); e, principalmente, que as famílias selecionadas estivessem dispostas a participar e contribuir com a referida pesquisa.

3.2.2 Caracterização do local de estudo

3.2.2.1 Clima

O clima da região em estudo de acordo com a classificação climática de Köppen é subtropical úmido do tipo Cfa, caracterizado por temperaturas moderadas, com média de temperatura anual de 17°C a 19°C, verões quentes e ocorrência de geadas no inverno. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e a média anual é de 1400 mm (IBGE, 2006).

3.2.2.2 Solo

O solo das áreas em estudo é um Argissolo (EMBRAPA, 2013) de classe textural Franco-arenosa (Tabela 1).

Tabela 1. Proporções relativas das frações granulométricas e respectiva classe textural no perfil dos solos, nos seus três sistemas de uso das propriedades agrícolas familiares em estudo. Arroio do Padre-RS, 2016.

Sistemas de uso*	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classe textural
0,00-0,05m				
CN	13	23	64	Franco-arenosa
PA	13	21	66	Franco-arenosa
MI	10	22	68	Franco-arenosa
0,05-0,10m				
CN	15	23	62	Franco-arenosa
PA	14	21	65	Franco-arenosa
MI	10	22	68	Franco-arenosa
0,10-0,20m				
CN	20	21	59	Franco-arenosa
PA	17	21	62	Franco-arenosa
MI	10	22	68	Franco-arenosa

*CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho com sucessão de azevém

Nas tabelas 2 e 3 encontram-se apresentadas a caracterização química dos solos nos diferentes sistemas de uso em estudo.

Tabela 2. Valores médios de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efet.) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016.

Sistemas de uso	pH H ₂ O	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³	m -----%	V -----%	MO -----%	P -----mg/dm ³ -----	K -----mg/dm ³ -----	Na -----mg/dm ³ -----	CTC efet.
0,00-0,05m										
CN	5,3	1,8	1,3	9,5	38	3,1	38,5	233,5	36,5	4,45
PA	5,4	2,7	0,9	5,5	49	2,1	74,7	69	15,5	4,15
MI	5,1	1,8	0,6	25,3	29	2,4	9,4	50	12	3,35
0,05-0,10m										
CN	5,2	1,4	0,6	24,6	24	2,1	15,4	135	26,50	3,40
PA	5,4	2,6	0,9	11,1	38	1,2	58,2	41	17,50	3,95
MI	5,1	1,1	0,6	33,3	28	1,3	36,5	41	11,00	2,65
0,10-0,20m										
CN	5,1	1,4	0,6	34,6	19	1,5	13,6	99,5	22,5	3,6
PA	4,9	2,4	0,9	15,3	34	1,0	39,6	37,5	13,5	3,9
MI	5,1	1,1	0,5	37,4	21	1,1	20,1	33,0	9,5	2,4

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

Tabela 3. Valores médios de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre, 2016.

Sistemas de uso	B -----mg/dm ³ -----	Cu -----mg/dm ³ -----	Zn -----mg/dm ³ -----	Mn -----mg/dm ³ -----	Fe g/dm ³
0,00-0,05m					
CN	0,3	1,7	4,9	27,9	1,6
PA	0,4	1,8	6,3	24,7	1,3
MI	0,4	2,0	8,7	32,2	1,5
0,05-0,10m					
CN	0,3	1,6	3,2	15,1	1,2
PA	0,4	2,1	4,5	14,8	1,3
MI	0,4	1,7	4,0	16,5	1,2
0,10-0,20m					
CN	0,4	1,5	2,6	10,8	1,2
PA	0,4	1,6	3,4	9,6	1,2
MI	0,3	2,4	3,8	15,0	1,6

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

3.2.3 Caracterização dos sistemas de uso e manejo em estudo

CN: Este sistema foi adotado como a área de referência, sendo utilizado somente para o pastejo animal com uma taxa de lotação de 3-4 animais por hectare.

PA: A implantação das áreas de pastagem de azevém, nas duas propriedades em estudo, foi realizada em 2007 utilizando-se a cultivar BRS ponteio. Anteriormente à implantação da pastagem, a área era utilizada para o cultivo de tabaco.

A adubação de base utilizada é de 250 Kg de NPK (5-20-20) e duas a três adubações de cobertura com 150 kg de uréia. Como adubação adicional, utiliza-se também esterco de suíno, bovino e cama de frango. A taxa de lotação animal é de 5-7 animais por hectare.

MI: A implantação destas áreas de milho, nas duas propriedades, foi realizada em 2007, utilizando-se a cultivar Santa Helena 1061. A adubação de base utilizada é de 250 Kg de NPK (5-20-20), e duas adubações de cobertura com 150 kg uréia.

No momento da coleta de solo, as áreas se encontravam sob cultivo de azevém BRS ponteio. O pastoreio é feito de julho a setembro com uma taxa de lotação de 5-7 animais por hectare.

3.2.4 Critérios para a definição dos indicadores da qualidade do solo

A escolha dos indicadores avaliados foi definida a partir de uma revisão bibliográfica (ALMEIDA, 2013; CARASSAI et al., 2011; CASALINHO et al., 2007; CRUZ et al., 2012; LIMA et al., 2011; LIMA et al., 2013; LOSS et al., 2011; SOUZA et al., 2010). Adicionalmente, os seguintes critérios de escolha também foram levados em consideração: os mais utilizados pela literatura e reconhecidos cientificamente nesta temática, facilidade de avaliação, capacidade de interação, adequação ao nível de análise da pesquisa, sensibilidade às variações de manejo e clima, possibilidade de medições por métodos quantitativos ou qualitativos, aplicáveis em condições de campo e boa relação custo-benefício para determinação em laboratório.

Em resumo, foram utilizados indicadores da qualidade do solo que integram os efeitos combinados de diversos parâmetros ou processos do solo, os quais devem ser precisos, simples para o uso, sensíveis e terem sentido, ou seja, devem estar associados à função para a qual se pretende usar o solo. Com base nesses critérios, 12 indicadores da qualidade do solo foram selecionados: densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado de agregados, carbono orgânico

total, nitrogênio total, carbono da fração grosseira, carbono da fração pesada, carbono da fração leve livre, carbono da fração leve oclusa, carbono da fração pesada, carbono da biomassa microbiana e respiração basal do solo.

3.2.5 Amostragem de solo

Foram coletadas, nos dois agroecossistemas selecionados, amostras deformadas e indeformadas de solo em cada um dos sistemas de uso, nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Em cada um dos três sistemas de uso foram estabelecidos cinco pontos de coleta nas três profundidades, resultando, desta forma, um total de 180 amostras de solo (90 amostras indeformadas e 90 amostras deformadas). As coletas foram realizadas durante os meses de outubro e novembro de 2013 para a determinação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas com o auxílio de anéis volumétricos de 0,030m por 0,048m, envolvidas em papel alumínio a fim de conservar a umidade e evitar perdas de solo, acondicionadas em sacos de plástico e posteriormente encaminhadas ao laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

As amostras deformadas de solo foram coletadas com o auxílio de pá de corte, acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao mesmo laboratório, onde foram abertas e espalhadas em bandejas de papel para secarem a sombra até atingirem a umidade correspondente ao ponto de friabilidade. Posteriormente, as amostras foram destorroadas manualmente de forma suave para não provocar compactação ou ruptura dos agregados e peneiradas nas malhas de 9,52mm e 2,00mm.

3.2.6 Indicadores físicos da qualidade do solo

3.2.6.1 Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo (D_s) e a porosidade total (P_t) foram determinadas conforme metodologia descrita, respectivamente, em Blake; Hartge (1986) e Embrapa (2011).

3.2.6.2 Agregação do solo

O diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água foram avaliados com auxílio de peneiras com malhas de diferentes diâmetros (9,52, 4,76, 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25mm) conforme a metodologia citada por Palmeira et al. (1999), seguindo o princípio da metodologia descrita por Kemper; Rosenau (1986), que utiliza o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936).

3.2.6.3 Granulometria do solo

A granulometria do solo foi realizada pelo método da pipeta, seguindo o princípio descrito em Embrapa (2011).

3.2.6.4 Fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica

O fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica foi realizado conforme metodologia descrita em Cambardella; Elliott (1992). O material retido na peneira com diâmetro de malha $\geq 0,053\text{mm}$ consistiu no carbono da fração grosseira (CFG), enquanto que o carbono associado aos minerais (CAM) ($<0,053\text{mm}$) foi obtido pela diferença entre o COT e o CFG (Anexo A).

O teor de CFG foi determinado por oxidação a seco em um analisador elementar, sendo os resultados expressos em estoque (Mg ha^{-1}), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

3.2.6.5 Fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica

O fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica foi realizado conforme Golchin et al. (1994) modificado por Conceição et al. (2008), utilizando-se uma solução de politungstato de sódio com densidade de $2,0\text{Mg m}^{-3}$ (Anexo B).

A energia de dispersão por ultra-som foi de 328J mL^{-1} para as amostras das três camadas avaliadas, sendo este o nível de energia para obtenção da máxima dispersão desses solos em partículas primárias (INDA JUNIOR et al., 2007).

Os teores de carbono da fração leve livre (FLL) e da fração leve oclusa (FLO) foram determinados por oxidação a seco em um analisador elementar, sendo os resultados expressos em estoque (Mg ha^{-1}), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

O carbono da fração pesada (FP) foi obtido por diferença entre o COT e o C da FLL + C da FLO.

3.2.7 Indicadores químicos da qualidade do solo

3.2.7.1 Análise química de rotina

Os indicadores químicos do solo determinados foram aqueles utilizados na avaliação de rotina do solo como: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), alguns macronutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), sódio (Na) e Alumínio (Al) e micronutrientes como boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), Zinco (Zn) e cobre (Cu), os quais foram quantificados segundo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Estas análises foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, sendo utilizadas para caracterizar quimicamente o solo em estudo.

3.2.7.2 Carbono orgânico e nitrogênio total

Amostras deformadas de solo peneiradas em malha de 2,00mm foram maceradas em almofariz de ágata e posteriormente os teores de COT e nitrogênio total (NT) foram determinados por oxidação a seco em um analisador elementar CHNS, sendo os resultados expressos em estoque (Mg ha^{-1}), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

3.2.7.3 Índice de manejo de carbono

A partir dos resultados dos estoques de C oriundos dos fracionamentos granulométrico e densimétrico da matéria orgânica, calculou-se o Índice de manejo de carbono (IMC) tendo como referência Blair et al. (1995) e adaptações de Dieckow et al. (2005), considerando o CFG e a FLL como representantes da fração lábil do COT e o CAM e a FP como o representantes da fração não lábil.

Este índice refere-se à medida relativa das alterações provocadas pelo manejo do solo, em comparação a um solo original ou ideal. Neste estudo, como condição original foi utilizado o solo do CN (IMC=100). Para a obtenção do IMC, necessita-se do índice de estoque de carbono (IEC), sendo este calculado a partir da relação entre os estoques de carbono da área cultivada em relação ao estoque

de carbono da área de referência (CN). A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre os estoques de CFG e CAM para o fracionamento granulométrico e pela relação entre os estoques de FLL e FP para o fracionamento densimétrico. O Índice de labilidade (IL) foi calculado pela relação entre a labilidade de cada área e a área de referência. O IMC de cada área foi obtido pela multiplicação entre o IEC e o IL por 100.

3.2.7.4 Fluorescência Induzida por laser

A avaliação do grau de humificação da MOS nas três camadas em estudo foi realizada através da espectroscopia de Fluorescência Induzida à Laser (FIL). O equipamento foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária e possui um laser de diodo (Coherent - CUBE) emitindo em 405nm com potência máxima de 50mW, acoplado a um cabo óptico composto por seis fibras ópticas (Ocean Optics) que excitam a amostra e uma fibra óptica central que coleta o sinal de fluorescência do solo.

Para a realização das medidas de FIL, as amostras de solo inteiro foram peneiradas em malha de 9,52mm, moídas em gral de ágata e colocadas em um porta-amostra com janela de quartzo, onde foram realizadas três medidas por amostra. Estes dados foram utilizados para cálculo do índice de humificação (HFIL). O cálculo deste índice é a razão entre o valor da área sob o espectro de emissão de fluorescência, compreendida entre 450 e 800nm, e o valor do teor de COT presente na amostra (MILORI et al., 2006).

As análises de FIL foram realizadas na Embrapa Instrumentação Agropecuária, localizada em São Carlos-SP.

3.2.8 Indicadores biológicos da qualidade do solo

3.2.8.1 Carbono da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido pelo método da irradiação-extração conforme descrito em Ferreira et al. (1999) e Mendonça; Matos (2005).

3.2.8.2 Respiração basal do solo

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada, conforme orientam Jenkinson; Powlson (1976) e Hungria et al. (2009).

3.2.9 Análises estatísticas

A avaliação estatística dos indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo foi feita a partir de Análise Multivariada Fatorial. Considerando a Análise de Componentes Principais como método de extração, buscou-se descrever a variabilidade do vetor aleatório de variáveis em termos de fatores não observáveis, mas relacionados com as variáveis originais através de um modelo linear. Os fatores obtidos representam o agrupamento dessas variáveis em subconjuntos de novas variáveis não correlacionadas entre si, a ponto de se obter, sempre, um número menor de fatores. Também utilizou-se o método ortogonal de fatores Varimax para garantir a ortogonalidade dos mesmos. Estabeleceu-se o valor de 0,6 para cargas fatoriais significativas, sendo as análises estatísticas dos dados realizadas com o auxílio do *software* Minitab 14.0.

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) calculado pelo mesmo *software*. As correlações podem ser enquadradas como muito fraca (0 a 0,3); fraca (0,3 a 0,5); moderada (0,5 a 0,7); forte (0,7 a 0,9) e muito forte (0,9 a 1) conforme Luz et al. (2015). Adicionalmente, para verificar como os indicadores analisados se comportariam individualmente nos três sistemas de uso do solo, os resultados foram submetidos individualmente à análise de variância (ANOVA) e, quando houve um valor de F significativo ($\alpha = 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

✓ ANÁLISE MULTIVARIADA

Por meio da Análise Multivariada Fatorial definiram-se os fatores que explicaram a variabilidade dos dados e a correlação entre as variáveis do solo estudadas nos três sistemas de uso. Com os resultados da Análise Fatorial verificou-se que as proporções da variação total do solo obtida pelos três primeiros fatores foram de 66,1%, 52,7% e de 56,5% para as camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m, respectivamente. Na camada de 0,00-0,05m a variabilidade do fator 1 (42%) deve-se a contribuição dos indicadores COT, NT, CFG, FLL, FP, RBS e CBM enquanto que os 13,7% da variação total atribuída ao fator 2 se dá em razão da Ds e Pt e os 10,4% do fator 3 atribuída somente à FLO (Tabela 4).

Na camada de 0,05-0,10m a variabilidade do fator 1 (33%) deve-se ao COT, NT, CFG, CAM e FP, sendo a variabilidade do fator 2 (10,6%) atribuída ao CBM e a do fator 3 (9,1%) atribuída à Ds. Na camada de 0,10-0,20m a variabilidade do fator 1 (37,6%) é atribuída ao COT, NT, CAM, FLO, FP e CBM enquanto que os 9,6% do fator 2 e os 9,3 % do fator 3, são atribuídos, respectivamente ao CFG e DMP (Tabela 4).

Tabela 4. Cargas fatoriais das variáveis físicas, químicas e biológicas após a rotação Varimax de um Argissolo sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre, 2016.

	0,00-0,05m			0,05-0,10m			0,10-0,20m		
Variável*	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Ds	-0,218	0,822	-0,124	0,011	-0,102	-0,966	-0,181	0,143	-0,118
Pt	-0,102	-0,935	-0,152	0,048	0,180	0,022	-0,017	-0,146	-0,062
DMP	0,242	0,195	0,063	-0,116	0,166	0,033	0,166	0,099	0,968
COT	0,922	-0,026	-0,198	0,867	0,281	-0,022	0,961	0,187	0,075
NT	0,922	-0,056	-0,143	0,678	0,228	0,111	0,704	-0,109	0,171
CFG	0,958	0,003	-0,086	0,607	0,520	0,146	0,109	0,937	0,113
CAM	0,198	-0,072	-0,304	0,872	0,086	-0,121	0,944	-0,241	0,025
FLL	0,916	-0,073	-0,125	0,589	-0,004	0,170	0,159	0,164	0,054
FLO	0,188	-0,051	-0,947	0,500	0,162	-0,192	0,888	0,192	-0,001
FP	0,777	0,079	0,341	0,953	0,140	0,022	0,797	0,113	0,197
RBS	0,631	-0,141	-0,005	-0,131	0,056	0,181	0,048	0,142	-0,078
CBM	0,622	-0,092	0,132	0,300	0,866	0,118	0,826	0,145	0,258
Variância	5,036	1,638	1,2486	3,965	1,277	1,096	4,5175	1,152	1,117
%Var	42,0	13,7	10,4	33,0	10,6	9,1	37,6	9,6	9,3

*Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado de agregados; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

F1= Fator 1; F2= Fator 2 e F3= Fator 3.

Todas as variáveis anteriormente citadas explicam a maior porcentagem de variação e são as que mais refletem as alterações das características do solo em função do manejo. As variáveis que apresentaram cargas fatoriais abaixo de 0,6 são

aquelas que retêm pequena parte da variação total, o que demonstra que as demais variáveis não citadas contribuem em menor proporção para discriminar o uso do solo (PRAGANA et al., 2012).

Após avaliar a distribuição e a importância de cada variável em cada um dos três fatores obtidos foi possível identificar e nomear os fatores em cada uma das camadas estudadas. Em todas as camadas avaliadas o fator 1 foi denominado de “Fator Matéria Orgânica”, entretanto os fatores 2 e 3 receberam denominações diferentes para cada camada. Na camada de 0,00-0,05m, o fator 2 foi denominado “Fator Estrutura” e o fator 3 “Fator Fração Leve Oclusa”. Na camada de 0,05-0,10m o fator 2 foi chamado de “Fator Carbono Microbiano” e o fator 3 “Fator Compactação”. E, na camada de 0,10-0,20m o fator 2 foi chamado de “Fator Carbono da Fração Grosseira” e o fator 3 “Fator Agregação”.

Tendo como base a Análise Fatorial, espera-se que as variáveis que apresentam maiores cargas fatoriais estejam mais correlacionadas entre si. Este resultado pode ser constatado na Figura 1, onde é possível observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, NT, CFG, FLL e FP, correlação moderada positiva entre o CBM e RBS e correlação fraca positiva entre os indicadores FLO, CAM e DMP. Os indicadores Ds e Pt não apresentam correlação com os indicadores anteriormente citados no primeiro fator, entretanto, no segundo fator eles apresentam correlação inversamente proporcional.

De acordo com Dias et al. (2007) o carbono e o nitrogênio são os principais componentes da MOS, estando, dessa forma, estreitamente associados. Esta afirmação confirma a alta correlação entre os teores totais destes elementos e suas frações particuladas observadas neste estudo.

Conte et al. (2007), avaliando a demanda de tração em haste sulcadora na ILP com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação de um Latossolo Vermelho no Município de Tupanciretã-RS, verificaram que a Pt é inversamente proporcional à Ds, ou seja, o aumento da densidade provoca a redução do espaço de poros do solo. Adicionalmente, Schiavo et al. (2012), avaliando a agregação, resistência do solo à penetração e carbono orgânico total de um Latossolo Vermelho argiloso da região de Cerrado sob sistema de ILP também encontraram correlação negativa significativa entre as variáveis Ds e Pt.

Para efeito de visualização e análise gráfica, foram apresentados os resultados dos dois primeiros fatores nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, visto que estes

são os que mais contribuem para a variação total dos dados. Para a camada de 0,00-0,05m, analisando as Figuras 1 e 2 simultaneamente, pode-se constatar que as variáveis do “Fator Matéria Orgânica” estão mais associadas ao CN e as variáveis FLO, CAM e DMP ao sistema PA. Já para as variáveis do segundo fator, a Pt pode ser associada ao MI e a Ds está relacionada com todos os sistemas de uso.

As variáveis do “Fator Matéria Orgânica” podem estar mais associadas ao campo nativo em virtude da ausência de interferência antrópica, pela maior diversidade e quantidade de vegetação presente nesta área, o que favorece a entrada constante de carbono jovem via espécies nativas, determinando um maior aporte de resíduos culturais e contribuindo, desta forma para o aumento dos teores de carbono, nitrogênio e de suas frações lábeis neste sistema.

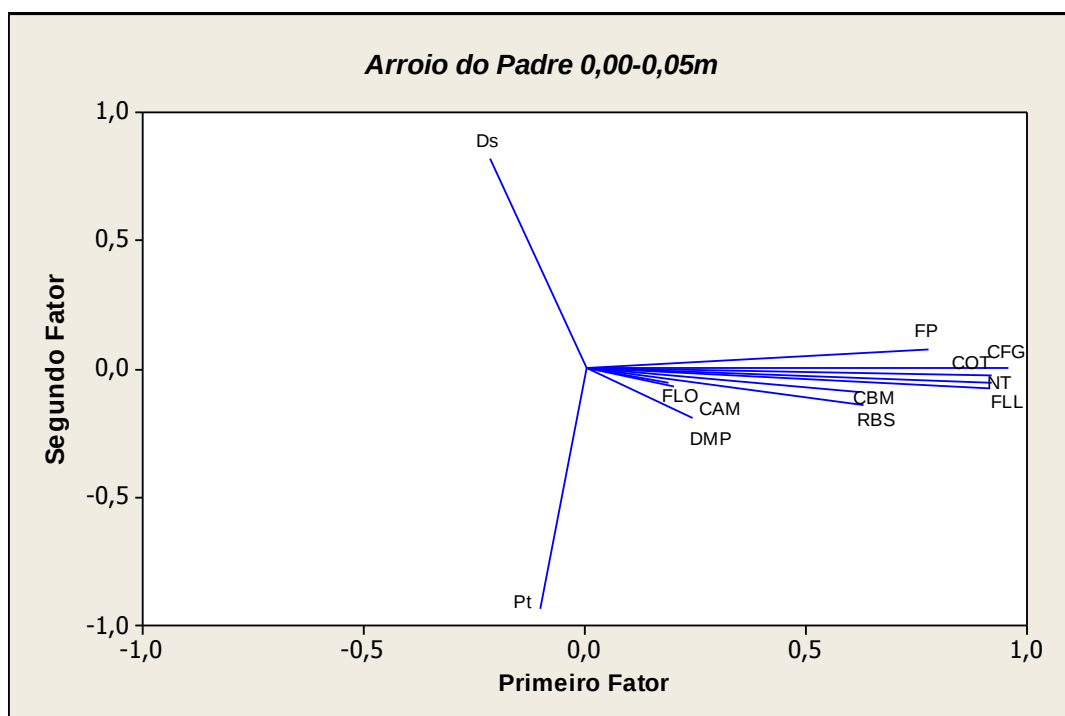


Figura 1. Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,00-0,05m.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

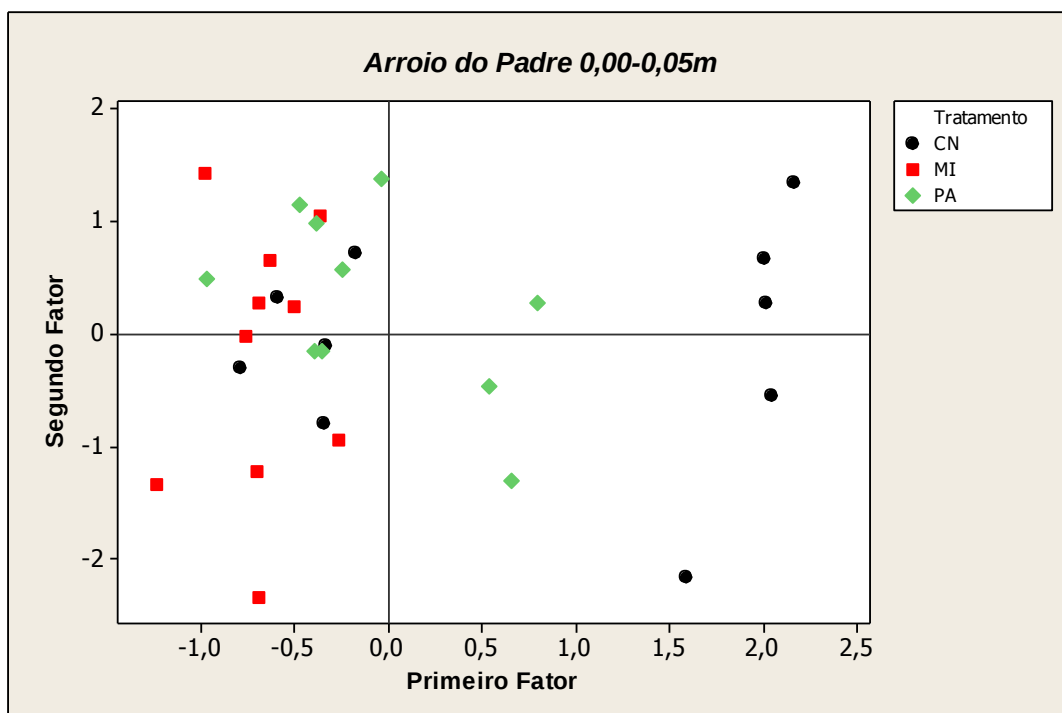


Figura 2. Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,00-0,05m.

Na camada de 0,00-0,05m, 18 coeficientes de correlação (27,27% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 5). Assim como foi visualizado na Figura 1, podemos constatar na Tabela 5, qual a grandeza das correlações entre os indicadores acima citados. Dentre as correlações obtidas pode-se destacar algumas significativas como: a correlação negativa entre os indicadores Ds e Pt (-0,62) e as correlações positivas entre COT x NT (0,94), COT x CFG (0,92), COT x FLL (0,95), COT x FP (0,76), NT x FLL (0,93), NT x CFG (0,88) e CFG x FLL (0,87).

Lima et al. (2013) estudando a importância dos atributos físicos de um Latossolo Amarelo cultivado com milho na identificação da compactação, verificaram uma correlação inversamente proporcional entre Pt e Ds, caracterizando zonas mais densas, portanto mais compactadas. Da mesma forma, Pereira et al. (2010) ao estudarem por componentes principais, atributos físicos de um Latossolo vermelho sob pastagem e mata, verificaram alta correlação negativa entre Ds e Pt, denominando este efeito de degradação estrutural do solo, bem como os primeiros indícios de compactação.

Tabela 5. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,00-0,05m. Arroio do Padre-RS, 2016.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
Ds	1											
Pt	-0,62*	1										
DMP	-0,34	0,28	1									
COT	-0,22	0,01	0,41	1								
NT	-0,26	0,03	0,50*	0,94*	1							
CFG	-0,29	-0,13	0,23	0,92*	0,88*	1						
CAM	0,08	0,31	0,52*	0,48	0,42	0,09	1					
FLL	-0,27	0,04	0,44*	0,95*	0,93*	0,87*	0,47	1				
FLO	0,09	0,22	0,00	0,40	0,33	0,22	0,52*	0,34	1			
FP	-0,17	-0,17	0,30	0,76*	0,70*	0,79*	0,18	0,67*	-0,17	1		
RBS	-0,46	0,03	0,34	0,72*	0,66*	0,76*	0,13	0,68*	0,11	0,71*	1	
CBM	-0,35	0,05	0,57*	0,75*	0,65*	0,70*	0,37	0,72*	0,00	0,79*	0,75*	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

Ainda na camada de 0,00-0,05m, levando em consideração a visualização da Figura 1, onde verificou-se correlação moderada entre o DMP, CAM e FLO, vale a pena ressaltar que dentre estes indicadores, obteve-se uma correlação positiva significativa entre o DMP x CAM ($r=0,52$). Este resultado mostra que 52% da variação do DMP se correlaciona positivamente com a variação do CAM, o que pode indicar que boa parte da estabilidade dos agregados do solo nos sistemas de ILP deve-se à MO mais estabilizada (associada aos minerais).

De acordo com a Figura 3, observou-se no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, CAM e FP; correlação moderada positiva entre o CFG, FLO, NT e FLL e correlação muito fraca entre CBM e Pt. Ainda neste fator, os indicadores Ds e Pt apresentam correlação inversamente proporcional. Os indicadores DMP e RBS não apresentam correlação com os indicadores do fator 1, entretanto possuem correlação muito fraca no segundo fator.

Para a camada de 0,05-0,10m, analisando simultaneamente as Figuras 3 e 4, assim como foi constatado na camada anterior, podemos verificar novamente que as variáveis do “Fator Matéria Orgânica” estão mais associadas ao CN. As variáveis do “Fator Compactação” e “Fator Carbono Microbiano” estão relacionadas à PA. Entretanto, as variáveis do segundo fator (DMP e RBS) podem ser associadas tanto para o CN quanto para o MI.

Os resultados deste estudo corroboram com os obtidos por Lanza et al. (2007), que ao avaliarem pastagem composta de aveia preta e azevém em Jari-RS, observaram que através da Ds foi possível constatar em curto espaço de tempo a compactação do solo nas camadas superficiais.

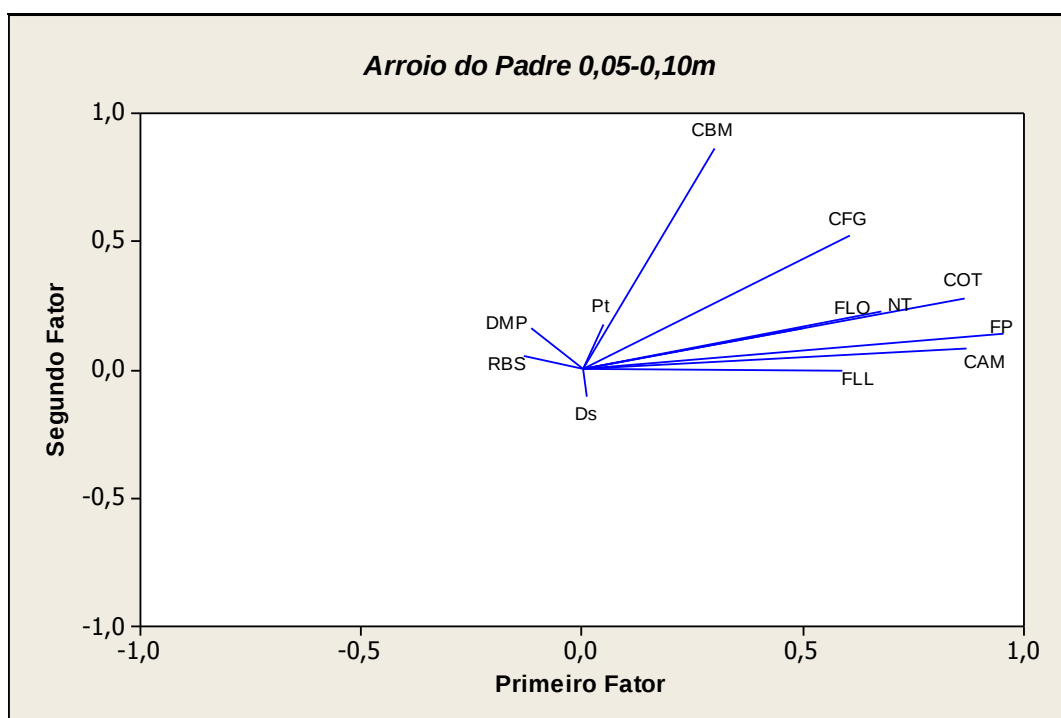


Figura 3. Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,05-0,10m.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

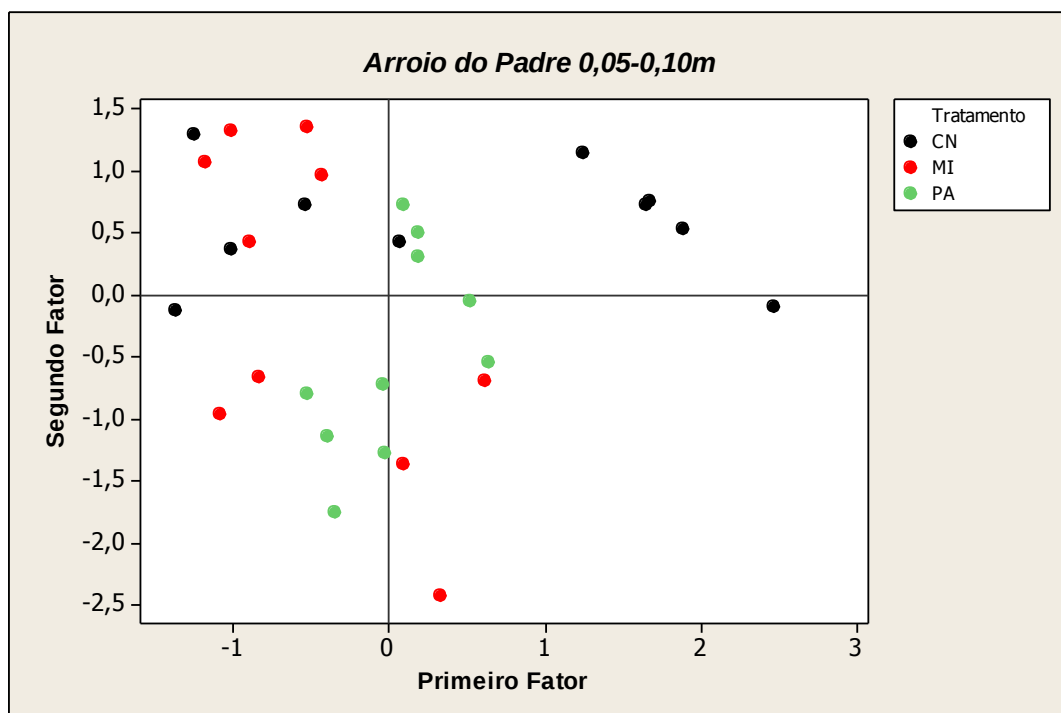


Figura 4. Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,05-0,10m.

Da mesma forma, Cardoso et al. (2009) constataram que os teores de carbono microbiano foram significativamente alterados pelo pastejo contínuo da pastagem nativa, reduzindo 51% do carbono microbiano neste sistema em comparação à pastagem nativa sem pastejo. Contudo, a biomassa microbiana responde intensamente às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008), sendo um adequado indicador da qualidade do solo em áreas cultivadas com pastagens.

Na camada de 0,05-0,10m, apenas 14 coeficientes de correlação (21,21% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 6). Assim como foi visualizado na Figura 3, na Tabela 5 podemos destacar algumas correlações positivas significativas entre COT x CAM (0,94), COT x FP (0,89) e CAM x FP (0,83).

Tabela 6. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,05-0,10m. Arroio do Padre-RS, 2016.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
Ds	1											
Pt	-0,07	1										
DMP	-0,09	0,01	1									
COT	0,03	0,08	-0,11	1								
NT	-0,12	0,05	-0,09	0,78*	1							
CFG	-0,20	0,22	0,21	0,81*	0,65*	1						
CAM	0,16	-0,01	-0,28	0,94*	0,73*	0,56*	1					
FLL	-0,18	-0,20	-0,06	0,75*	0,71*	0,55*	0,73*	1				
FLO	0,25	0,08	-0,17	0,76*	0,46	0,57*	0,74*	0,49*	1			
FP	-0,01	0,21	-0,14	0,89*	0,75*	0,72*	0,83*	0,56*	0,56*	1		
RBS	-0,35	0,15	-0,00	-0,17	-0,28	-0,02	-0,23	-0,18	-0,02	-0,17	1	
CBM	-0,22	0,44	0,32	0,52*	0,44	0,75*	0,29	0,16	0,35	0,45	0,13	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

Analisando a figura 5, pode-se observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, FLO, CBM, FP, NT e CAM; correlação fraca positiva entre RBS, FLL e DMP. Ainda neste fator, o indicador CFG apresenta correlação inversamente proporcional com a Ds e a Pt. Os indicadores Ds e Pt não apresentam correlação com os indicadores do fator 1, entretanto possuem correlação inversamente proporcional muito fraca no segundo fator.

Para a camada de 0,10-0,20m, analisando simultaneamente as Figuras 5 e 6, constata-se novamente que a maior parte das variáveis do “Fator Matéria Orgânica” estão mais associadas ao CN; As variáveis RBS, FLL e as do “Fator Carbono da Fração Grosseira” e “Fator Agregação” aos sistemas MI e PA. Entretanto, as variáveis do segundo fator (Ds e Pt) podem ser relacionadas aos três sistemas de uso do solo.

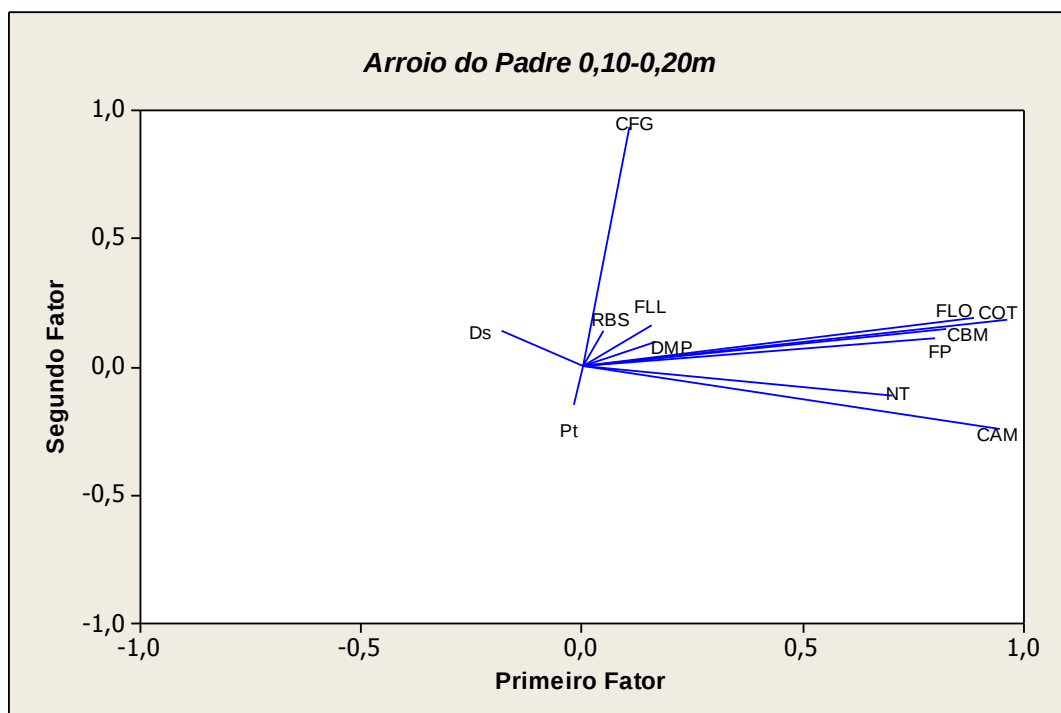


Figura 5. Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,10-0,20m.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

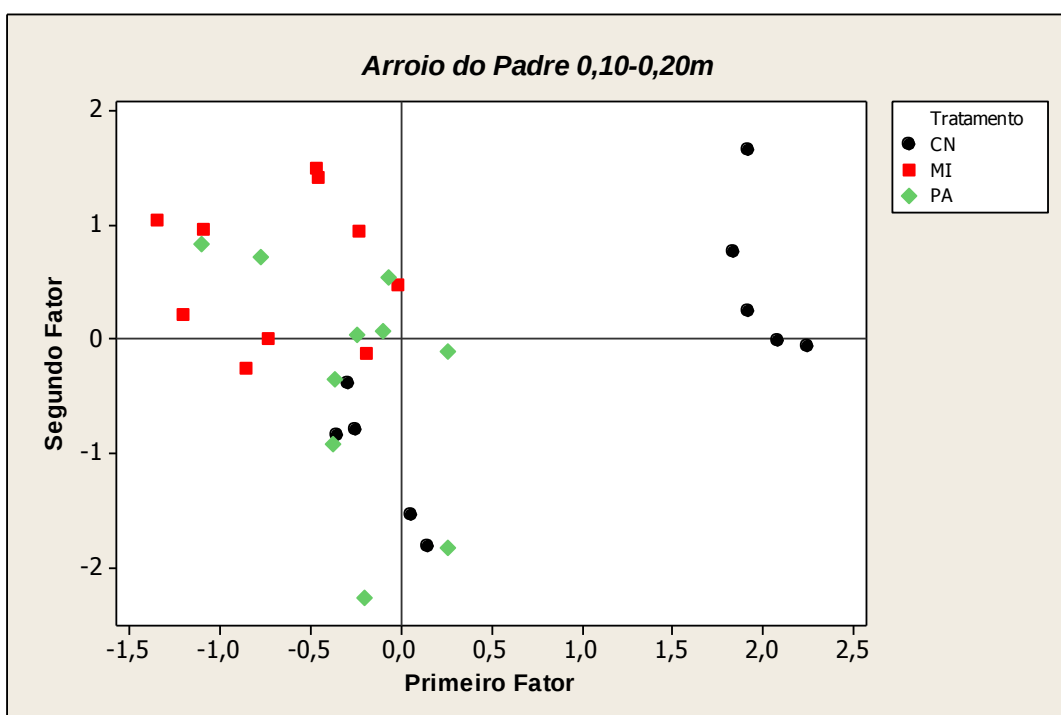


Figura 6. Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,10-0,20m.

Na Tabela 7, apenas 11 coeficientes de correlação (16,67% do total) foram superiores a 0,7. Dentre as correlações obtidas destacam-se algumas significativas como: as correlações positivas entre o CBM com COT, CAM, FLO e FP ($r=0,85$; $0,75$; $0,76$ e $0,79$ respectivamente). Resultados semelhantes foram obtidos por Rangel; Silva (2007) que ao avaliarem os estoques de carbono, nitrogênio e das frações orgânicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo do solo encontraram correlação de $0,95$ entre CBM x COT e $0,93$ entre CBM x FP.

Tabela 7. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,10-0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
Ds	1											
Pt	-0,48	1										
DMP	-0,23	-0,08	1									
COT	-0,26	-0,06	0,27	1								
NT	-0,40	-0,25	0,31	0,73*	1							
CFG	0,26	-0,37*	0,21	0,30	-0,03	1						
CAM	-0,39	0,11	0,18	0,90*	0,77*	0,16	1					
FLL	-0,18	-0,17	0,15	0,31	0,36	0,36	0,16	1				
FLO	-0,02	-0,25	0,15	0,88*	0,62*	0,35	0,75*	0,36	1			
FP	-0,26	0,05	0,36	0,84*	0,61*	0,19	0,78*	0,07	0,55*	1		
RBS	0,19	-0,48	-0,11	0,09	0,02	0,33	-0,06	0,24	0,27	-0,03	1	
CBM	-0,23	-0,05	0,42	0,85*	0,68*	0,29	0,75*	0,28	0,76*	0,79*	0,14	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

*Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

✓ ANÁLISE UNIVARIADA

Na camada de 0,00-0,05m, não foram verificadas diferenças estatísticas para os valores de Ds. Entretanto, na camada de 0,05-0,10m, os maiores valores de Ds foram encontrados no sistema PA (Tabela 8). Reinert et al. (2008) e Reichert et al. (2009) propuseram valores de Ds críticos para algumas classes texturais: 1,30 a

1,40g cm⁻³ para solos argilosos; 1,40 a 1,50g cm⁻³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80g cm⁻³ para os franco-arenosos. Portanto, de acordo com a pesquisa desenvolvida por estes autores e considerando a classe textural do solo nos sistemas de uso em estudo (Tabela 1), os valores de Ds observados neste estudo não são considerados críticos para as três camadas avaliadas.

Tabela 8. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) de um Argissolo sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária. Arroio do Padre-RS, 2016.

Sistemas de uso*	Ds	Pt	DMP
	0,00-0,05m		
CN	1,41 ^{ns}	38,88 ^{ns}	3,28a
PA	1,52	37,61	2,20b
MI	1,42	39,61	3,14a
	0,05-0,10m		
CN	1,49b	35,90 ^{ns}	2,40a
PA	1,55a	35,60	1,71b
MI	1,48b	35,47	2,93a
	0,10-0,20m		
CN	1,43b	36,99 ^{ns}	1,88a
PA	1,52ab	36,02	1,11b
MI	1,55a	35,41	1,69a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

Em todas as camadas avaliadas não foram verificadas diferenças significativas para os valores de Pt (Tabela 8). Resultados semelhantes aos deste estudo foram observados por Conte et al. (2011) que ao avaliarem a evolução de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob sistema de ILP, localizado em São Miguel das Missões-RS, também não observaram alterações significativas na Pt.

As alterações na Ds e na Pt observadas em sistemas de ILP (FLORES et al., 2007; SPERA et al., 2009) são geralmente de pequena magnitude e não atingem níveis críticos ao crescimento das raízes das plantas cultivadas, pois a pressão

aplicada pelas patas dos animais não é superior à resistência do solo à deformação plástica (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996), o que permite que o solo recupere a sua estrutura (CONTE et al., 2011).

Em todas as camadas avaliadas os menores valores de DMP foram observados no sistema PA (Tabela 8). Este resultado pode estar associado à matriz arenosa do solo e em decorrência da utilização desta área para o cultivo do tabaco por um longo período. Além disso, em todas as camadas avaliadas a pastagem foi o sistema de uso que apresentou os menores percentuais de MOS (Tabela 2), fato que também pode ter colaborado para o menor estado de agregação do solo neste sistema. Assim como neste estudo, Wendling et al. (2012) avaliando a agregação do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto também verificaram valores baixos de DMP na pastagem quando comparada às demais.

Diferentemente aos resultados deste estudo, Costa Junior et al. (2012) avaliando a agregação de um Latossolo Vermelho sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado, observaram que a pastagem apresentou resultados semelhantes de DMP aos encontrados no solo sob vegetação nativa, evidenciando a capacidade das pastagens de manter e promover a agregação do solo. Da mesma forma, Loss et al. (2014) ao avaliarem atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem nativa e silvipastoril observaram maiores valores de DMP nas áreas de pastagem e silvipastoril em todas as profundidades avaliadas.

Segundo Kiehl (1979), solos com DMP inferior a 0,5 mm são solos pouco agregados. Com base nesta informação, o solo das áreas em estudo, no entanto, apresenta adequada agregação.

Na tabela 9 estão apresentados os resultados referentes aos estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação carbono/nitrogênio (C/N), carbono da fração grosseira (CFG), carbono associado aos minerais (CAM), carbono da fração leve-livre (FLL), carbono da fração leve-oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP).

Na camada de 0,00-0,05m, os maiores estoques de COT, NT, CFG e FLL foram observados no CN (Tabela 9). Possivelmente, essa superioridade deve-se à diversidade e quantidade de vegetação presente nesta área, os quais proporcionam maior aporte de biomassa à superfície do solo (SILVA et al., 2008) e também à ausência de revolvimento do solo neste sistema.

Tabela 9. Estoques (Mg ha^{-1}) de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação carbono/nitrogênio (C/N), carbono da fração grosseira (CFG), carbono associado aos minerais (CAM), carbono da fração leve-livre (FLL), carbono da fração leve-oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016.

Trat.	COT	NT	C/N	CFG	CAM	FLL	FLO	FP
0,00-0,05m								
CN	14,38a	1,18a	12,19	7,48a	6,91 ^{ns}	3,51a	2,20a	8,65 ^{ns}
PA	11,81b	0,85b	13,89	5,54b	6,23	1,77b	2,08ab	7,98
MI	10,84b	0,77b	14,08	4,43b	6,40	1,46b	1,46b	7,72
0,05-0,10m								
CN	11,53a	0,89a	12,96	4,83a	6,70a	0,86 ^{ns}	1,85a	8,81a
PA	10,33b	0,60b	17,22	3,85b	6,49a	0,57	1,95a	8,22ab
MI	9,34b	0,53b	17,62	4,08b	5,27b	0,54	1,06b	7,77b
0,10-0,20m								
CN	21,80a	1,54a	14,16	7,55 ^{ns}	14,24a	0,74 ^{ns}	3,10a	17,91a
PA	18,42b	1,09b	16,90	7,30	11,11b	0,61	2,12ab	15,62b
MI	18,10b	1,01b	17,92	8,32	9,78b	0,64	1,63b	15,82b

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém.

Resultados semelhantes a este estudo foram encontrados por Gazolla et al. (2015), que ao avaliarem as frações físicas da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho sob pastagem, sistema de plantio direto, sistema de Integração lavoura-pecuária e uma área de vegetação nativa constataram maiores teores de COT e de

CFG em área de vegetação nativa quando comparado às demais em todas as camadas estudadas.

Ainda nesta camada, não foram verificadas diferenças significativas para os estoques de CAM e FP. Entretanto, para a variável FLO, os estoques no CN foram superiores ao MI, não diferindo da PA (Tabela 9).

Na camada de 0,05-0,10m os estoques de COT e FP foram superiores no CN, seguido da área de MI, não diferindo da PA (Tabela 9). Para os estoques de NT e CFG, os maiores valores foram observados no CN. Os menores estoques de CAM e FLO foram constatados na área de milho.

Na camada de 0,10-0,20m os maiores estoques de COT, NT, CAM e FP foram observados no CN. Não foram verificadas diferenças significativas para os estoques de CFG e FLL nesta camada. É desejável que o solo apresente quantidade adequada de CFG e de FLL, pois, assim, garante-se o fluxo de carbono para o solo e a manutenção da atividade biológica. Caso o solo não disponha de matéria orgânica lábil em quantidade suficiente para suprir suas necessidades, os processos de oxidação da MOS resultarão em redução do estoque de carbono, o que dá início ao processo de perda de qualidade e degradação do solo (CAUSARANO et al., 2008; SALTON et al., 2011).

O CFG é composto principalmente por resíduos culturais em vários estágios de decomposição e, geralmente, apresenta-se em menor proporção em relação ao CAM, contribuindo com cerca de 3-20% do COT do solo inteiro. No entanto, pode haver um aumento nos estoques desta fração em sistemas com menor revolvimento do solo e condições climáticas menos favoráveis à decomposição (SILVA; MENDONÇA, 2007). Adicionalmente, solos com teores de argila mais baixos tendem a apresentar menor capacidade de proteção químico-coloidal (mecanismo de interação) à MOS, o que relativamente amplia a percentagem de carbono orgânico nas frações mais lábeis (SANTOS, 2011). Esse fato pode ser verificado na camada superficial (0,00-0,05m) do CN, onde o CFG representou 52% do COT (Figura 7).

Neste estudo, as proporções de CFG em relação ao COT variaram de 35 a 52% (Figura 7). De acordo com Galdos et al. (2009) as diferenças observadas nesta proporção nos diversos estudos realizados pode estar associada ao tipo de solo, às condições climáticas e à qualidade e magnitude do aporte de resíduos culturais, bem como a intensidade do revolvimento do solo.

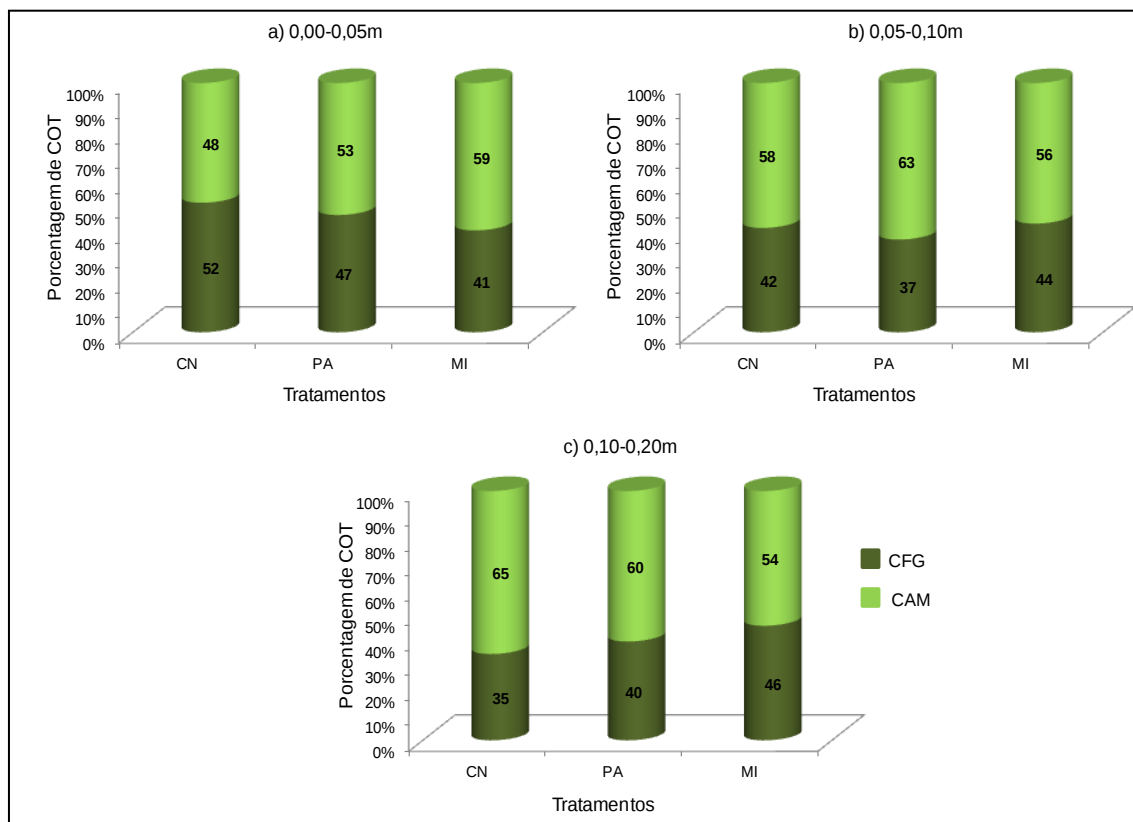


Figura 7. Proporção de carbono da fração grosseira (CFG) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.

O solo em estudo, nos diferentes sistemas de produção, apresenta em média cerca de 15% de argila para a camada 0,00-0,20m, valor que indica baixa associação com a MOS. De acordo com Carmo et al. (2012), solos com maior conteúdo de argila têm maior poder de conservação e estabilização da MOS. Neste estudo, mesmo com o baixo percentual de argila, com exceção do CN na camada de 0,00-0,05m, a maior parte do COT está ligada aos minerais, com valores que correspondem entre 53% a 65% (Figura 7). Esse fato pode estar associado ao avançado estágio de humificação da MOS nesta fração, que se torna altamente estável frente às alterações promovidas pelo uso e manejo do solo (BAYER, 1996).

Em todas as camadas avaliadas, as maiores relações C/N foram constatadas no sistema de uso MI (Tabela 9). Este resultado pode estar relacionado à qualidade do material vegetal adicionado por esta cultura no solo. A utilização de espécies que apresentam uma maior relação C/N favorece a proteção do solo por um maior período de tempo, em função da menor velocidade de decomposição. Entretanto, o período de imobilização do nitrogênio do solo pelos microrganismos é maior, o que

pode prejudicar o desenvolvimento e produtividade da cultura implantada em sucessão por deficiência de nitrogênio (AGOSTINETTO et al., 2000).

Observando as proporções de cada fração densimétrica (Figura 8) é possível inferir sobre a magnitude dos mecanismos e estabilidade da MOS. Nos sistemas CN e MI, na camada superficial (0,00-0,05m), as maiores proporções de COT decresceram na ordem FP>FLL>FLO. Este resultado indica que o mecanismo de recalcitrância molecular da MOS e a interação do material orgânico com os minerais do solo tem importância diante da estabilidade decorrente da oclusão em agregados (FLO: 15% e FLO: 13%, respectivamente).

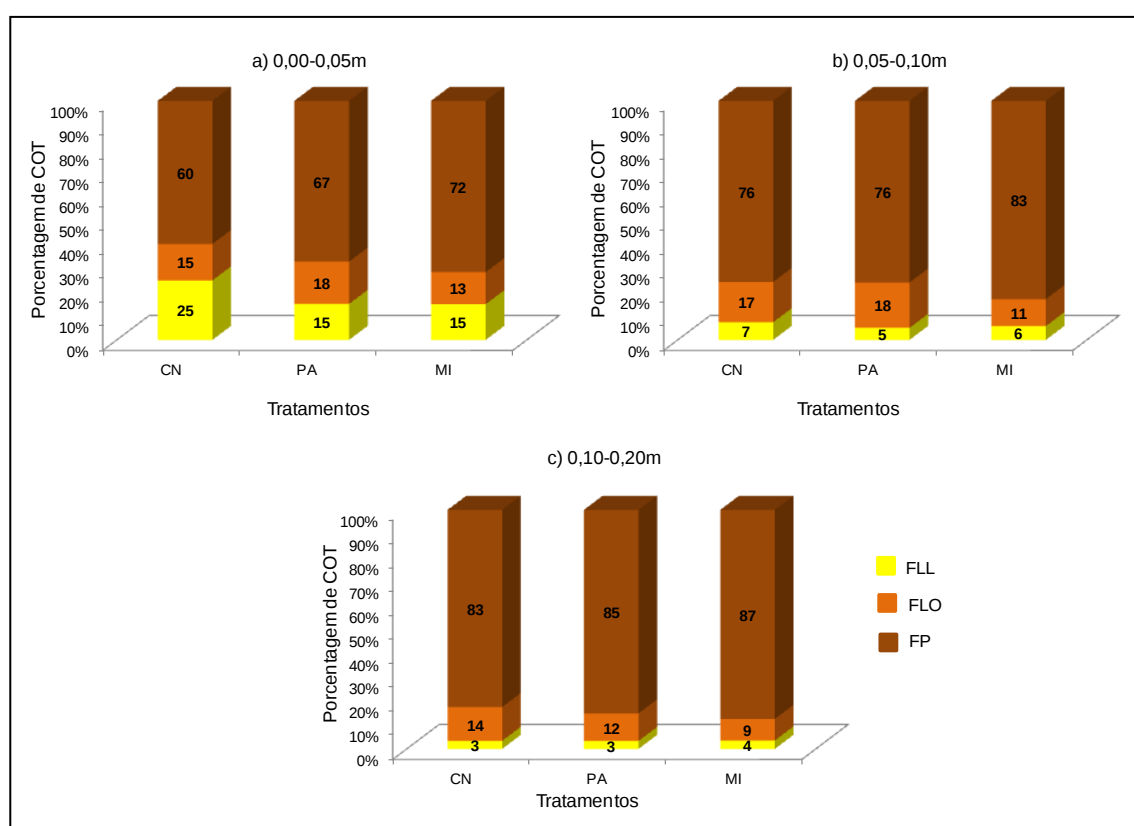


Figura 8. Proporção de carbono da fração leve livre (FLL), carbono da fração leve oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre - RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.

No entanto, para a PA na camada de 0,00-0,05m, as proporções das frações físicas da MOS em relação ao COT decresceram na ordem FP>FLO>FLL (Figura 8). Independente do sistema de uso do solo, em todas as camadas avaliadas as maiores proporções de COT encontram-se na FP. Este resultado é justificável, pois a FP é a fração mais estável da MOS, pois nela atuam os três mecanismos de

proteção (recalcitrância molecular, proteção física e proteção química ou coloidal) (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Neste estudo, as proporções de FLL em relação ao COT variam de 3 a 25% (Figura 8). Conceição et al. (2008) avaliando um Latossolo sob plantio direto, convencional e pastagem verificaram que a FLL representou em média 8% do estoque do COT dos sistemas avaliados. Desta forma, os mesmos autores indicaram que o mecanismo de recalcitrância molecular da MO presente na FLL tem importância limitada diante da estabilidade decorrente da proteção física da MO em agregados (FLO) e da sua interação com os minerais do solo (FP).

As menores proporções da FP nas camadas avaliadas foram verificadas sob o CN (Figura 8), explicado pelo maior acúmulo de MO nas frações mais lábeis (FLL e FLO) em sistemas não antropizados.

Na tabela 10 estão apresentados os resultados referentes ao Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC). Os maiores índices de estoque de carbono (IEC) nas três camadas avaliadas foram obtidos no CN, seguindo similarmente a tendência dos resultados de COT.

Ao aportarem diferentes quantidades de C ao solo, os sistemas de manejo alteram a L da MOS, ou seja, a proporção de matéria orgânica lábil em relação à não lábil. Neste estudo, na camada de 0,00-0,05m para a L obtida pelas frações granulométricas, o CN foi superior à área de MI não diferindo da PA. Este resultado pode ser justificado em função do menor aporte de resíduos vegetais na superfície do solo nas áreas cultivadas com milho em comparação ao CN.

Na camada de 0,05-0,10m, o menor valor de L foi observado na PA, entretanto, na camada de 0,10-0,20m, os maiores valores de L foram constatados no CN.

Com relação ao IMC obtido por meio do fracionamento granulométrico, nas camadas de 0,00-0,05m e de 0,05-0,10m os maiores valores foram constatados no CN. Entretanto, na camada de 0,10-0,20m o maior IMC foi obtido na área de MI. Gazolla et al. (2015) avaliando o IMC de um Latossolo Vermelho sob pastagem, plantio direto, integração lavoura-pecuária verificaram maiores valores deste índice nas áreas sob plantio direto e sob integração lavoura-pecuária em comparação à pastagem, atribuindo esse resultado a rotação de culturas e maior aporte de resíduos vegetais depositados ao solo nestes dois sistemas.

Schiavo et al. (2011) avaliando o índice de manejo de carbono de um Latossolo Vermelho sob milho, braquiária (*Urochloa decumbens*), capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) e cerrado nativo verificaram que o maior IMC do solo nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m ocorreu na área de braquiária.

Tabela 10. Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) de um Argissolo nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m. Arroio do Padre-RS, 2016.

Sistemas de uso *	Frac.granulométrico				Frac. Densimétrico		
	IEC	L	IL	IMC	L	IL	IMC
0,00-0,05m							
CN	1,00a	1,09a	1,00a	100,00a	0,39a	1,00a	100,00a
PA	0,82b	0,96ab	0,83b	66,84b	0,22b	0,57b	50,54b
MI	0,75b	0,72b	0,65c	48,85c	0,21b	0,55b	41,00b
0,05-0,10m							
CN	1,00a	0,74a	1,00a	100,00a	0,09 ^{ns}	1,00 ^{ns}	100,00a
PA	0,90b	0,60c	0,81b	72,20c	0,07	0,75	66,79b
MI	0,80c	0,78a	1,06a	85,61b	0,07	0,74	59,87b
0,10- 0,20m							
CN	1,00a	0,85a	1,00c	100,00b	0,04 ^{ns}	1,00 ^{ns}	100,00 ^{ns}
PA	0,84b	0,67b	1,26b	106,30b	0,04	0,96	80,55
MI	0,83b	0,53b	1,59a	132,51a	0,04	0,98	81,45

Médias seguidas da mesma letra na coluna são representados por ns, não diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

*CN= campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= milho

Com relação aos índices obtidos por meio do fracionamento densimétrico, na camada de 0,00-0,05m os maiores valores de L e IL foram observados no CN. Salton et al. (2011) afirmam que a maior labilidade da MO está associada ao maior aporte de material vegetal, justificando o maior resultado verificado nesta camada para o CN. Nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,10- 0,20m não foram verificadas diferenças significativas para estes parâmetros.

Em todos os sistemas avaliados, a L da MOS apresentou decréscimo em profundidade, chegando a valores inferiores a 0,1 (Tabela 10). Schiavo et al. (2011), avaliando o IMC e atributos químicos de um Latossolo com diferentes coberturas, verificaram que em todas as coberturas a labilidade da MO diminuiu com o aumento da profundidade.

Nas camadas de 0,00-0,05m e de 0,05-0,10m, os maiores valores de IMC foram obtidos no CN. Nas demais camadas não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Silva et al. (2011) avaliando o IMC em solos sob sistema de integração lavoura-pecuária após quatro e oito anos de implantação, pastagem, lavoura em plantio direto e vegetação nativa verificaram na camada de 0,00-0,10m que o sistema de integração lavoura-pecuária com oito anos de implantação apresentou um IMC de 88, sendo superior aos demais sistemas de manejo, se equivalente estatisticamente ao sistema de referência (vegetação nativa).

Na tabela 11 estão apresentados os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e umidade do solo. Na camada de 0,00-0,05m os maiores teores de RBS foram observados no CN. O CN pode ter apresentado os maiores valores de RBS em função de não sofrer influência de cultivos e de trânsito de máquinas. Assim como neste estudo, Oliveira (2013) também verificou maiores teores de RBS para área de vegetação nativa ao avaliar sistemas de ILP em um Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Nova Canaã do Norte-MT. A maior liberação de CO₂ nos solos em condições naturais (sem ação antrópica) pode ser em função da constante incorporação de resíduos, com acúmulo de MO em frações lábeis, promovendo uma alta atividade biológica sobre esse material, liberando, assim, CO₂.

Os resultados deste estudo corroboram com os obtidos por Pôrto et al. (2009) que verificaram maior valor de RBS na mata em comparação à sistemas de sucessão e de consorciação de cultivos. Da mesma forma, Jakelaitis et al. (2008) e Carneiro et al. (2009) observaram maiores valores de RBS na mata do que em áreas de pastagem e de semeadura direta de milho.

Nas demais camadas avaliadas, não foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas de uso para os teores de RBS. Da mesma forma, D'Andréa et al. (2002) não encontraram diferenças significativas nos valores de RBS entre cerrado nativo, pastagem e sistemas agrícolas sob preparo convencional e semeadura direta.

Tabela 11. Teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), e quociente metabólico (qCO_2) em um Argissolo nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre-RS, 2016.

Tratamentos	RBS $mgC-CO_2 \cdot 100g^{-1}$	CBM $mg\ kg^{-1}$	Umidade %
0,00-0,05m			
CN	1,49a	246,19a	25,01
PA	0,66b	169,89b	13,91
MI	0,83b	195,42b	18,60
0,05-0,10m			
CN	0,61 ^{ns}	247,27a	14,00
PA	0,68	165,57b	11,89
MI	0,84	193,83b	13,40
0,10-0,20m			
CN	0,58 ^{ns}	277,36a	18,60
PA	0,72	145,26b	15,85
MI	0,50	183,44b	16,23

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% e estão representadas por ns.

CN= campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= milho

Em todas as camadas avaliadas os maiores teores de CBM foram constatados no CN, o que pode ser reflexo de uma situação particular para a microbiota do solo nesse sistema, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação. Além disso, a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, possibilita a existência de maiores quantidades de CBM, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema (D'ANDRÉA, 2002; PEREZ et al., 2004; PÔRTO et al., 2009).

De acordo com Van de Werf; Verstraete (1987), os valores de CBM podem oscilar de 90 a 2.300mg kg⁻¹. Neste estudo os teores de CBM variaram de 145,26 a 277,36mg kg⁻¹. Carvalho (2015) avaliando atributos físicos, químicos e biológicos de um Planossolo Háptico sob sistemas de Integração Lavoura-Pecuária no Bioma Pampa observou valores de CBM variando de 148,90 a 450,39mg kg⁻¹.

Neste estudo, os valores de CBM para o CN aumentaram em profundidade. Porém, de acordo com Silva; Mendonça (2007), existe uma tendência de o CBM ser maior nas camadas mais superficiais, pela maior disponibilidade de matéria orgânica, água e nutrientes. No entanto, existem vários fatores que afetam e influenciam a atividade dos microorganismos tais como: atributos químicos, tipo de solo, vegetação e variáveis climáticas (temperatura e umidade) que ao serem avaliados em conjunto são quase sempre capazes de explicar a variação global da atividade e dos teores de CBM (BERG, 2000; CATTELAN; VIDOR, 1990; WARDLE,1992).

Um dos grandes desafios no uso de indicadores biológicos para a avaliação da qualidade do solo é a dificuldade de interpretar os resultados individuais dos parâmetros. Diferentemente do que ocorre com os indicadores químicos, de fertilidade do solo, cujos índices já estão relativamente bem definidos, é difícil apenas medir e interpretar indicadores biológicos sem um controle ou um referencial de comparação. Neste sentido, ocorrem dificuldades na interpretação dos bioindicadores de qualidade, ou seja, saber realmente quais valores podem indicar ou não um solo de boa qualidade torna-se um enorme desafio para futuras pesquisas (MENDES et al., 2011; TÓTOLA; CHAER, 2002).

Nas Figuras 9,10 e 11 observam-se os espectros de emissão de fluorescência, obtidas pela técnica de fluorescência induzida por laser (FIL) de amostras de solo inteiro. Nas figuras abaixo, o pico máximo de fluorescência está na região de 526nm, que de acordo com Favoretto et al. (2008) indica a presença de estruturas moleculares ricas em estruturas complexas, como anéis aromáticos condensados e/ou substituídos, grupos quinonas e sistemas cíclicos.

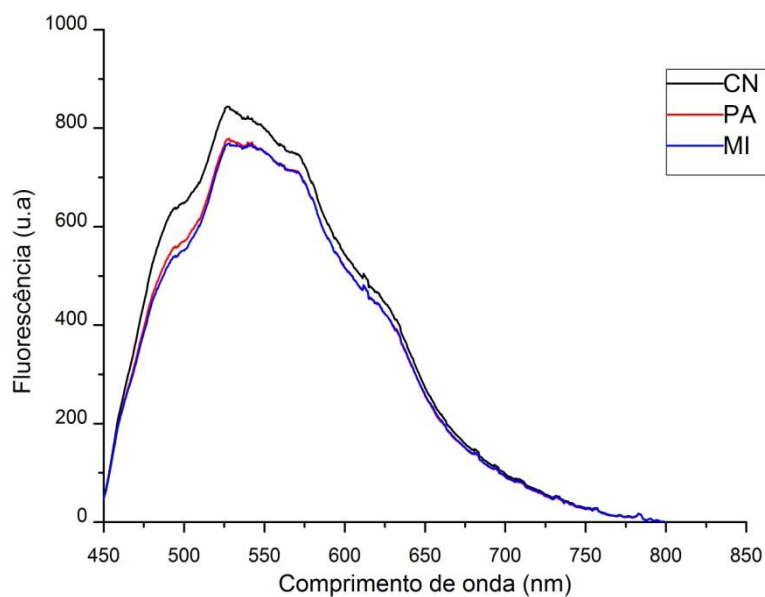


Figura 9. Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) da camada de 0,00-0,05m de um Argissolo sob sistemas de uso. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

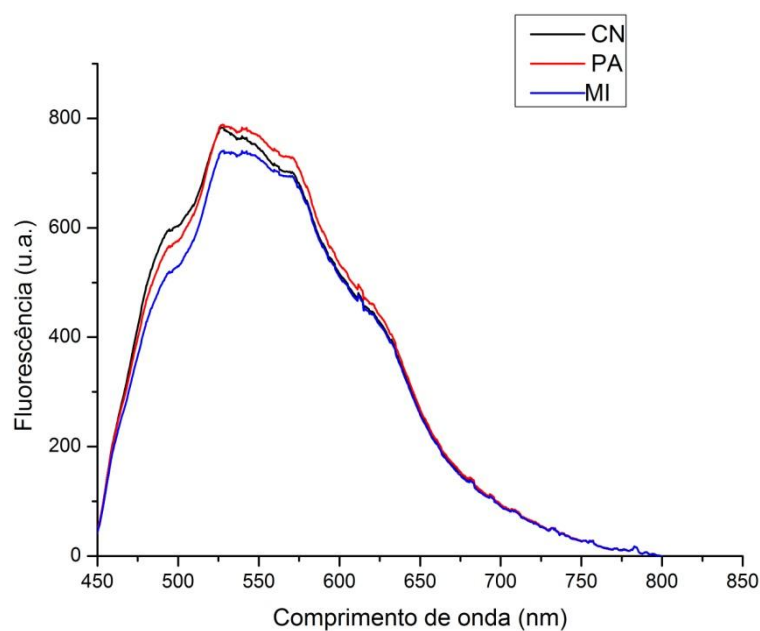


Figura 10. Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) da camada de 0,05-0,10m de um Argissolo sob sistemas de uso. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

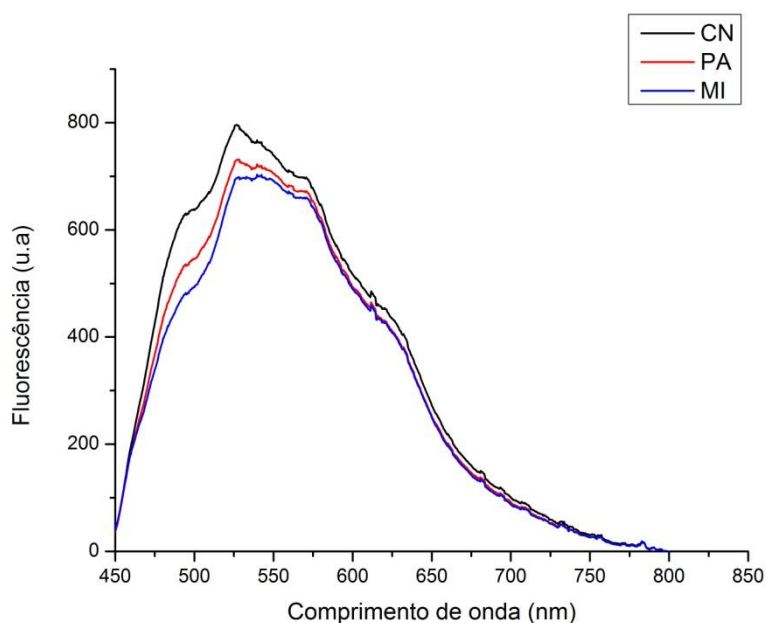


Figura 11. Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) da camada de 0,10-0,20mde um Argissolo sob sistemas de uso. Arroio do Padre- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

Milori et al. (2006) mostrou que o espectro de fluorescência está diretamente relacionado com a concentração de C, porém o C a que se refere é devido a estruturas rígidas como anéis aromáticos e grupos quinona. Assim, somente esses C são detectados pela FIL. A intensidade da curva de fluorescência está relacionada com a quantidade de C aromáticos presentes nas amostras, quanto maior a intensidade do sinal da fluorescência, maior a concentração de C aromáticos e, assim, mais humificada será a MOS (MARTINS et al., 2009; MILORI et al., 2002).

A razão entre a área sob a curva do espectro normalizada pelo teor de C da amostra pode fornecer um parâmetro que permite estimar o grau de humificação da MOS (HFIL) (MILORI et al., 2002, 2006). Nos sistemas de uso analisados, em todas as camadas avaliadas, o menor grau de humificação foi encontrado no CN (Tabela 12). Fato justificado pela ausência de interferência antrópica nesta área quando comparada às demais. Além disso, este comportamento pode ser dar também em função do significativo aporte de matéria orgânica fresca neste sistema, causando uma diluição da matéria orgânica mais humificada, resultando em altos teores de C e baixo grau de humificação da MOS (FAVORETTO et al., 2008) quando comparado aos demais sistemas.

Entretanto, o maior grau de humificação em todas as camadas avaliadas foi verificado na PA. Este resultado pode ser justificado, possivelmente, porque durante o preparo para a implantação da pastagem, houve desagregação do solo e/ou redução da biomassa vegetal pela introdução do gado no sistema, com isso, reduziu a proteção física das frações mais lábeis, acelerando assim a sua decomposição.

Tabela 12. Grau de humificação (HFIL) de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Arroio do Padre - RS, 2016.

Sistemas de uso*	H _{FIL}		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
CN	61.883	77.787	80.060
PA	89.427	91.465	94.274
MI	77.217	91.237	92.504

* CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

Milori et al. (2005) analisando amostras de solo por FIL sob diferentes sistemas de manejo, encontraram menor humificação da MO nos solos sob PD em comparação ao PC, evidenciando que o revolvimento do solo quebra os agregados e expõe a MO à decomposição.

Independente do sistema de uso do solo, a humificação da MOS aumentou com a profundidade, indicando que a MOS é mais recalcitrante quanto mais distante da superfície do solo. Esse efeito reporta ao fato de que há menor quantidade de material orgânico mais fresco acumulado em subsuperfície, favorecendo a concentração de estruturas mais aromáticas em profundidade.

Assim como verificado neste estudo, trabalhos na literatura reportam o aumento do grau de humificação da MOS em função do aumento da profundidade do solo. Gonzalez-Pérez et al. (2007) observaram por meio da FIL que o grau de humificação da MOS aumentou ao longo do perfil de Latossolos sob diferentes sistemas de manejo. Estes autores relacionaram esse aumento na humificação da matéria orgânica ao menor acúmulo de resíduos vegetais nas camadas mais profundas, uma vez que os restos vegetais tendem a se acumular mais na superfície dos solos.

Da mesma forma, Favoretto et al. (2008) ao determinarem o grau de humificação da matéria orgânica em Latossolos sob plantio direto, plantio convencional e preparo mínimo constataram um aumento em profundidade da humificação da MOS em todos sistemas de uso avaliados.

3.4 CONCLUSÕES

O desempenho dos indicadores físicos, químicos e biológicos avaliados sugere que, a qualidade do solo nos diferentes sistemas de uso encontra-se em níveis adequados.

A Análise Fatorial aplicada à 12 indicadores da qualidade do solo, evidencia que o “Fator Matéria Orgânica” é o que mais contribui para a variação total dos dados nas três camadas avaliadas.

Os indicadores que compõem o “Fator Matéria Orgânica” estão mais associados ao campo nativo, enquanto que os indicadores do “Fator Agregação”, “Fator Compactação” e “Fator Carbono Microbiano” estão mais associados à pastagem e os indicadores respiração basal do solo, fração leve livre e porosidade total estão mais relacionados ao sistema milho.

Dentre todos os indicadores da qualidade do solo avaliados a densidade do solo encontra-se relacionada aos três sistemas de uso do solo e somente a porosidade total não é eficiente para detectar diferenças entre os sistemas estudados.

Nas três camadas de solo avaliadas (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20m), os menores valores de diâmetro médio ponderado de agregados e o maior grau de humificação da matéria orgânica são constatados na pastagem.

O uso e manejo do solo ao longo do tempo é determinante para a redução dos estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana e índice de estoque de carbono nos sistemas pastagem e milho.

Na camada de 0,00-0,05m, com exceção do campo nativo, as maiores proporções granulométricas do carbono são verificadas na fração associada aos minerais.

Com exceção do campo nativo e do milho, na camada de 0,00-0,05m, os mecanismos de proteção da matéria orgânica por estabilização química e decorrente da oclusão de agregados estão sobrepondo a proteção por recalcitrância molecular.

O fracionamento físico granulométrico é mais sensível que o fracionamento físico densimétrico para detectar os efeitos dos sistemas de manejo nos diferentes sistemas de uso do solo. O carbono da fração grosseira e o carbono associado aos minerais são mais apropriados para estimar o índice de manejo de carbono ao invés da fração leve livre e fração pesada da matéria orgânica.

Na camada de 0,10-0,20m, o índice de manejo de carbono obtido pelo fracionamento granulométrico nos sistemas de pastagem e milho são superiores ao encontrado no campo nativo (sistema de referência), o que indica impactos positivos sobre os estoques de matéria orgânica e sobre a qualidade do solo nesta camada.

4 CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO SOLO EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS FAMILIARES SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO MUNICÍPIO DE RIO GRANDE- RS

4.1 INTRODUÇÃO

Em virtude do aumento na demanda por alimentos e da evolução tecnológica nos sistemas de produção, as atividades agrícolas passaram a se caracterizar por sistemas padronizados e simplificados de monocultura, sendo este o modelo de produção agropecuária que predomina nas propriedades rurais em todo o mundo, mas que vêm mostrando sinais de saturação pela alta demanda de energia e de recursos naturais que necessita (MACEDO, 2009).

Os possíveis riscos ambientais decorrentes da intensificação da agricultura conduzem a busca por sistemas de produção que utilizem bases mais sustentáveis (BALBINO et al., 2011). Nesse sentido, uma das alternativas mais apropriadas é a adoção de sistemas integrados de produção como a ILP, que ocupam intensamente e de forma mais eficiente os recursos disponíveis nos agroecossistemas, melhorando a qualidade do solo, diminuindo o uso de insumos e gerando uma maior renda per capita na propriedade (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Além disso, as tecnologias da ILP estão sendo colocadas como um dos pilares do programa Agricultura de Baixo Carbono, com forte interação com o plantio direto de qualidade na palha, melhoria de pastagens degradadas e a fixação biológica de nitrogênio (SILVA et al., 2011).

De acordo com Balbino et al. (2011), os sistemas de ILP vêm sendo adotados em todo o país em diferentes combinações nos seus diferentes Biomas. Por exemplo, no Bioma Pampa utiliza-se milho, trigo e soja rotacionados com aveia-preta, azevém, ervilhaca no inverno e milheto no verão ou adotando pastagens perenes de alfafa ou pensacola em consórcio com trevo-branco, trevo-vermelho e cornichão.

A grande adoção deste sistema de produção está relacionada grande parte às vantagens oferecidas pelo sinergismo entre pastagens e culturas anuais como: melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CARVALHO et al., 2013; KUNDE et al., 2014; KUNDE et al., 2015); redução de pragas, doenças, plantas daninhas; diminuição dos riscos econômicos em virtude da diversificação

das atividades agrícolas e atenuação de custos para recuperar as pastagens que se encontram em processo de degradação (VILELA et al., 2011).

Apesar de todos os benefícios oferecidos pela ILP, a adoção dessa tecnologia pelos agricultores ainda é um desafio, principalmente no que diz respeito à adequação do sistema às atividades agropecuárias que o produtor pratica, visto que a ILP deve ser conduzida em sistema conservacionista de uso dos solos, de preferência em plantio direto, visando manter o solo com cobertura vegetal (FERREIRA, 2009).

Apesar do crescente interesse de um melhor entendimento sobre quais as alterações e impactos que os sistemas de ILP podem causar na qualidade dos solos do Bioma Pampa, vale ressaltar que raros são os estudos que abordam de forma dinâmica e integrada a avaliação de indicadores físicos, químicos e biológicos, principalmente em agroecossistemas desenvolvidos pelo agricultor (propriedades agrícolas). Além disso, outro fator que merece destaque é a escassez de trabalhos que abordem esta temática em solos com alto grau de fragilidade como os Neossolos.

Baseado no exposto, o presente estudo visou avaliar a qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares sob sistemas de ILP no Município de Rio Grande-RS, definindo indicadores físicos, químicos e biológicos capazes de detectar os efeitos das diferentes práticas de manejo utilizadas nos sistemas de uso avaliados.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Seleção dos agroecossistemas

O estudo foi desenvolvido em duas propriedades agrícolas familiares, representativas do Bioma Pampa, sob o Sistema de ILP, localizadas no Município de Rio Grande-RS. Em cada uma das propriedades foram avaliados três sistemas de uso do solo: campo nativo pastejado (CN), pastagem de azevém (PA) e milho com sucessão de azevém (MI). Neste estudo, o CN foi adotado como sistema de referência.

Para a seleção dos agroecossistemas foram adotados os seguintes critérios: estarem localizados em regiões que fossem representativas do Bioma Pampa; apresentarem as mesmas condições de solo, clima e relevo dentro do Município; apresentarem um sistema de ILP com um tempo uniforme e considerável de

implantação; e principalmente, que as famílias que fossem selecionadas no estudo, estivessem dispostas a participar e contribuir com a referida pesquisa.

4.2.2 Caracterização do local de estudo

4.2.2.1 Clima

O Município de Rio Grande enquadra-se na classificação climática Subtemperado Úmido (MALUF, 2000). O clima da região é caracterizado por temperaturas moderadas, com média de temperatura anual de 17°C a 19°C, verões quentes e ocorrência de geadas no inverno. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e a média anual é de 1400mm (IBGE, 2006).

4.2.2.2 Solo

O solo das áreas em estudo é um Neossolo (EMBRAPA, 2013) de classe textural variando entre Areia Franca e Areia (Tabela 13).

Tabela 13. Proporções relativas das frações granulométricas e respectiva classe textural no perfil dos solos, nos seus três sistemas de uso das propriedades agrícolas familiares em estudo. Rio Grande-RS, 2016.

Sistemas de uso*	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classe textural
0,00-0,05m				
CN	5	5	90	Areia
PA	6	8	86	Areia Franca
MI	4	6	90	Areia
0,05-0,10m				
CN	5	5	90	Areia
PA	5	8	87	Areia Franca
MI	5	4	91	Areia
0,10-0,20m				
CN	5	4	91	Areia
PA	5	8	87	Areia Franca
MI	4	7	89	Areia

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

Nas tabelas 14 e 15 encontram-se apresentadas a caracterização química dos solos nos diferentes sistemas de uso em estudo.

Tabela 14. Valores médios de pH, alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efet.) de um Neossolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.

Sistemas de uso	pH H ₂ O	Al --cmolc/ dm ³ --	Ca	Mg	m -----%-----	V	MO	P	K	Na	CTC efet.
0,00-0,05m											
CN	5,1	0,2	3,3	0,5	30	50	3,4	33,2	111	35	4,4
PA	4,8	0,5	1,6	0,7	18	33	2,4	69,8	62,5	44	2,9
MI	4,8	0,6	0,8	0,3	34	18	2,0	39,5	34,5	19	1,8
0,05-0,10m											
CN	5,7	0,2	2,5	0,2	11	44	1,1	15,2	79	29	3,2
PA	4,7	0,6	0,8	0,4	34	24	1,1	58,7	32	34	2,1
MI	4,9	0,7	0,6	0,2	42	13	1,4	11,8	34	15	1,6
0,10-0,20m											
CN	5,8	0,2	2,0	0,2	17	43	0,2	10,8	49	22	2,6
PA	5,1	0,5	0,9	0,5	27	30	0,5	8,2	25	33	2,1
MI	5,0	0,7	0,5	0,3	41	16	0,5	16,6	30	14	1,5

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

Tabela 15. Valores médios de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) de um Neossolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.

Sistemas de uso	B -----mg/dm ³ -----	Cu	Zn	Mn	Fe g/dm ³
0,00-0,05m					
CN	0,3	1,2	5,9	46,1	3,25
PA	0,3	1,1	4,7	50,6	0,65
MI	0,3	1,2	2,9	27,5	0,75
0,05-0,10m					
CN	0,3	1,1	2,5	18,1	1,4
PA	0,3	1,1	3,5	15,0	1,1
MI	0,5	1,4	2,9	19,8	0,6
0,10-0,20m					
CN	0,3	1,0	2,3	12,4	0,9
PA	0,3	1,1	2,7	16,0	0,6
MI	0,3	1,3	2,5	12,7	0,5

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

4.2.3 Caracterização dos sistemas de uso e manejo em estudo

CN: Este sistema foi adotado como a área de referência, sendo utilizado somente para o pastejo animal com uma taxa de lotação máxima de 15 animais por hectare.

PA: A implantação destas áreas, nas duas propriedades em estudo, foi realizada em 2008. A semeadura foi feita no mês de março, sendo utilizada a cultivar La estanzuela 284. Anteriormente à implantação da pastagem, as áreas encontravam-se sob campo nativo. A adubação de base utilizada é 200 Kg de DAP (fosfato diamônico) e uma adubação de cobertura com 140 Kg de uréia.

O azevém é dessecado anualmente com glifossato. A taxa de lotação animal é de 15 animais por hectare.

MI: A implantação destas áreas, nas duas propriedades, foi realizada em 2008, utilizando-se a cultivar Pioneer. A adubação de base utilizada é de 300 Kg de NPK (5-20-20), sendo realizadas duas adubações de cobertura com 150 kg uréia. No momento da coleta de solo, as áreas encontravam-se com o azevém BRS ponteio. O pastoreio é feito de julho a setembro com uma taxa de lotação animal de 30 animais por hectare.

4.2.4 Critérios para a definição dos indicadores da qualidade do solo

A escolha dos indicadores avaliados foi definida a partir de uma revisão bibliográfica (ALMEIDA, 2012; CARASSAI et al., 2011; CASALINHO et al., 2007; CRUZ et al., 2012; LIMA et al., 2008; LIMA et al., 2011; LIMA et al., 2013; LOSS et al., 2011; SOUZA et al., 2010) e levando-se em conta os seguintes critérios de escolha: os mais utilizados pela literatura e reconhecidos cientificamente nesta temática, facilidade de avaliação, capacidade de interação, adequação ao nível de análise da pesquisa, sensibilidade às variações de manejo e clima, possibilidade de medições por métodos quantitativos ou qualitativos, aplicáveis em condições de campo e boa relação custo-benefício para determinação em laboratório.

Em resumo, os indicadores da qualidade do solo integram os efeitos combinados de diversos parâmetros ou processos do solo, os quais devem ser precisos, simples para o uso, sensíveis e terem sentido, ou seja, devem estar associados à função para a qual se pretende usar o solo.

4.2.5 Amostragem de solo

Foram coletadas, nos dois agroecossistemas selecionados, amostras deformadas e indeformadas de solo em cada um dos sistemas de uso, nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Em cada um dos sistemas de uso foram estabelecidos 5 pontos de coleta nas três profundidades, resultando, desta forma, um total de 180 amostras de solo (90 amostras indeformadas e 90 amostras deformadas). As coletas foram realizadas durante o mês de novembro de 2013 para a determinação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas com o auxílio de anéis volumétricos de 0,030m por 0,048m, envolvidas em papel alumínio a fim de conservar a umidade e evitar perdas de solo, acondicionadas em sacos de plástico e posteriormente encaminhadas ao laboratório de Física do solo da Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

As amostras deformadas de solo foram coletadas com o auxílio de pá de corte, acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao mesmo laboratório, onde foram abertas e espalhadas em bandejas de papel para secarem a sombra até atingirem a umidade correspondente ao ponto de friabilidade. Posteriormente, as amostras foram destorroadas manualmente de forma suave para não provocar compactação ou ruptura dos agregados e peneiradas nas malhas de 9,52mm e 2,00mm.

4.2.6 Indicadores físicos da qualidade do solo

4.2.6.1 Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo (D_s) e a porosidade total (P_t) foram determinadas conforme metodologia descrita em Blake; Hartge (1986) e em Embrapa (2011).

4.2.6.2 Agregação do solo

O diâmetro médio ponderado de agregados estáveis foram avaliados com auxílio de peneiras com malhas de diferentes diâmetros (9,52, 4,76, 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25mm) conforme a metodologia citada por Palmeira et al. (1999), seguindo o princípio da metodologia descrita por Kemper; Rosenau (1986), que utiliza o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936).

4.2.6.3 Granulometria do solo

A granulometria do solo foi realizada pelo método da pipeta, seguindo o princípio descrito em Embrapa (2011).

4.2.6.4 Fracionamento Físico granulométrico da matéria orgânica

O fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica foi realizado conforme metodologia descrita em Cambardella; Elliott (1992). O material retido na peneira com diâmetro de malha $\geq 0,053\text{mm}$ consistiu no carbono da fração grosseira (CFG), enquanto que o carbono associado aos minerais (CAM) ($<0,053\text{mm}$) foi obtido pela diferença entre o carbono orgânico total (COT) e o CFG (Anexo A).

O teor de CFG foi determinado por oxidação a seco em um analisador elementar, sendo os resultados expressos em estoque (Mg ha^{-1}), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

4.2.6.5 Fracionamento Físico densimétrico da matéria orgânica

O fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica foi realizado conforme Golchin et al. (1994) modificado por Conceição et al. (2008), utilizando-se uma solução de politungstato de sódio com densidade de $2,0 \text{ Mg m}^{-3}$ (Anexo B).

A energia de dispersão por ultra-som foi de 426 J mL^{-1} para as amostras das três camadas avaliadas, sendo este o nível de energia para obtenção da máxima dispersão desses solos em partículas primárias (INDA JUNIOR et al., 2007).

Os teores de carbono da fração leve livre (FLL) e da fração leve oclusa (FLO) foram determinados por oxidação a seco em um analisador elementar, sendo os resultados expressos em estoque (Mg ha^{-1}), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

O carbono da fração pesada (FP) foi obtido por diferença entre o COT e o C da FLL + C da FLO.

4.2.7 Indicadores químicos da qualidade do solo

4.2.7.1 Indicadores químicos de rotina

Os atributos químicos do solo determinados foram aqueles utilizados na avaliação de rotina do solo como: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), alguns macronutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), sódio (Na) e alumínio (Al) e micronutrientes como boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), Zinco (Zn) e cobre (Cu), os quais foram quantificados segundo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Estas análises foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, sendo utilizadas para caracterizar quimicamente o solo em estudo.

4.2.7.2 Carbono orgânico e nitrogênio total

Amostras deformadas de solo peneiradas em malha de 2,00 mm foram maceradas em almofariz de ágata e posteriormente os teores de COT e nitrogênio total foram determinados por oxidação a seco em um analisador elementar CHNS, sendo os resultados expressos em estoque de carbono e nitrogênio (Mg ha^{-1}), por meio da correção da massa equivalente, levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

4.2.7.3 Índice de manejo de carbono

A partir dos resultados dos estoques de carbono oriundos do fracionamento granulométrico e do fracionamento densimétrico, calculou-se o IMC tendo como base o trabalho de Blair et al. (1995) e adaptações de Diekow (2005), considerando o CFG e a FLL como representantes da fração lábil do COT e o CAM e a FP como o representantes da fração não lábil.

Este índice refere-se à medida relativa das alterações provocadas pelo manejo do solo, em comparação a um solo original ou ideal. Neste estudo, como condição original foi utilizado o solo do CN ($\text{IMC}=100$). Para a obtenção do IMC, necessita-se do índice de estoque de carbono (IEC), sendo este calculado a partir da relação entre os estoques de carbono da área cultivada em relação ao estoque de carbono da área de referência (CN). A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre os estoques de CFG e CAM para o fracionamento granulométrico e pela relação entre os estoques de FLL e FP para o fracionamento densimétrico. O

Índice de labilidade (IL) foi calculado pela relação entre a labilidade de cada área e a área de referência. O IMC de cada área foi obtido pela multiplicação entre o IEC e o IL por 100.

4.2.7.4 Fluorescência Induzida por laser

A avaliação do grau de humificação da MO do solo nas três camadas em estudo foi realizada através da espectroscopia de Fluorescência Induzida à Laser (FIL). O equipamento foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária e possui um laser de diodo (Coherent - CUBE) emitindo em 405nm com potência máxima de 50mW, acoplado a um cabo óptico composto por seis fibras ópticas (Ocean Optics) que excitam a amostra e uma fibra óptica central que coleta o sinal de fluorescência do solo.

Para a realização das medidas de FIL, as amostras de solo inteiro foram peneiradas em malha de 9,52mm, moídas em gral de ágata e colocadas em um porta-amostra com janela de quartzo, onde foram realizadas três medidas por amostra. Estes dados foram utilizados para cálculo do índice de humificação (HFIL). O cálculo deste índice é a razão entre o valor da área sob o espectro de emissão de fluorescência, compreendida entre 475 e 800nm, e o valor do teor de COT presente na amostra (MILORI et al., 2006).

As análises de FIL foram realizadas na Embrapa Instrumentação Agropecuária, localizada em São Carlos-SP.

4.2.8 Parâmetros biológicos da qualidade do solo

4.2.8.1 Carbono da Biomassa Microbiana

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido pelo método da irradiação-extração conforme descrito em Ferreira et al. (1999) e Mendonça; Mattos (2005).

4.2.8.2 Respiração Basal do solo

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada, conforme orientam Jenkinson; Powlson (1976) e Hungria et al. (2009).

4.2.9 Análises estatísticas

A avaliação estatística dos indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo foi feita a partir de Análise Multivariada Fatorial. Considerando a Análise de Componentes Principais como método de extração, buscou-se descrever a variabilidade do vetor aleatório de variáveis em termos de fatores não observáveis, mas relacionados com as variáveis originais através de um modelo linear. Os fatores obtidos representam o agrupamento dessas variáveis em subconjuntos de novas variáveis não correlacionadas entre si, a ponto de se obter, sempre, um número menor de fatores. Também utilizou-se o método ortogonal de fatores Varimax para garantir a ortogonalidade dos mesmos. Estabeleceu-se o valor de 0,6 para cargas fatoriais significativas, sendo as análises estatísticas dos dados realizadas com o auxílio do software Minitab 14.0.

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) calculado pelo mesmo software. As correlações podem ser enquadradas como muito fraca (0 a 0,3); fraca (0,3 a 0,5); moderada (0,5 a 0,7); forte (0,7 a 0,9) e muito forte (0,9 a 1) conforme Luz et al. (2015). Adicionalmente, para verificar como os indicadores analisados se comportariam individualmente nos três sistemas de uso do solo, os resultados foram submetidos individualmente à análise de variância (ANOVA) e, quando houve um valor de F significativo ($\alpha = 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

✓ ANÁLISE MULTIVARIADA

Por meio da Análise Multivariada Fatorial, definiram-se os fatores que explicaram a variabilidade dos dados e a correlação entre as variáveis do solo estudadas nos três sistemas de uso. Com os resultados das análises de fatores, verificou-se que as proporções da variação total do solo foram de 59,4%, 51,2% e de 53,1% para as camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m, respectivamente. Na camada de 0,00-0,05m a variabilidade do fator 1 (36,1%) deve-se a contribuição dos indicadores COT, NT, CAM, FLL e CBM enquanto que os 13,2% da variação total atribuída ao fator 2 se dá em razão da Ds e Pt e os 10,1% do fator 3 atribuída somente ao DMP (Tabela 16).

Tabela 16. Cargas fatoriais das variáveis físicas, químicas e biológicas após a rotação Varimax de um Neossolo sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande- RS, 2016.

	0,00-0,05m			0,05-0,10m			0,10-0,20m		
Variável	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Ds	-0,076	-0,971	0,062	-0,546	0,253	-0,203	0,212	-0,172	0,427
Pt	0,226	0,647	-0,141	0,970	-0,118	-0,019	-0,079	-0,017	-0,937
DMP	0,052	0,083	-0,957	-0,052	0,083	-0,244	0,138	-0,122	0,126
COT	0,970	0,002	0,003	0,168	0,146	-0,148	0,701	-0,646	-0,031
NT	0,955	0,091	0,049	0,549	-0,661	-0,016	0,310	-0,130	-0,139
CFG	0,124	-0,269	0,401	0,015	0,127	0,967	0,006	-0,915	-0,147
CAM	0,852	0,117	-0,167	0,076	-0,027	-0,861	0,936	-0,182	0,068
FLL	0,879	0,164	-0,092	0,653	-0,472	-0,166	0,061	-0,096	-0,302
FLO	0,298	-0,052	-0,118	0,093	-0,085	0,222	0,810	-0,119	0,110
FP	-0,227	-0,274	0,240	-0,448	0,508	0,222	0,418	-0,758	0,157
RBS	-0,012	-0,125	0,003	0,002	-0,014	0,003	0,272	-0,180	-0,068
CBM	0,877	-0,007	0,005	0,138	-0,948	0,113	-0,340	0,743	-0,151
Variância	4,33	1,58	1,21	2,23	2,00	-0,139	2,55	2,53	1,27
%Var	36,1	13,2	10,1	18,6	16,7	15,9	21,3	21,1	10,7

*Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana.

F1= Fator 1; F2= Fator 2 e F3= Fator 3.

Na camada de 0,05-0,10m a variabilidade do fator 1 (18,6%) deve-se à Pt e FLL, sendo a variabilidade do fator 2 (16,7%) atribuída ao NT e CBM e a variabilidade do fator 3 (15,9%) atribuída ao CFG e CAM. Na camada de 0,10-0,20m a variabilidade do fator 1 (21,3%) é atribuída ao COT, CAM e FLO enquanto que os 21,1% do fator 2 são atribuídos ao COT, CFG, FP e CBM e os 10,7% do fator 3, são atribuídos somente à Pt (Tabela 16).

Todas as variáveis anteriormente citadas explicam a maior porcentagem de variação e são as que mais refletem as alterações das características do solo em função do manejo. As variáveis que apresentaram cargas fatoriais abaixo de 0,6 são aquelas que retêm pequena parte da variação total, o que demonstra que as demais variáveis não citadas contribuem em menor proporção para discriminar as variações da qualidade do solo em função de seu uso (PRAGANA et al., 2012).

Com base nesses resultados podemos nomear os três fatores observados em cada uma das camadas estudadas. Em todas as camadas avaliadas os três fatores receberam denominações diferentes. Na camada de 0,00-0,05m, o fator 1 foi denominado de “Fator Matéria Orgânica”, e os fatores 2 e 3 foram denominados “Fator estrutura” e “Fator agregação”, respectivamente. Na camada de 0,05-0,10m o fator 1 foi denominado de “Fator Matéria Orgânica Leve”, o fator 2 de “Fator Carbono Microbiano” e o fator 3 “Fator Frações Granulométricas”. Na camada de 0,10-0,20m o fator 1 foi chamado de “Fator Carbono Humificado”, o fator 2 de “Fator Matéria Orgânica” e o fator 3 “Fator Porosidade Total”.

Tendo como base a Análise Fatorial, espera-se que as variáveis que apresentam maiores cargas fatoriais estejam mais correlacionadas entre si. Este resultado pode ser constatado na Figura 1, onde podemos observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores COT, NT, CAM, FLL e CBM, correlação fraca positiva entre os indicadores DMP, CFG, FLO e Pt. Os indicadores RBS, FP e Ds não apresentam correlação com os indicadores anteriormente citados no primeiro fator.

De acordo com Costa et al. (2009) o carbono e o nitrogênio são os principais componentes da MOS, estando, dessa forma, estreitamente associados. Esta afirmação confirma a alta correlação entre os teores totais destes elementos e suas frações particuladas observadas neste estudo.

Para efeito de visualização e análise gráfica, foram apresentados apenas os resultados dos dois primeiros fatores nas Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17 visto que são os que mais contribuem para a variação total dos dados. Para a camada de 0,00-0,05m, analisando as Figuras 12 e 13 simultaneamente, podemos constatar que as variáveis do “Fator Matéria Orgânica” estão mais associadas ao CN; as variáveis FLO, CFG e as do “Fator Agregação” ao sistema de uso PA. Já para as variáveis do segundo fator, a FP pode ser relacionada ao CN e a Ds e RBS estão relacionadas aos sistemas MI e PA.

As variáveis do “Fator Matéria Orgânica” podem estar mais associadas ao CN em virtude da ausência de interferência antrópica, pela maior diversidade e quantidade de vegetação presente nesta área o que favorece a entrada constante de carbono jovem via espécies nativas, determinando um maior aporte de resíduos culturais e contribuindo, desta forma, para o aumento dos teores de carbono, nitrogênio e de suas frações lábeis neste sistema.

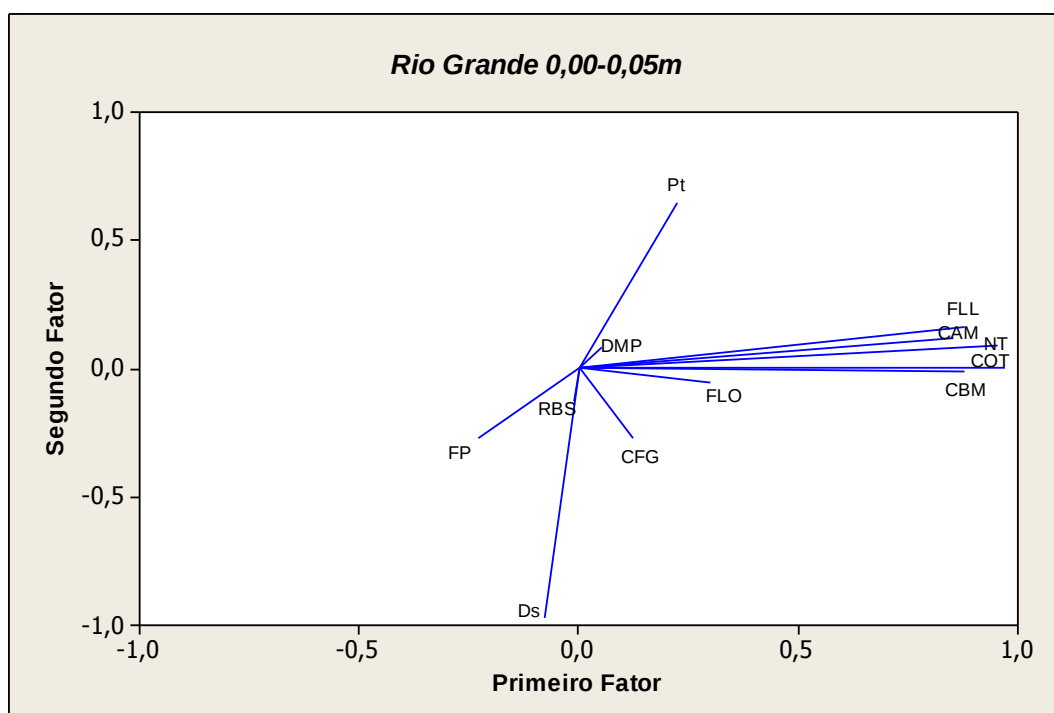


Figura 12. Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,00-0,05m.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana

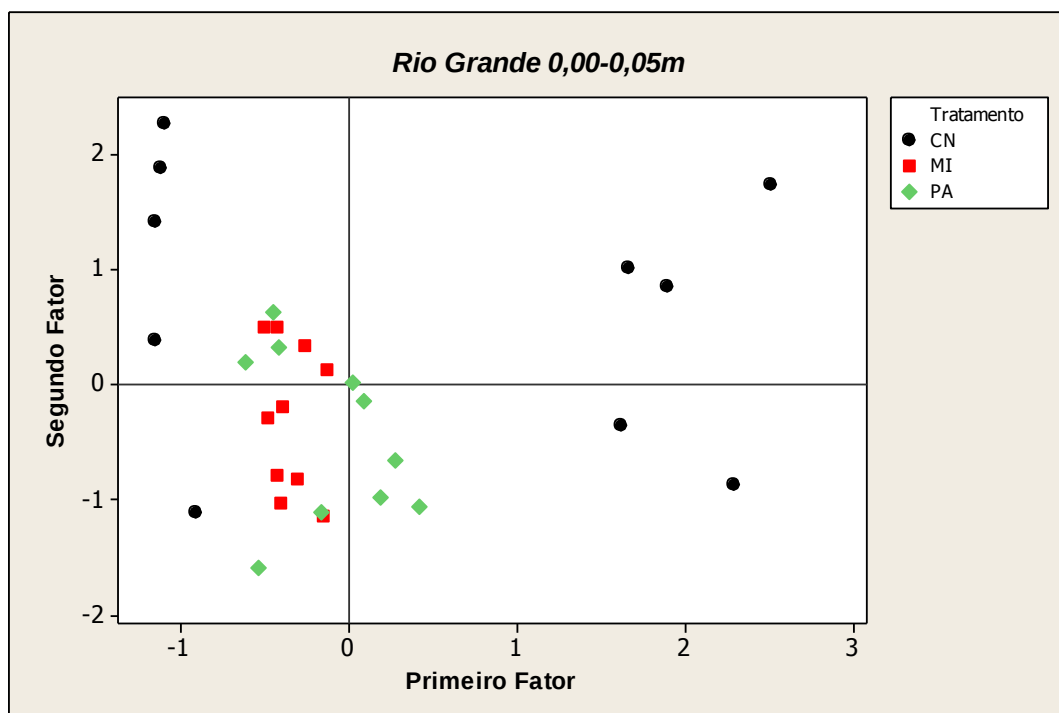


Figura 13. Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,00-0,05m.

Na camada de 0,00-0,05m, 10 coeficientes de correlação (15,15% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 17). Assim como foi visualizado na Figura 12, podemos constatar na Tabela 17, qual a grandeza das correlações entre os indicadores acima citados. Dentre todas as correlações obtidas podemos destacar algumas significativas como: a correlação negativa entre os indicadores Ds e Pt (-0,74) e as correlações positivas entre COT x NT (0,93), COT x CAM (0,91), COT x FLL (0,84), COT x CBM (0,81), NT x FLL (0,84), NT x CBM (0,89) e CAM x FLL (0,87).

Assim como neste estudo, Pereira et al. (2010) ao estudarem por componentes principais atributos físicos de um Latossolo vermelho sob pastagem e mata, verificaram alta correlação negativa entre Ds e Pt, denominando este efeito de degradação estrutural do solo, bem como os primeiros indícios de compactação. Diferentemente à este estudo, Carneiro et al. (2013) ao avaliarem as alterações na biomassa microbiana do solo e nos estoques de COT em sistemas de ILP, plantio direto, pastagem e cerrado nativo de um Neossolo Quartzarênico no entorno do Parque Nacional das Emas em Goiás verificaram correlação baixa positiva e não significativa entre o CBM e o COT ($r=0,40$).

Tabela 17. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Neossolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,00-0,05m. Rio Grande-RS, 2016.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
Ds	1											
Pt	-0,74*	1										
DMP	-0,19	0,29	1									
COT	-0,07	0,20	0,07	1								
NT	-0,14	0,27	0,00	0,93*	1							
CFG	0,41	-0,42	-0,62*	0,06	0,21	1						
CAM	-0,24	0,37	0,32	0,91*	0,78*	-0,36	1					
FLL	-0,31	0,52*	0,24	0,84*	0,84*	-0,17	0,87*	1				
FLO	0,00	-0,03	0,26	0,48	0,35	-0,33	0,60*	0,33	1			
FP	0,45	-0,64*	-0,46	-0,21	-0,26	0,57*	-0,44	0,64*	-0,33	1		
RBS	0,26	-0,20	-0,03	0,03	0,00	0,15	-0,03	-0,15	0,06	0,27	1	
CBM	-0,04	0,18	-0,02	0,81*	0,89*	0,37	0,60*	0,78*	0,19	-0,24	-0,06	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana

Ainda nesta camada, levando em consideração a visualização da Figura 12 onde obtivemos correlação moderada entre DMP, CFG e FLO, vale a pena ressaltar que dentre estes indicadores, obtivemos uma correlação positiva significativa entre o DMP x CFG ($r=0,62$). Este resultado mostra que 62% da variação do DMP se correlaciona positivamente com a variação do CFG, o que pode indicar que boa parte da estabilidade dos agregados do solo nos sistemas de ILP em Neossolos deve-se à MO mais lábil (associada à fração grosseira).

De acordo com a Figura 14, podemos observar no primeiro fator correlação moderada positiva entre os indicadores FLL e NT; correlação muito fraca positiva entre RBS, CAM, FLO e entre o CFG e COT. Os indicadores Ds e FP não apresentam correlação com os indicadores do fator 1, entretanto possuem correlação moderada no segundo fator.

Para a camada de 0,05-0,10m, analisando simultaneamente as Figuras 14 e 15, podemos verificar que as variáveis do “Fator Carbono Microbiano” e “Matéria Orgânica Leve” estão mais associadas ao CN e à PA. As variáveis do “Fator Frações

Granulométricas” e os indicadores DMP, RBS e FLO estão relacionadas aos sistemas MI e PA. Entretanto, as variáveis do segundo fator (Ds e FP) estão associadas aos três sistemas de uso do solo.

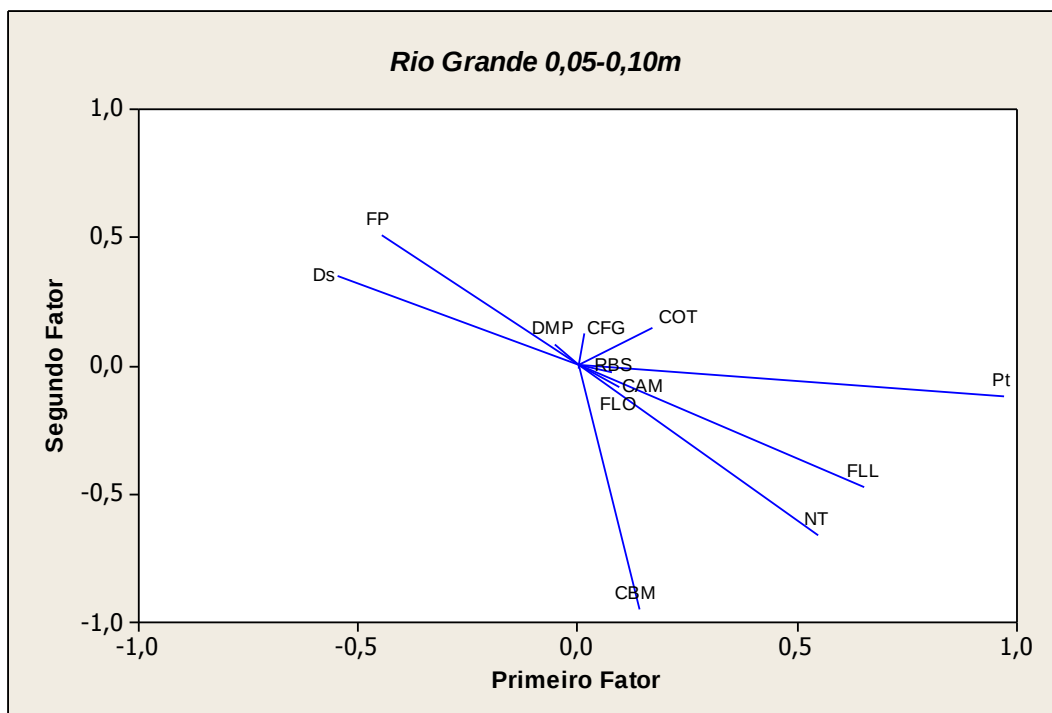


Figura 14. Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,05-0,10m.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana

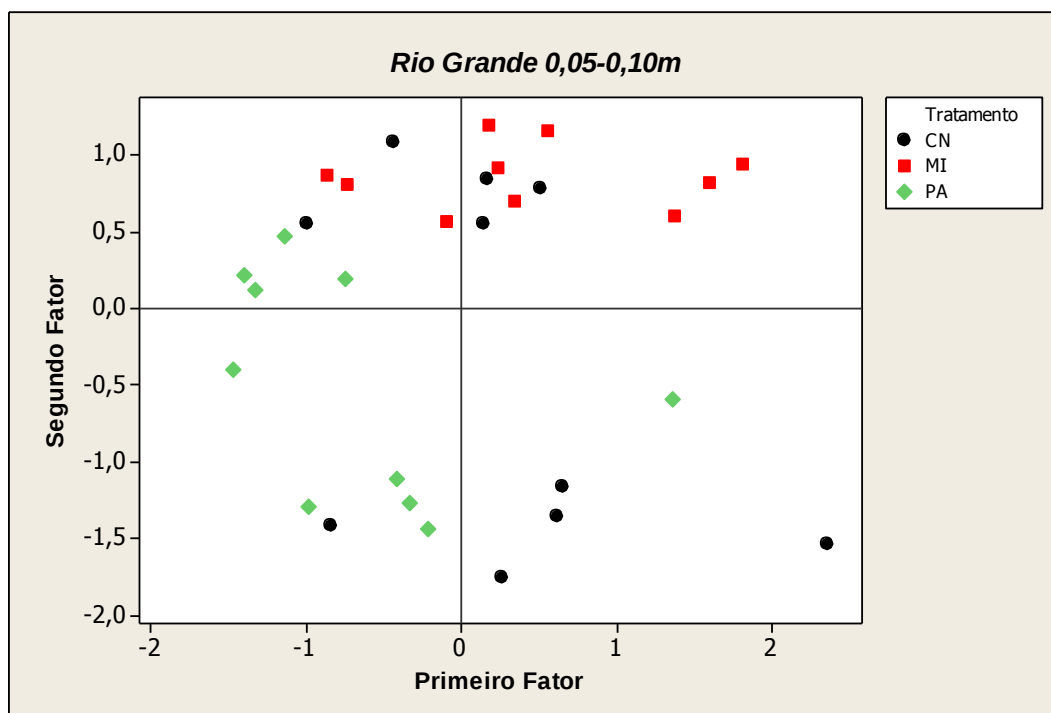


Figura 15. Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,05-0,10m.

Da mesma forma, Cardoso et al. (2009) constataram que os teores de carbono microbiano foram significativamente alterados pelo pastejo contínuo da pastagem nativa, reduzindo 51% do carbono microbiano neste sistema em comparação à pastagem nativa sem pastejo. Contudo, a biomassa microbiana responde intensamente às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008), sendo um bom indicador da qualidade do solo em áreas cultivadas com pastagens.

Na camada de 0,05-0,10m, somente 4 coeficientes de correlação (6,06% do total) foram superiores a 0,7 (Tabela 18). Assim como foi visualizado na Figura 14, na Tabela 18 podemos destacar algumas correlações positivas significativas entre Ds x FP (0,60), NT x FLL (0,78) e a correlação negativa significativa entre a Pt x Ds (-0,65).

Tabela 18. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Neossolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,05-0,10m. Rio Grande-RS, 2016.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
Ds	1											
Pt	-0,65*	1										
DMP	0,23	-0,04	1									
COT	0,12	0,28	0,19	1								
NT	-0,65*	0,66*	-0,11	0,13	1							
CFG	-0,20	0,00	-0,38	-0,08	-0,05	1						
CAM	0,23	0,14	0,41	0,60*	0,11	-0,85*	1					
FLL	-0,57*	0,72*	-0,24	0,12	0,78*	-0,15	0,19	1				
FLO	-0,20	0,11	-0,19	-0,31	0,23	0,31	-0,42	0,29	1			
FP	0,60*	-0,47	0,33	0,41	0,61*	0,00	0,21	-0,80*	-0,62*	1		
RBS	0,02	0,00	-0,15	-0,08	0,03	0,22	-0,21	0,07	0,47	-0,23	1	
CBM	-0,50*	0,24	-0,13	-0,30	0,68*	-0,24	0,04	0,60*	0,13	-0,67*	0,02	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana

Analisando a Figura 16, pode-se observar no primeiro fator alta correlação positiva entre os indicadores FLO e CAM; correlação moderada entre a FP e o COT; correlação fraca positiva entre FLL, DMP, NT, Ds e RBS. Ainda neste fator, o indicador CFG apresenta correlação inversamente proporcional com o CBM e a Pt. Os indicadores CBM e Pt não apresentam correlação com os indicadores do fator 1 e também não apresentam correlação entre si no segundo fator.

Para a camada de 0,10-0,20m, analisando simultaneamente as Figuras 16 e 17, constata-se novamente que a maior parte das variáveis do “Fator Carbono Humificado” estão mais relacionadas ao sistema PA; a maior parte das variáveis do “Fator Matéria Orgânica” aos sistemas MI e PA; o “Fator Porosidade Total” aos sistemas PA e CN; e a variável CBM pode ser relacionada aos três sistemas de uso do solo.

As variáveis do “Fator Porosidade Total” podem estar mais associadas aos sistemas de uso PA e CN, em decorrência de sistemas radiculares mais diversificados e possíveis canais (bioporos) resultantes da decomposição e renovação dessas raízes na superfície do solo (ABRÃO, 2011).

As variáveis do “Fator Carbono Humificado” se encontram mais associadas ao sistema PA, fato que pode ser justificado pela maior produção e acúmulo de biomassa vegetal pela espécie forrageira (azevém) em comparação às culturas agrícolas, cuja fitomassa é, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (LOSS et al., 2011). Adicionalmente, de acordo com Franzluebbers; Stuedemann (2008) na ILP, as pastagens possibilitam um incremento nos teores de carbono em função do elevado desenvolvimento e aporte de resíduos culturais, tanto da parte aérea como das raízes.

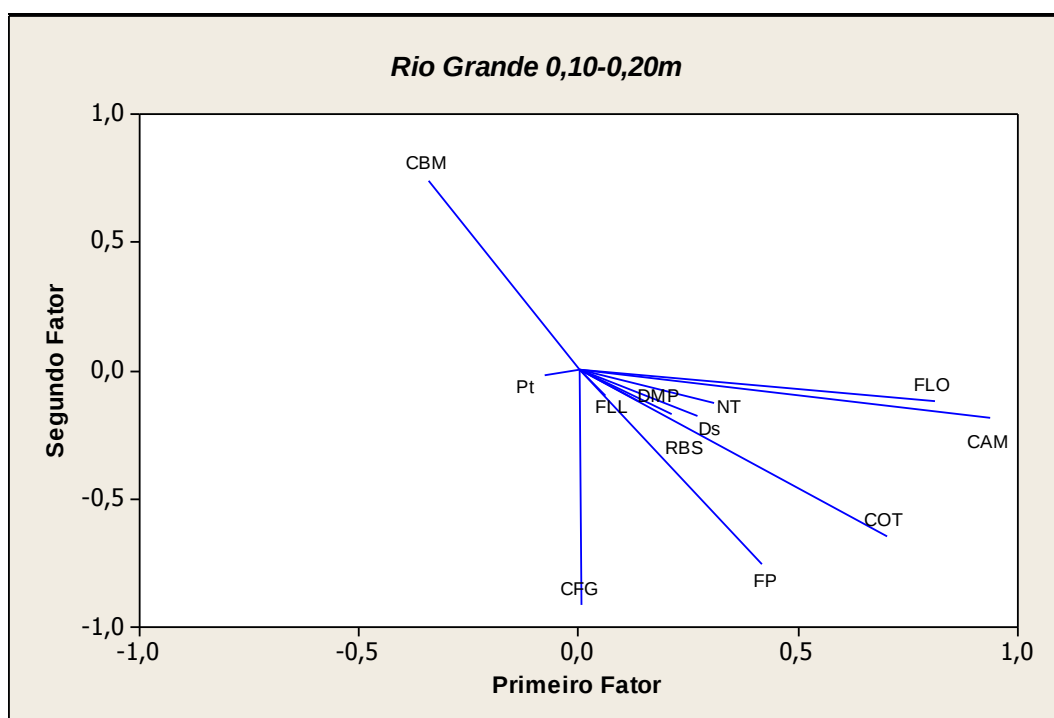


Figura 16. Gráfico de correlação dos indicadores físicos, químicos e biológicos de acordo com os fatores analisados na camada de 0,10-0,20m.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana

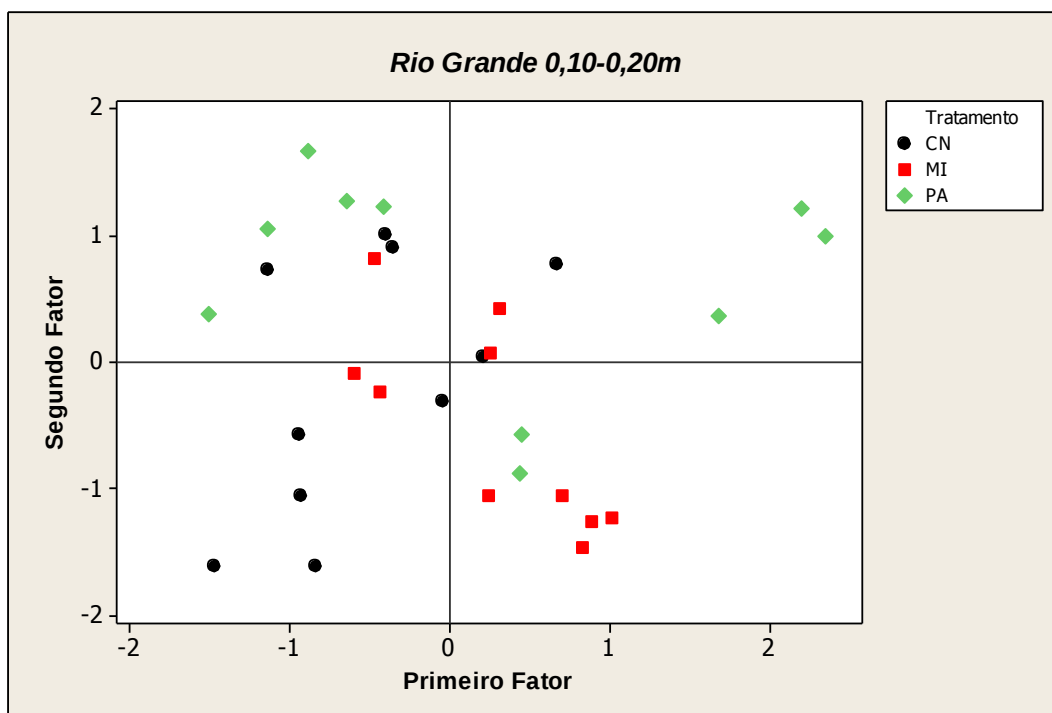


Figura 17. Gráfico da distribuição dos escores dos tratamentos campo nativo (CN), pastagem de azevém (PA) e milho (MI) na camada de 0,10-0,20m.

O indicador biológico CBM pode estar relacionado aos três sistemas de uso do solo, por predizer a resposta do sistema edáfico às intervenções antrópicasantes mesmo que os teores de matéria orgânica e outros atributos físicos e químicos sejam alterados significativamente (MATSUOKA et al., 2003), reforçando o seu potencial como indicador sensível para detectar modificações no solo (ANDRÉA et al., 2002; DÍAZ-RAVIÑA et al., 2005; JORDAN et al., 2004).

Assim como verificado neste estudo Baretta et al. (2006), por meio da análise multivariada canônica discriminante, identificaram o CBM como o atributo microbiológico mais importante para a separação dos sistemas de uso avaliados. Adicionalmente, Cardoso et al. (2009) constataram que o CBM foi atributo mais sensível para verificar às alterações no solo, promovidas pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, no Pantanal.

Na Tabela 19, apenas seis coeficientes de correlação (9,09% do total) foram superiores a 0,7. Dentre as correlações obtidas podemos destacar algumas significativas como: a correlação negativa entre Ds x Pt (-0,67); as correlações positivas entre o COT x CAM (0,83), COT x FP (0,77) e FLO x CAM (0,79).

Resultados semelhantes foram obtidos por Raphael (2014) avaliando a matéria orgânica do solo em rotações de culturas sob sistema semeadura direta em um Nitossolo localizado no Município de Botucatu-SP, verificou uma correlação alta significativa entre o COT x CAM, demonstrando a influência que esta fração exerce na composição da MOS.

Tabela 19. Coeficientes de correlação (r) entre os indicadores físicos, químicos e biológicos de um Neossolo sob Integração Lavoura-Pecuária na camada de 0,10-0,20m. Rio Grande, 2016.

	Ds	Pt	DMP	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP	RBS	CBM
Ds	1											
Pt	-0,67*	1										
DMP	0,50*	-0,33	1									
COT	0,24	0,02	0,15	1								
NT	-0,31	0,29	-0,38	0,47	1							
CFG	-0,06	0,24	-0,05	0,68*	0,38	1						
CAM	0,37	-0,16	0,25	0,83*	0,35	0,16	1					
FLL	-0,58*	0,56*	-0,55*	0,23	0,50*	0,37	0,04	1				
FLO	0,20	-0,14	0,09	0,72*	0,56*	0,23	0,79*	0,05	1			
FP	0,53*	-0,28	0,39	0,77*	0,12	0,57*	0,61*	-0,24	0,45	1		
RBS	-0,08	0,15	-0,25	0,50*	0,40	0,38	0,38	0,20	0,52*	0,23	1	
CBM	-0,56*	0,26	-0,42	-0,74*	0,08	-0,56*	-0,57*	0,10	-0,31	-0,84*	-0,19	1

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Ds=densidade do solo; Pt= Porosidade total; DMP= Diâmetro médio ponderado; COT= Carbono orgânico total; NT= Nitrogênio total; CFG= Carbono da fração grosseira; CAM= Carbono associado aos minerais; FLL= Carbono da fração leve livre; FLO= Carbono da fração leve oclusa; FP= Carbono da fração pesada; RBS= Respiração basal do solo; CBM= Carbono da biomassa microbiana

Isso provavelmente ocorreu devido à maior quantidade de resíduos vegetais sobre o solo, que protege a superfície. Segundo Cavichiolo (2005) na superfície do solo ocorrem com maior frequência os processos de umedecimento e secagem, contribuindo para recuperação da estrutura do solo na camada de 0,00-0,10 m. Os valores adequados de densidade do solo na camada superficial podem ser devido a maior densidade de raízes, ao maior teor de matéria orgânica, aos ciclos de umedecimento e secagem e ao rompimento superficial no momento da semeadura (REINERT et al., 2008).

✓ **ANÁLISE UNIVARIADA**

Na camada de 0,00-0,05m, os menores valores de Ds foram observados no CN, fato que pode estar associado à maior quantidade de resíduos vegetais sobre o solo, que protege a superfície. Além disso, de acordo com Reinert et al. (2008), os menores valores de Ds na camada superficial podem ser devido a maior densidade de raízes, aos maiores teores de COT e aos ciclos de umedecimento e secagem. Entretanto, nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m os sistemas de uso não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 20).

Reinert et al. (2008) e Reichert et al. (2009) propuseram valores de Ds críticos para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40g cm⁻³ para solos argilosos; 1,40 a 1,50g cm⁻³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80g cm⁻³ para os franco-arenosos e de 1,80 a 1,85g cm⁻³ para os arenosos. Portanto, de acordo com estes autores e considerando a classe textural do solo nos sistemas de uso em estudo (Tabela 13), os valores de Ds aqui apresentados não são considerados críticos para as três camadas avaliadas.

Tabela 20. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) de um Neossolo sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária. Rio Grande, 2016.

Sistemas de uso*	Ds g cm ⁻³	Pt %	DMP mm
0,00-0,05m			
CN	1,15b	53,49a	1,70 ^{ns}
PA	1,35a	44,60b	1,84
MI	1,34a	42,71b	1,42
0,05-0,10m			
CN	1,50 ^{ns}	40,71a	1,77 ^{ns}
PA	1,52	35,89b	1,45
MI	1,52	38,84b	1,29
0,10-0,20m			
CN	1,53 ^{ns}	33,90 ^{ns}	1,30 ^{ns}
PA	1,54	32,52	1,19
MI	1,54	34,95	1,17

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

Assim como neste estudo, Lanzasova et al. (2007) avaliando atributos físicos de um Argissolo Vermelho em sistemas de ILP sob plantio direto no Município de Jari - RS, também observaram diferenças significativas para os valores de Ds somente na camada de 0,00-0,05m. Adicionalmente, Carvalho et al. (2011) em um experimento de longa duração em um Latossolo Vermelho de São Miguel das Missões - RS, também constataram alterações na Ds somente na camada de 0,00–0,05m, mesmo em condições de pastejo intenso.

Com relação à Pt, nas camadas de 0,00-0,05m e de 0,05-0,10m, os maiores valores foram encontrados no CN. De acordo com Abrão (2011), a maior Pt encontrada neste sistema pode estar relacionada à maior ocorrência de sistemas radiculares diversificados e possíveis canais (bioporos) resultantes da decomposição e renovação dessas raízes na superfície do solo.

Diferentemente à este estudo, Conte et al. (2011) estudando a evolução de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em sistemas de ILP no Município de São Miguel das Missões -RS verificaram que não houve alterações significativas para os valores de Ds e Pt após 7 anos sob ILP.

Neste estudo, verificou-se o aumento nos valores de Ds e redução na Pt em profundidade (Tabela20), corroborando aos encontrados por Flores et al. (2007), Conte et al. (2011), Silva et al. (2011) e Carvalho et al. (2015). As alterações na Ds e na Pt observadas em sistemas de ILP (FLORES et al., 2007; SPERA et al., 2009) são geralmente de pequena magnitude e não atingem níveis críticos ao crescimento das raízes das plantas cultivadas, pois a pressão aplicada pelas patas dos animais não é superior à resistência do solo à deformação plástica (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996), o que permite que o solo recupere a sua estrutura (CONTE et al., 2011).

O estado de agregação do solo é um dos mais importantes indicadores de avaliação dos sistemas de produção agrícola, pois congrega aspectos físicos relacionados à estrutura do solo e bioquímicos relacionados ao balanço de carbono no sistema. A agregação do solo, avaliada neste trabalho pelo diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água não foi influenciada nos diferentes sistemas de uso do solo em todas as camadas avaliadas. Este resultado pode estar associado à matriz arenosa do solo, o que dificulta a formação de agregados estáveis fazendo com que os sistemas de uso do solo sejam muito semelhantes com relação à agregação.

Resultados diferentes foram obtidos por Loss et al. (2011) ao avaliarem a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto (SPD), com ILP e sem ILP, e uma área de Cerrado natural no Município de Montividiu–GO, os quais constataram que, independentemente da profundidade, a área de Cerrado apresentou os maiores valores de DMP. Adicionalmente, Wendling et al. (2012) avaliando a agregação de um Latossolo Vermelho em áreas de cerrado, floresta de pinus, pastagem e plantio direto verificaram maiores valores de DMP na área de cerrado.

Diferentemente aos resultados deste estudo, Costa Junior et al. (2012) avaliando a agregação de um Latossolo Vermelho sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado, observaram que a pastagem apresentou resultados semelhantes de DMP aos encontrados no solo sob vegetação nativa, evidenciando a capacidade das pastagens de manter a agregação do solo. Da mesma forma, Loss et al. (2014) ao avaliarem atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem nativa e silvipastoril observaram maiores valores de DMP nas áreas de pastagem e silvipastoril em todas as profundidades avaliadas.

Segundo Kiehl (1979), solos com DMP inferior a 0,5 mm são pouco agregados. Adicionalmente, de acordo com Zalamena et al. (2008), altos valores de DMP caracterizam um solo mais agregado. Com base nesta informação, o solo nos seus diferentes sistemas de uso apresentaram agregação média (1,17 a 1,84mm).

O solo em estudo, apesar de possuir um alto teor de areia em sua constituição, apresenta um teor de matéria orgânica (MO) que varia de 1,1 a 3,4% nos primeiros 10cm de profundidade (Tabela 14). É importante frisar que, levando em consideração as características naturais do solo da região em estudo, estes teores de MO podem ser considerados satisfatórios, mesmo sendo classificados como baixos ou médios de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004).

De acordo com Tecchio et al. (2012), teores mais elevados de MO no solo implicam maior capacidade de troca de cátions (CTC), maior disponibilidade de boro (B), menor fixação do fósforo (P) aplicado e um aumento na complexação de metais, tendo como consequência uma redução na toxidez por alumínio (Al) trocável e na insolubilização de micronutrientes em pH mais elevado.

De maneira geral, segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do solo (2004), os macronutrientes do solo em estudo (Ca, Mg, P, K) encontram-se em níveis considerados como adequados e satisfatórios. Vale ressaltar que os teores de Al variaram de 0,5 a 0,7 cmol_cdm⁻³ nos sistemas PA e MI em todas as camadas analisadas (Tabela 14). Desta forma, estes teores podem ser considerados como prejudiciais nestas áreas, pois de acordo com um estudo realizado por Malavolta (1980), considerou-se como prejudicial às plantas teores de alumínio trocável no solo com valores superiores a 0,5 cmol_cdm⁻³. Além disso, em alguns casos os sistemas PA e MI, apresentaram maior saturação por alumínio em comparação à saturação por bases.

Já com relação aos micronutrientes (Cu, B, Zn, Mn e Fe) de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), o solo em estudo apresentou teores altos destes elementos em todos os sistemas de uso avaliados (Tabela 15).

Na camada de 0,00-0,05m, não foram encontradas diferenças significativas para os estoques de COT, NT, CAM e FLO (Tabela 21). Entretanto, os maiores estoques de CFG foram observados na PA. Este resultado pode estar associado ao maior aporte de material vegetal encontrado nesta área quando comparado às demais.

Os resultados deste estudo corroboram com os obtidos por Loss et al. (2014), que ao avaliarem as frações granulométricas da MOS em sistemas de lavoura, pastagem e silvipastoril, observaram maiores valores de CFG na pastagem e atribuíram esse resultado à cobertura vegetal que favorece a deposição de resíduos vegetais no solo e também a diversificação de plantas (gramíneas e arbustos) que contribuem para o maior aporte de resíduos nesse sistema.

Assim como nesse estudo, a sensibilidade do CFG também foi observada por Conceição et al. (2005) ao avaliarem a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo em experimentos de longa duração no sul do Brasil. Na profundidade de 0,00-0,05 m, os autores verificaram que através da sensibilidade do CFG, pôde-se inferir que esse compartimento possa ser utilizado como indicador de qualidade do solo para avaliação de sistemas de manejo, nos quais as alterações no COT do solo ainda não tenham sido de grande magnitude.

Tabela 21. Estoques (Mg ha^{-1}) de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação carbono/nitrogênio (C/N), carbono da fração grosseira (CFG), carbono associado aos minerais (CAM), carbono da fração leve-livre (FLL), carbono da fração leve-oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m. Rio Grande-RS, 2016.

Sistemas	COT	NT	CFG	CAM	FLL	FLO	FP
0,00-0,05m							
CN	10,32 ^{ns}	0,68 ^{ns}	4,48b	5,84 ^{ns}	6,78a	1,26 ^{ns}	2,37c
PA	9,35	0,50	5,37a	3,98	4,45b	1,30	3,59b
MI	9,32	0,41	5,03b	4,28	3,40b	1,40	4,57a
0,05-0,10m							
CN	9,53a	0,47 ^{ns}	5,80 ^{ns}	3,74a	2,31 ^{ns}	0,76 ^{ns}	6,34 ^{ns}
PA	8,25b	0,31	6,76	1,49c	1,38	1,07	5,78
MI	8,65b	0,28	6,23	2,42b	2,18	1,05	5,53
0,10-0,20m							
CN	14,63b	0,14b	11,92 ^{ns}	2,71 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,71b	12,70 ^{ns}
PA	15,01b	0,37a	11,38	3,62	1,07	1,62a	12,43
MI	16,52a	0,33a	12,42	4,10	1,74	1,41a	13,39

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% e estão representados por ns.

*CN=Campo nativo; PA=Pastagem de azevém; MI=Milho com sucessão de azevém

Ainda na camada de 0,00-0,05m, os maiores e menores estoques de FLL e FP foram observados no CN, respectivamente. Possivelmente, essa superioridade na FLL e inferioridade da FP no CN devem-se à diversidade e quantidade de vegetação presente nesta área, os quais proporcionam maior aporte de biomassa da parte aérea e de raízes ao solo (SILVA et al., 2008) e também à ausência de revolvimento do solo neste sistema.

Na camada de 0,05-0,10m, os maiores estoques de COT e CAM foram constatados no CN (Tabela 21). Para os demais indicadores avaliados não obteve-se diferenças significativas entre os diferentes sistemas de uso nesta camada.

Para a camada de 0,10-0,20m, os maiores estoques de COT foram observados no MI e os menores estoques de NT e FLO foram observados no CN. Os estoques de CFG, CAM, FLL e FP não diferiram estatisticamente nos diferentes sistemas de uso nesta camada.

Os resultados obtidos neste estudo são diferentes aos encontrados por Rozane et al. (2010) que ao avaliarem um Latossolo Vermelho sob milho, pastagem e sob mata nativa no Município de Colina-SP, não verificaram diferenças entre os sistemas de uso em todas as camadas avaliadas para os valores de COT.

Diferentemente do obtido nesse estudo, Batista et al. (2013) avaliando os estoques de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da MOS sob ILP no bioma Cerrado, constataram que na camada de 0,00-0,10 m e de 0,10-0,20 m os maiores valores de CFG foram observados na área de pastagem/milho.

Mesmo apresentando diferenças significativas somente na camada superficial, é desejável que o solo apresente quantidade adequada de CFG e de FLL, pois, assim, garante-se o fluxo de carbono para o solo e a manutenção da atividade biológica. Caso o solo não disponha de matéria orgânica lábil em quantidade suficiente para suprir suas necessidades, os processos de oxidação da MOS resultarão em redução do estoque de carbono, o que dá início ao processo de perda de qualidade e degradação do solo (CAUSARANO et al., 2008; SALTON et al., 2011).

O CFG é composto principalmente por resíduos culturais em vários estágios de decomposição e geralmente, apresenta-se em menor proporção em relação ao CAM, contribuindo com cerca de 3-20% do COT do solo inteiro. No entanto, pode haver um aumento nos estoques desta fração em sistemas com menor revolvimento do solo e condições climáticas menos favoráveis à decomposição (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Neste estudo, as proporções de CFG em relação ao COT variaram de 43 a 82% (Figura 18). De acordo com Galdos et al. (2009), as diferenças observadas nesta proporção nos diversos estudos realizados podem estar associadas ao tipo de solo, às condições climáticas e à qualidade e magnitude do aporte de resíduos culturais, bem como à intensidade do revolvimento do solo.

O solo em estudo, nos diferentes sistemas de uso, apresenta em média (0,00-0,20m) somente 5% de argila, índice que indica associação muito baixa com a MOS. De acordo com Carmo et al. (2012), solos com maior conteúdo de argila têm maior poder de conservação e estabilização da MOS. Neste estudo, mesmo com o baixo percentual de argila, o CN na camada de 0,00 a 0,05m, apresentou a maior parte do COT ligada aos minerais (57%) (Figura 18). Esse fato pode estar associado ao avançado estágio de humificação da MO nesta fração, que se torna altamente estável (BAYER, 1996).

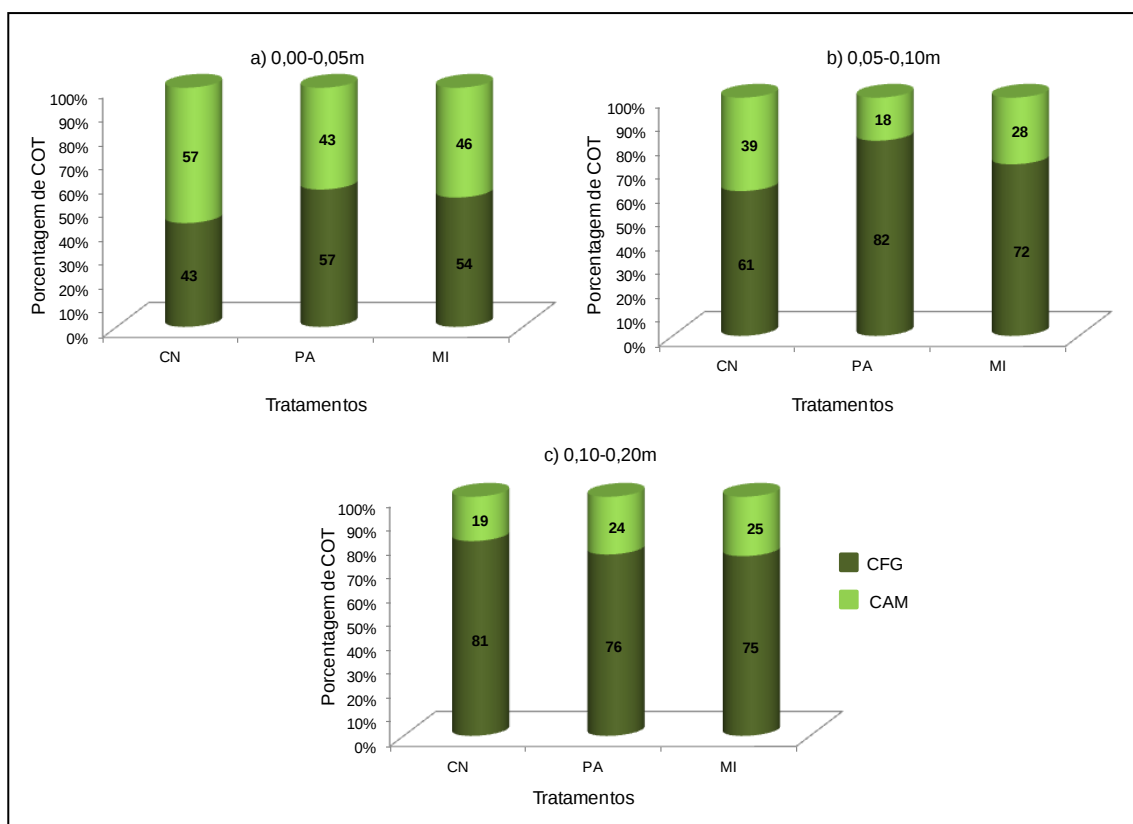


Figura 18. Proporção de carbono da fração grosseira (CFG) e carbono associado aos minerais (CAM) de um Neossolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande - RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.

Observando as proporções de cada fração densimétrica da MO (Figura 19) é possível inferir sobre a magnitude dos mecanismos e estabilidade da MO. Na camada superficial (0,00-0,05m), somente no sistema de uso MI, as maiores proporções de COT decresceram na ordem FP>FLL>FLO. Este resultado indica que o mecanismo de recalcitrância molecular da MO e a interação do material orgânico

com os minerais do solo tem importância diante da estabilidade decorrente da oclusão em agregados (FLO: 15%).

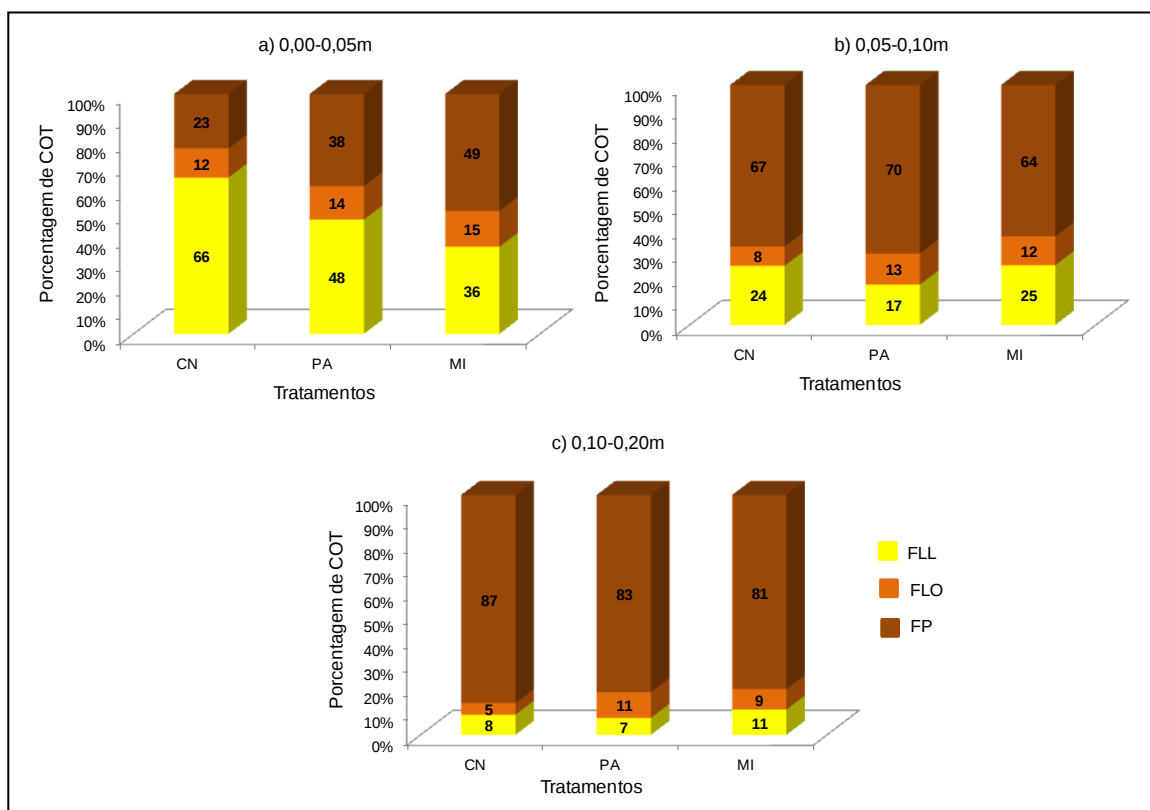


Figura 19. Proporção de carbono da fração leve livre (FLL), carbono da fração leve oclusa (FLO) e carbono da fração pesada (FP) de um Neossolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016. CN =campo nativo; PA =pastagem de azevém e MI =milho.

No entanto, ainda na camada superficial, no CN e na PA, as proporções das frações físicas da MOS em relação ao COT decresceram na ordem FLL>FP>FLO (Figura 19). Esta maior proporção de FLL em comparação às demais frações pode ser justificado pela entrada constante de carbono jovem nestes dois sistemas via espécies forrageiras.

Nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m, independente do sistema de uso do solo, as maiores proporções de COT foram observadas na FP. Este resultado é justificável, pois a FP é a fração mais estável da MO no solo, pois nela atuam os três mecanismos de proteção (recalcitrância molecular, proteção física e proteção química ou coloidal) (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Neste estudo, as proporções de FLL em relação ao COT variam de 7 à 66% (Figura 19). Diferentemente a este estudo, Conceição et al. (2008) avaliando um Latossolo sob plantio direto, convencional e pastagem verificaram que a FLL representou em média 8% do estoque do COT dos sistemas avaliados. Desta forma, os mesmos autores indicaram que o mecanismo de recalcitrância molecular da MO presente na FLL tem importância limitada diante da estabilidade decorrente da proteção física da MO em agregados (FLO) e da sua interação com os minerais do solo (FP).

Para ambos os fracionamentos, nas camadas de 0,00-0,05m e de 0,05-0,10m os maiores valores de índice de estoque de carbono (IEC) foram obtidos no CN (Tabela 22). Resultado que pode ser justificado pela maior diversidade e quantidade de vegetação presente nesta área, os quais proporcionam maior aporte de biomassa à superfície do solo (SILVA et al., 2008) e também à ausência de revolvimento do solo neste sistema. Entretanto, na camada de 0,10-0,20m, os maiores valores de IEC foram constatados no sistema MI.

Com relação aos dados obtidos por meio do fracionamento físico granulométrico, na camada de 0,00-0,05m, não foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas de uso para os valores de labilidade (L) e Índice de manejo de carbono (IMC). Entretanto, os maiores Índices de Labilidade (IL) foram constatados no sistema PA. Este resultado pode estar relacionado à cobertura vegetal da forrageira em estudo que favorece a deposição de resíduos culturais no solo, contribuindo para o maior aporte de resíduos nesse sistema (LOSS et al., 2014).

Na camada de 0,05-0,10m, os maiores valores de L, IL e IMC foram obtidos no sistema PA. Entretanto, na camada de 0,10-0,20m não foram constatadas diferenças significativas para os valores de L, IL e IMC.

Silva et al. (2011) avaliando o IMC em solos sob sistema de ILP após quatro e oito anos de implantação, pastagem, lavoura em plantio direto e vegetação nativa verificaram na camada de 0,00-0,10m que o sistema de integração lavoura-pecuária com 8 anos de implantação apresentou um IMC de 88, sendo superior aos demais sistemas de manejo, se equivalente estatisticamente ao sistema de referência (vegetação nativa).

Tabela 22. Índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) de um Neossolo nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m. Rio Grande, 2016.

Sistemas de uso ¹	Frac.granulométrico				Frac. densimétrico		
	IEC	L	IL	IMC	L	IL	IMC
0,00-0,05m							
CN	1,00a	1,01 ^{ns}	1,00b	100,00 ^{ns}	3,27a	1,00a	100,00a
PA	0,91b	1,53	1,52a	138,90	1,39b	0,42b	38,35b
MI	0,90b	1,18	1,17b	105,50	0,77c	0,27c	21,37c
0,05-0,10m							
CN	1,00a	1,62b	1,00b	100,00b	0,45a	1,00a	100,00a
PA	0,87c	5,26a	3,24a	278,84a	0,27b	0,60b	51,39b
MI	0,91b	3,35b	2,07b	189,91b	0,41a	0,92a	84,28a
0,10- 0,20m							
CN	1,00b	4,67 ^{ns}	1,00 ^{ns}	100,00 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,00 ^{ns}	100,00b
PA	1,02b	4,21	0,90	87,16	0,09	0,90	85,39b
MI	1,13a	3,09	0,70	73,89	0,13	1,24	145,90a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5%, sendo representados por ns.

CN= campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= milho

Com relação aos dados obtidos por meio do fracionamento físico densimétrico, na camada de 0,00-0,05m, os maiores e os menores valores de L, IL e IMC foram obtidos no CN e no MI, respectivamente. Salton et al. (2011) afirmam que a maior labilidade da MO está associada ao maior aporte de material vegetal, justificando o maior resultado verificado nesta camada para o CN.

Na camada de 0,05-0,10m, os menores valores de L, IL e IMC foram constatados no sistema PA. Na camada de 0,10-0,20m, não foram detectadas diferenças significativas para os valores de L e IL, porém os maiores valores de IMC foram obtidos no sistema MI.

Gazolla et al. (2015) avaliando o IMC de um Latossolo Vermelho sob pastagem, plantio direto, ILP verificaram maiores valores deste índice nas áreas sob plantio direto e sob integração lavoura-pecuária em comparação à pastagem, atribuindo esse resultado a rotação de culturas e maior aporte de resíduos vegetais depositados ao solo nestes dois sistemas.

Schiavo et al. (2011) avaliando o índice de manejo de carbono de um Latossolo Vermelho sob milho, braquiária (*Urochloa decumbens*), capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. *Tanzânia*) e cerrado nativo verificaram que o maior IMC do solo nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m ocorreu na área de braquiária.

Com os dados obtidos via fracionamento físico densimétrico, em todos os sistemas de uso avaliados, a L da MOS apresentou decréscimo em profundidade, chegando a valores inferiores a 0,1 (Tabela 22). Schiavo et al. (2011), avaliando o IMC e atributos químicos de um Latossolo com diferentes coberturas, verificaram que em todas as coberturas a labilidade da MO diminuiu com o aumento da profundidade.

Na tabela 23 estão apresentados os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e percentual de umidade do solo. Em todas as camadas avaliadas, não foram verificadas diferenças significativas para os valores de RBS. Os resultados deste estudo corroboram aos obtidos por D'Andréa et al. (2002), que não encontraram diferenças significativas nos valores de RBS entre cerrado nativo, pastagem e sistemas agrícolas sob preparo convencional e semeadura direta.

Com relação aos teores de CBM, em todas as camadas avaliadas, os menores valores de CBM foram obtidos no sistema MI. Diferentemente a este estudo, Oliveira (2013) verificou maiores teores de RBS na vegetação nativa ao avaliar sistemas de ILP em um Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Nova Canaã do Norte-MT. Adicionalmente, Pôrto et al. (2009) também verificaram maior valor de RBS na mata em comparação à sistemas de sucessão e de consorciação de cultivos. Da mesma forma, Jakelaitis et al. (2008) e Carneiro et al. (2009) observaram maiores valores de RBS na mata do que em áreas de pastagem e de semeadura direta de milho.

De acordo com Van de Werf; Verstraete (1987), os valores de CBM podem oscilar de 90 a 2.300mg kg⁻¹. Neste estudo os teores de CBM variaram de 118,59 a 363,62mg kg⁻¹. Carvalho (2015) avaliando atributos físicos, químicos e biológicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de ILP no Bioma Pampa observou valores de CBM variando de 148,90 a 450,39mg kg⁻¹.

Tabela 23. Teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), e quociente metabólico (qCO_2) em um Neossolo nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m. Rio Grande-RS, 2016.

Tratamentos	RBS $mgC-CO_2 \cdot 100g^{-1}$	CBM $mg \ kg^{-1}$	Umidade %
0,00-0,05m			
CN	0,70 ^{ns}	359,23a	30,09
PA	1,00	363,62a	19,23
MI	1,24	207,63b	24,02
0,05-0,10m			
CN	0,78 ^{ns}	262,57a	19,09
PA	1,03	296,43a	14,22
MI	1,06	152,02b	18,76
0,10-0,20m			
CN	0,75 ^{ns}	255,44a	16,82
PA	1,07	320,42a	13,55
MI	1,22	118,59b	16,10

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5%, representado por ns.

CN= campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= milho

Neste estudo, os maiores valores de CBM nos diferentes sistemas de uso do solo foram observados na camada superficial (0,00-0,05m). De acordo com Silva & Mendonça (2007), existe uma tendência de o CBM ser maior nas camadas mais superficiais, pela maior disponibilidade de matéria orgânica, água e nutrientes. No entanto, existem vários fatores que afetam e influenciam a atividade dos microorganismos tais como: atributos químicos, tipo de solo, vegetação e variáveis climáticas (temperatura e umidade) que ao serem avaliados em conjunto são quase sempre capazes de explicar a variação global da atividade e dos teores de CBM (BERG, 2000; CATTELAN; VIDOR, 1990; WARDLE, 1992).

Um dos grandes desafios no uso de indicadores biológicos para a avaliação da qualidade do solo é a dificuldade de interpretar os resultados individuais dos parâmetros. Diferentemente do que ocorre com os indicadores químicos, de fertilidade do solo, cujos índices já estão relativamente bem definidos, é difícil apenas medir e interpretar indicadores biológicos sem um controle ou um referencial

de comparação. Neste sentido, ocorrem dificuldades na interpretação dos bioindicadores de qualidade, ou seja, saber realmente quais valores podem indicar ou não um solo de boa qualidade. Tornando-se um enorme desafio para futuras pesquisas com o uso desses indicadores nas avaliações de qualidade do solo (MENDES et al., 2011; TÓTOLA; CHAER, 2002).

Nas Figuras 20, 21 e 22 observam-se os espectros de emissão de fluorescência, obtidas pela técnica de fluorescência induzida por laser (FIL) de amostras de solo inteiro. Nas figuras 9, 10 e 11 o pico máximo de fluorescência está na região de 525nm. Milori et al. (2006) mostrou que o espectro de fluorescência está diretamente relacionado com a concentração de C, porém o carbono a que se refere é devido a estruturas rígidas como anéis aromáticos e grupos quinona. Assim, somente esses carbonos são detectados pela FIL. A intensidade da curva de fluorescência está relacionada com a quantidade de C aromáticos presentes nas amostras, quanto maior a intensidade do sinal da fluorescência, maior a concentração de C aromáticos e, assim, mais humificada será a MOS (MARTINS et al., 2009; MILORI et al., 2002).

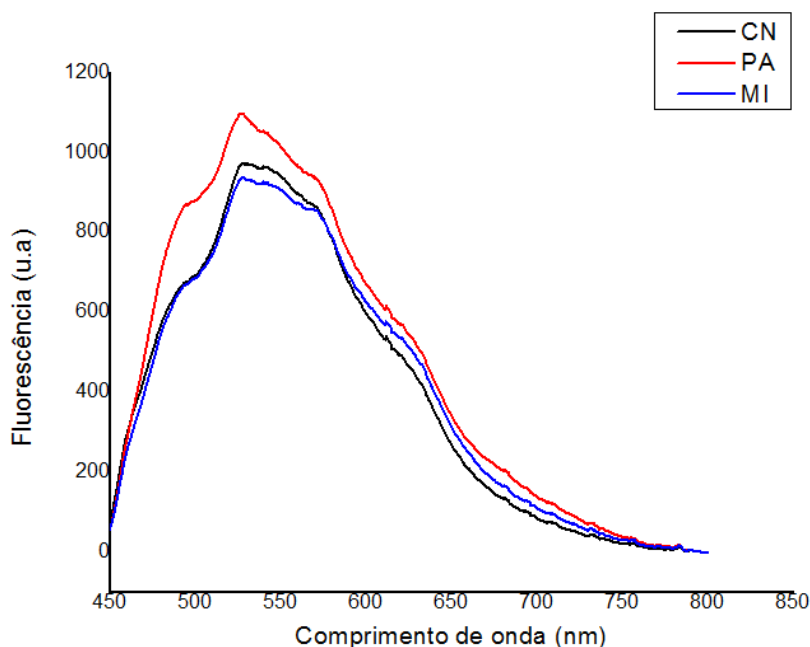


Figura 20. Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,00-0,05m. Rio Grande- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

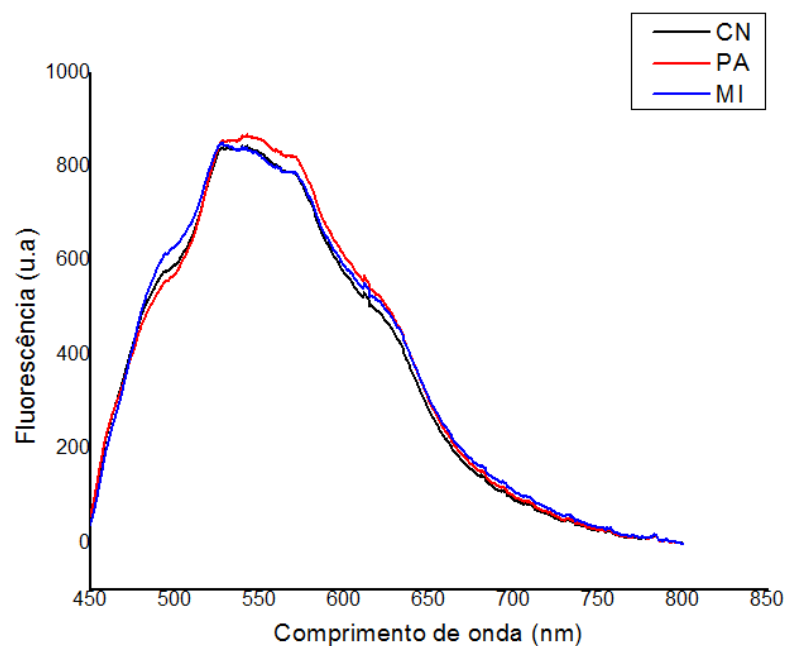


Figura 21. Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,05-0,10m. Rio Grande- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

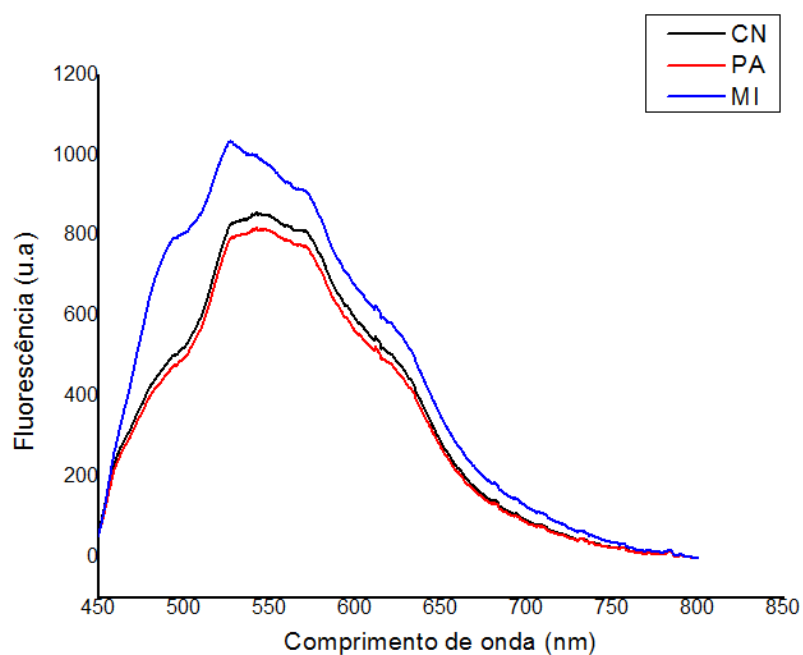


Figura 22. Espectros de Fluorescência Induzida à Laser (FIL) de um Argissolo sob sistemas de uso na camada de 0,10-0,20m. Rio Grande- RS, 2016. CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

A razão entre a área sob a curva do espectro normalizada pelo teor de carbono da amostra pode fornecer um parâmetro que permite estimar o grau de humificação da matéria orgânica do solo (HFIL) (MILORI et al., 2002, 2006). Nos sistemas de uso analisados, em todas as camadas avaliadas, o menor grau de humificação foi encontrado no CN (Tabela 24). Fato justificado pela ausência de interferência antrópica nesta área quando comparada às demais e pelo contínuo aporte de resíduos culturais (carbono jovem) ao solo.

Tabela 24. Grau de humificação (HFIL) de um Neossolo sob diferentes sistemas de uso nas camadas de 0,00-0,05m, de 0,05-0,10 m e de 0,10-0,20 m. Rio Grande- RS, 2016.

Sistemas de uso	H _{FIL}		
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
CN	79.613	101.645	133.666
PA	150.232	122.816	124.268
MI	103.284	114.102	144.498

CN= Campo nativo; PA= Pastagem de azevém; MI= Milho

Entretanto, o maior grau de humificação em todas as camadas avaliadas foi verificado na PA. Este resultado pode ser justificado possivelmente, que durante o preparo para a implantação da pastagem, houve desagregação do solo e/ou redução da biomassa vegetal pela introdução do gado no sistema, com isso, reduziu a proteção física das frações mais lábeis, acelerando assim a sua decomposição.

Milori et al. (2005) analisando amostras de solo por FIL sob diferentes sistemas de manejo, encontraram menor humificação da MO nos solos sob PD em comparação ao PC, evidenciando que o revolvimento do solo quebra os agregados e expõe a MO à decomposição.

4.4 CONCLUSÕES

O desempenho dos indicadores físicos, químicos e biológicos avaliados sugere que, de maneira geral, a qualidade do solo nos diferentes sistemas de uso avaliados encontra-se em níveis adequados.

A análise fatorial aplicada a doze indicadores do solo evidencia que os fatores “Matéria Orgânica”, “Matéria Orgânica Leve” e “Carbono Humificado” são os que mais contribuem, respectivamente, para a variação total dos dados nas três camadas avaliadas.

De maneira geral, os indicadores que compõem o “Fator Matéria Orgânica” estão mais associados ao campo nativo, os indicadores relacionados ao “Fator Agregação”, “Fator Frações Granulométricas” e “Fator Porosidade Total” estão mais associados aos sistemas milho e pastagem. Dentre os indicadores avaliados, a densidade do solo, a fração pesada da matéria orgânica e o carbono microbiano encontram-se relacionados aos três sistemas de uso do solo.

Dentre todos os 12 indicadores avaliados, o diâmetro médio ponderado e a respiração basal do solo não são eficientes para detectar diferenças entre os sistemas de uso do solo.

O fracionamento físico granulométrico é mais sensível que o fracionamento físico densimétrico para detectar os efeitos dos sistemas de manejo nos diferentes sistemas de uso do solo. O carbono da fração grosseira e o carbono associado aos minerais são mais apropriados para estimar o índice de manejo de carbono ao invés da fração leve livre e fração pesada da matéria orgânica.

Em virtude da baixa capacidade de proteção da matéria orgânica em Neossolos, as maiores proporções do carbono encontram-se na fração grosseira.

De maneira geral, nas camadas de 0,05-0,10m e de 0,10-0,20m, os mecanismos de proteção da matéria orgânica por recalcitrância molecular e estabilização química estão sobrepondo a estabilidade decorrente da oclusão em agregados.

Através da Fluorescência Induzida à laser, nas três camadas de solo avaliadas (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20m), o maior grau de humificação da matéria orgânica é constatado na pastagem.

Na camada de 0,00-0,05m e de 0,05-0,10m, o índice de manejo de carbono obtido pelo fracionamento granulométrico nos sistemas de pastagem e milho são superiores ao encontrado no campo nativo, o que indica impactos positivos sobre os estoques de matéria orgânica e sobre a qualidade do solo nesta camada.

Na camada de 0,10-0,20m, o índice de manejo de carbono obtido pelo fracionamento densimétrico no sistema milho foi superior ao encontrado no campo nativo, o que indica impactos positivos sobre os estoques de matéria orgânica e sobre a qualidade do solo nesta camada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Análise Multivariada Fatorial foi uma ferramenta eficiente neste estudo, uma vez que forneceu fatores perfeitamente interpretáveis com baixa perda de informações. Além disso, esta técnica possibilitou quantificar a contribuição dos indicadores físicos, químicos e biológicos na composição da variabilidade dos dados e identificar quais os indicadores que melhor se relacionaram com cada sistema de uso do solo avaliado.

Dentre todos os doze indicadores selecionados e estudados, a porosidade total, o diâmetro médio ponderado e a respiração basal do solo não foram sensíveis às práticas de manejo nos diferentes sistemas de uso para o Argissolo e o Neossolo, respectivamente.

Independentemente do tipo de solo estudado, a análise de Fluorescência Induzida à laser evidenciou que o maior grau de humificação da matéria orgânica foi observado na pastagem.

O estudo focalizou dois solos representativos do Bioma Pampa, os quais apresentam propriedades e características bastante distintas e isto refletediretamente sobre a dinâmica da MOS. O conhecimento da distribuição relativa das frações lábeis e estáveis da MOS permite inferir sobre o grau de vulnerabilidade de determinados solos à degradação. Por exemplo, o Neossolo do Município de Rio Grande, apesar de não apresentar baixo estoque de COT no solo, cerca de 43% a 81% da MOS está presente na forma de CFG. Neste caso, embora esta distribuição seja coerente com a baixa capacidade de proteção química que a matriz mineral do solo oferece devido ao baixo teor e mineralogia da fração argila, tal configuração impõe elevado risco à degradação ambiental e à sustentabilidade do agroecossistema caso as adições de resíduos sejam suprimidas e/ou o solo revolvido pelo preparo. Frações lábeis da MOS são fundamentais para a ciclagem de carbono entre os compartimentos e para a ciclagem de nutrientes em curto prazo, além da sua notável contribuição para a formação e estabilização transitória de agregados. Entretanto, esta fração é altamente sensível às alterações no uso e manejo e pode ser facilmente perdida pelo uso e manejo inadequado nos primeiros anos de cultivo.

Com relação às frações densimétricas da MOS, o Argissolo localizado no Município de Arroio do Padre, mesmo apresentando na sua constituição uma média de somente 15% de argila, teve uma distribuição mais equilibrada da MOS nas frações lábeis (FLL e FLO) e estáveis (FP). De maneira geral, as proporções aumentaram na ordem $FLL < FLO < FP$, explicada pelos diferentes mecanismos de proteção da MO em cada fração. A FP é a mais estável das frações da MOS, pelo fato de nela atuarem simultaneamente os três mecanismos de proteção (recalcitrância química, oclusão e interação organomineral), sendo em geral, a mais abundante das frações em ambientes agrícolas e em ambientes naturais.

Os dois solos estudados apresentam textura e mineralogia distintas. Neste sentido, os mecanismos de estabilização da MOS operam em magnitudes diferentes. Uma tarefa importante para trabalhos futuros é avaliar a dinâmica da MOS e de suas frações físicas granulométricas e densimétricas em outros tipos de solos, representativos do Bioma Pampa, sob sistema de ILPe em ambientes localmente desenvolvidos. Adicionalmente, seria interessante verificar como ocorre a alocação do carbono em classes de agregados via peneiramento seco e úmido.

A caracterização espectroscópica do solo inteiro foi realizada somente por meio da Fluorescência induzida à laser e seria interessante que tanto o solo inteiro como as frações físicas da matéria orgânica fossem avaliadas por outras técnicas qualitativas como ressonância magnética eletrônica e infravermelho com Transformada de Fourier para dar mais informações sobre a qualidade da matéria orgânica do solo.

Para que os estudos em propriedade agrícolas familiares sob Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária, em regiões representativas do Bioma Pampa, não se limitem apenas em avaliações comparativas e pontuais, faz-se necessário o monitoramento dos indicadores físicos, químicos e biológicos ao longo do tempo, de forma dinâmica e sistêmica, o que servirá de subsídio para a manutenção e/ou incremento da qualidade do solo com impactos positivos na produtividade agrícola e na qualidade ambiental destas propriedades.

Adicionalmente ao monitoramento dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo ao longo do tempo, seria fundamental levar em consideração a percepção do agricultor (conhecimento não acadêmico) sobre a qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, transformando, desta forma, o agricultor em ator e parceiro no processo decisório. O saber localmente

desenvolvido pelos agricultores em relação ao uso e manejo dos solos, aliado ao saber acadêmico, é uma ferramenta fundamental para o aprimoramento das avaliações da qualidade do solo.

Cabe destacar que este trabalho pode ser considerado um estudo pioneiro para o Bioma Pampa, visto que foi realizado em propriedades agrícolas familiares e avaliou a qualidade do solo de forma integrada e sistêmica em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. Os resultados deste estudo, servirão de subsídio para novas pesquisas nesta temática em outros tipos de solo representativos deste Bioma.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, S.F. **Alterações físicas e químicas de um cambissolo húmico em povoamentos de Pinus taeda L. com diferentes.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

AGOSTINETTO, D.; FERREIRA, F.B.; STOCH, G.; FERNANDES, F.F.; PINTO, J.J.O. Adaptação de espécies para cobertura de solo no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.1, p. 47-52, 2000.

ALMEIDA, M. T. **Estabelecimento de Indicadores da Qualidade da Água e do Solo: Uma Construção ao Nível de Agroecossistema Familiar e de Base Ecológica.** 2013. 84f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ANDRÉA, A.F. d'; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.913-923, 2002.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos da qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

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**, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ASSMANN, A. L.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; ASSMANN, T. S.; OLIVEIRA, E. B.; SANDINI, I. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.37-44, 2004.

ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, **Cultura: Soja, Arroz.** Disponível

em:<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1488> Acesso em: 20 mai. 2015.

BALBINOT JUNIOR, A. A. **Uso do solo no inverno: propriedades do solo, incidência de plantas daninhas e desempenho da cultura de milho.** 2007. 150f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em

Agronomia – Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, W.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p. i-xii, out. 2011.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). **Informações agrônômicas**, nº 138, 2012.

BALDOTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. O.; BALDOTTO, E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015.

BARETTA, C.R.D.M; AMARANTE, C.V.T; KLAUBERG FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.41, n.10, p. 1531-1539, 2006.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n. 3, p.797-809, 2014.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 133, n. 1, p. 13-22, 2000.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, 1986. p.363-375.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LEANNE, L. Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. **Australian Journal Agriculture Research**, v. 46, p.1459-1466, 1995.

BOURCHEIT, A. **Em busca da vocação natural**. Página 22, v. 33, p. 42 – 46, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRÍCULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano agrícola e pecuário 2010-2011**. Brasília: Mapa/SPA, 2011. 48p.

BRUM, A. L. A.; LEMES, C. L.; SILVA, C. V. K.; MULLER, P. K. Competitividade do trigo brasileiro diante da concorrência argentina. O comércio internacional e a competitividade pelo custo de produção. **Revista Galega de Economia**, v.14, n.1-2, p.1-15, 2005.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56. p.777-783, 1992.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.6, p.631-637, 2009.

CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, L.J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v.28, p.420-431, 2012.

CARNEIRO, C. E. A.; JÚNIOR, N. J. M.; AZEVEDO, M. C. B.; ANDRADE, E. A.; KOGUISHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. M.; STELMASCHUK, T. L. L.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n.1, p. 5-10, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; PAULINO, H. B.; SALES, L. E. O.; VILELA, L. A. F. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das Emas, Goiás. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6 , p. 1857-1868, 2013.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; FISS, A. V.; PILLON, C. N.; SILVA, J. L. S.; LIMA, A. C. R. Qualidade química e biológica de um planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária no bioma pampa. **Congrega**, v.1, n.1, 2013.

CARVALHO, Juliana dos Santos. **Atributos da qualidade de um Planossolo em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária no Bioma Pampa**. 2015. 107f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, RS, 2015.

CAUSARANO, H. J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; SHAW, J. N.; REEVES, D. W.; RAPER, R. L.; WOOD, C. W. Soil organic carbon fractions and aggregation in the Southern Piedmont and coastal plain. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, p. 221-230, 2008.

CARVALHO, P. C. F.; SILVA, J. L. S.; MORAES, A.; FONTANELLI, R. S.; MACARI, S.; BREMM, C.; TRINDADE, J. **Manejo de animais em pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária**. In: MOARES, A. et al. International Symposium on International Crop-livestock Systems, Curitiba, 2007, Proceedings...CD-ROM.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; TERRA LOPES, M. L.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; LIMA WESP, C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v.88, p.259–273, 2010.

CARVALHO, P. C. F.; BARRO, R. S.; KUNRATH, T. R.; SILVA, F. D.; NETO, A. B.; SAVIAN, J. V.; PFEIFER, F. M.; TISCHLER, M. R.; ANGHINONI, I. Experiências de Integração Lavoura-Pecuária no Rio Grande do Sul, **Synergismus scyentifica UTFPR**, v.6, n.2, 2011.

CARASSAI, I. J.; CARVALHO, P. C. F.; CARDOSO, R. R.; FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; NABINGER, C.; FREITAS, F. K.; MACARI, S.; TREIN, C. R. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.46, n.10, p.1284-1290, 2011.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C. et al. **Sustainable management of soil organic**. Wallingford: CAB International, 2001. p.9-22.

CASALINHO, H.D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.2, p.195-203, 2007.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em funções de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 133-142, 1990.

CAVICHIOLO, S. R.; DECEK, R. A.; GAVA, J. L. Modificações nos atributos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, v.29, p.571-577, 2005.

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 Ciência do Solo**, v.29, p.777–788, 2005.

CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.541-549, 2008.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C. T. C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.220-228, 2007.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L. Evolução dos atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, out. 2011.

CÓRDOVA, U.A. et al. **Melhoramento e manejo de pastagens naturais no Planalto Catarinense**. Florianópolis: Grafine, 2004. 274p.

COSTA JÚNIOR, C.; PÍCCOLO, M. C.; NETO, M. S.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n.4, p. 1311-1321, 2012.

CREPALDI, R. A.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, R. S. F. M. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura- pecuária. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.781-787, 2014.

DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004.

DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant Soil**, v.268, p. 319-328, 2005.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.175-182, 1996.

DÍAZ-RAVIÑA, M.; BUENO, J.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.J.; CARBALLAS, T. Cultivation effects on biochemical properties, C storage and ^{15}N natural abundance in the 0-5 cm layer of an acidic soil from temperate humid zone. **Soil Tillage Research**, v.84, n.2, p.216-221, 2005.

DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B. & BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.901-911, 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 1-20.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, CD Rom... Rio de Janeiro, SBCS, 1997.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região Cerrado no sul Estado Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.913-923, 2002.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.

ENTZ, M.H. et al. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.94, n.1, p.204-213, Mar. 2002.

FAVORETTO, C.M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D.M.B.P.; ROSA, J.A.; LEITE, W.C.; BRINATTI, A.M.; SAAB, S.C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um latossolo e de suas frações organo-minerais. **Química Nova**, v.31, n.8, 1994-1996, 2008.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.991-996, 1999.

FERREIRA, E. V. O. **Dinâmica de potássio em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo**. 2009, 84p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre - RS.

FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C. **O Bioma Pampa e o Modelo de Desenvolvimento em Implantação no Alto Camaquã**. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.771-780, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, n. 5, p. 613-625, 2008.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, v.153, p.347-352, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. E; CAMARGO, F. A. O, eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 654p.

GAMA-RODRIGUES, E.F. da; A.C. PAULINO, G.M.; FRANCO, A.A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do

Estado Rio Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1521-1530, 2008.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8p.

GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; MILORI, D.M.B.P.; COLNAGO, L.A.; MARTIN-NETO, L.; MELO, W.J. A laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic matter in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Geoderma**, v.138, p.20–24, 2007

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.285-309, 1994.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 1-10, 2012.

HASENACK, H. **Campos gaúchos estão ameaçados**. Jornal da Universidade, 2007. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/biociencias/imagens/P%2005%20-%20Atualidade.pdf>> Acesso em: 29 mai. 2015.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v.42, n.3, p.288-296, 2009.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário: agricultura familiar primeiros resultados**. 265p, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>> Acesso em: 25 mai. 2015.

IBF- INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Bioma Pampa**. Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa.html>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

INDA JUNIOR, A.V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; SALTON, J.C.; TONIN, A.T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, v.37, p.1301-1307, 2007.

IRGA–INSITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ, 2014. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4745/colheita-de-arroz-chega-ao-fim-no-rs> Acesso em: 06 mai. 2015.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.2, p.118-127, 2008.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil–V. A method for measuring soil biomass. **Soil & Biology Biochemistry**, v.8, n.3, p.209-213, 1976.

JORDAN, D.; MILES, R.J.; HUBBARD, V.C.; LORENZ, T. Effect of management practices and cropping systems on earthworm abundance and microbial activity in Sanborn Field: a 115-year-old agricultural field. **Pedobiologia**, Jena, v.48, n.2, p.99-110, 2004.

KARLEN, D.L. et al. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**, v.61, n.1, p. 4-10, Jan. 1997.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: ASA-SSSA, 1986. p. 425-440. Part 1.

KLEIN, V.A. Densidade relativa – um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v 5, n.1, p.26-32, 2006.

KEULEN, H.; SCHIERE, H. **Crop-livestock systems: old wine in new bottles?** In: Fischer, T. et al. (Eds.). **New directions for a diverse planet**. Proceedings of the IV International Crop Science Congress, Australia, 2004. CD ROM.

KIEHL, Edmar Jose. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KUNDE, R. J.; CARVALHO, J. C.; STÖCKER, C. M.; SILVA, J. L. S.; PILLON, C. N.; LIMA, A.C.R. **Qualidade Física do Solo sob Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária em Propriedades Agrícolas Familiares**. In: Encontro de Pós-Graduação da UFPel, 2014.

KUNDE, R. J.; STÖCKER, C. M.; CARVALHO, J. C.; BAMBERG, A. L.; PILLON, C. N.; LIMA, A.C.R. **Frações físicas da matéria orgânica em propriedades agrícolas familiares sob sistema de integração lavoura-pecuária**. In: Encontro de Pós-Graduação da UFPel, 2015.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.5, p.1131-1140, out. 2007.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 37-51.

LIMA, W.P. **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais**. São Paulo, Artpress, 1987. 114p.

LIMA, A.C.R.; HOOGLMOED, W. B.; BRUSSAARD, L.; ANJOS, F. S. Farmers' assessment of soil quality in rice production systems. **NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences**, v.58, n.1-2, p. 31-38, 2011.

LIMA, A.C.R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGLMOED, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.64, p.194-200, 2013.

LIMA, R. P.; SILVA, A. R.; RAMINELLI, J. A. Importância de atributos físicos do solo na identificação da compactação. **Revista Verde**, v. 8, n. 1, p. 93-97, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1269-1276, out. 2011.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em santa teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, Set/Out. 2014.

MACEDO, M. C. M. et al. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, suplemento especial, p.133-146, 2009.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>> Acesso em 20 de jun. 2015.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARCHEZAN, E. et al. Dinâmica do banco de sementes de arroz vermelho afetado pelo pisoteio bovino e tempo de pousio da área. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.1, p.55-62, 2003.

MARTINS, M.R.; CORÁ, J.E.; JORGE, R.F.; MARCELO, A. V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v.104, p.22-29, 2009.

MARTINS, M. E.; CAMPOS, D. T. S.; WRUCK, F. J. Caracterização microbiana em um Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico sob o sistema de Integração Lavoura-Pecuária. **Global Science and Technology**, v.4, n.2, p.38-46, 2011.

MARCHÃO, R.L. BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, N.6, p.873-882, 2007.

MATEI, A. P.; FILIPPI, E. E. O Bioma Pampa e o desenvolvimento regional do Rio Grande do Sul. In: 6º Encontro de Economia Gaúcha, Porto Alegre, 2012.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F.R. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.425-433, 2003.

MEDRADO, M. J. S. Cultivo do eucalipto, Importância socioeconômica e ambiental. 2008. Disponível em:
http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/01_Importancia_economica.htm. Acesso em: 20 mai. 2015.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 264 p.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107p.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. É. Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. (Eds.) **Biotecnologia, estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina-DF: Embrapa cerrados, 2011. p. 219-244.

MILORI, D. M. B. P.; BAYER, C.; BAGNATO, V. S.; MIELNICZUK, J.; MARTINNETO, L. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, v. 167, p. 739-749, 2002.

MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic Matter Study of Whole Soil Samples Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.57-62, 2005.

MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.57-63, 2006.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de Integração Lavoura-Pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p.389-400, 2012.

NABINGER, C.; TENTARDINI, F. R.; SIMON, L. L.; CARVALHO, P. C. F.; AGNOL, M. D.; SILVA, J. L. S.; NEVES, F. P. **Manejo sustentável das pastagens naturais: região da depressão central do RS**. Disponível em:
http://www1.ufrgs.br/extensao/salaoextensao/mostra/vis_acao_mostra.asp?CodAcaoExtensao=8282. Acesso em: 12 ago. 2009.

OLIVEIRA, B. S. **Atributos físicos e biológicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na Amazônia meridional.** 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistema de Produção Agrícola) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2013.

ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F. B.; BERTOLLO, A. M. KAISER, D. R.; SILVA, V. R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.2, p.619-626, Mar-Abr. 2014.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n.2, p. 189-195, 1999.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.567-573, 2004.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. **Global Science and Technology**, v. 03, n. 02, p.87-97, 2010.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2010.

<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=48826> Acesso em: 08 fev. de 2015.

PÔRTO, M. L.; ALVES, J. C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.4, p. 1011-1017, 2009

PRAGANA, R. B; RIBEIRO, M.R; NÓBREGA, J. C. A; RIBEIRO FILHO, M.R; COSTA, J. A. Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1591-1600, 2012.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

RAO, S.C. et al. Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v.43, n.6, p.2212-2217, Nov. 2003.

RAPHAEL, Juan Piero Antonio. **Matéria orgânica do solo em rotações de culturas sob sistema semeadura direta**. 2014. 101f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2014.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirao Preto. Palestras. Ribeirão Preto: SBSCS, 2003 (CD-ROM).

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.

REINERT, D.J.;ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. et. al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 32:1795-2215, 2008.

REVISTA IBAMA, 2005. <http://www.defesabiogaucha.org/textos/texto01.htm>. Acesso em: 26 mai. de 2015.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**, Dourados – MS: Embrapa Agropecuária Oeste e Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALTON, J; MIELNICZUK, J; BAYER, C; et al.,.Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.32, p. 11-21, 2008.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1349-1356, 2011.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, n.1, p.70-79, 2014.

SANTOS, H. P.; FONTANELLI, R. S.; BAIER, A. C.; TOMM, G. O. **Principais forrageiras para integração lavoura-pecuária, sob plantio direto, nas regiões Planalto e Missões do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 142p.

SANTOS, L. **Monoculturas de árvores exóticas e conservação da diversidade da fauna no Rio Grande do Sul**. 2006. 54f. Monografia (Especialização) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, D. C. **Frações físicas e qualidade da matéria orgânica em agroecossistemas do Bioma Pampa**. 2011. 141f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1332-1338, 2011.

SCHIAVO, J. A. COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p.406-412, 2012.

SILVA, A.P. da; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1775-1781, 1994.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 275-374.

SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2435-2441, 2008.

SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011.

SILVA, J. L. S.; THEISEN, G.; BORTOLINI, F. Planejamento de uso das áreas em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scyentifica UFPRS**, v. 6, n. 2, 2011.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SILVA, J. L. S. THEISEN, G.; FLORES, C. A.; BORTOLINI, F.; ALVES, G. C. **Planejamento de Uso das Áreas em Integração Lavoura-pecuária-floresta no Bioma Pampa**. Circular Técnica nº 137. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012, 9p.

SILVA, F. D. et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop-livestock with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, n. 1, p. 60-69, Jun. 2014.

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, n.6, p. 1829-1836, Nov-Dez. 2009.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO P. C. F.; OLIVEIRA, E. V. F.; MARTINS, A. P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n. 4, p. 1365-1374, 2010.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.79-88, 2010a.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. 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.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

STIEVEN, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SANTOS, J. O.; WRUCK, F. J.; CAMPOS, D. T. S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.53-58, 2014.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, v.99, p. 335–345, 2007.

TEDESCO, M.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, p.188, Porto Alegre – RS, 1995.

TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; BERGAMIN, A.C.; SOUZA, L.C.F. Physical properties and particle-size fractions of soil organic matter in crop-livestock integration. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1299-1309, 2012.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Especiais em Ciências do Solo**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 196-275, 2002.

VARGAS, I. C. S. Indicações geográficas no Brasil: Possibilidades para os produtores inseridos na área de proteção ambiental do Ibirapuitã – RS. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

VAN DE WERF, H.; VERSTRAETE, W. Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration: relation to conventional estimation of total biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.3, p.267-271, 1987.

VERDUM, R. **O pampa. Ainda desconhecido**. Revista do Instituto Humanitas Unisinos - IHU Online. São Leopoldo, 7 agosto de 2006, n°: 183, p.4-9.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, Out.2011.

WWF–2008 Disponível em:

<http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/biomas/bioma_campos/index.cfm>
Acesso em: 18 maio. 2015

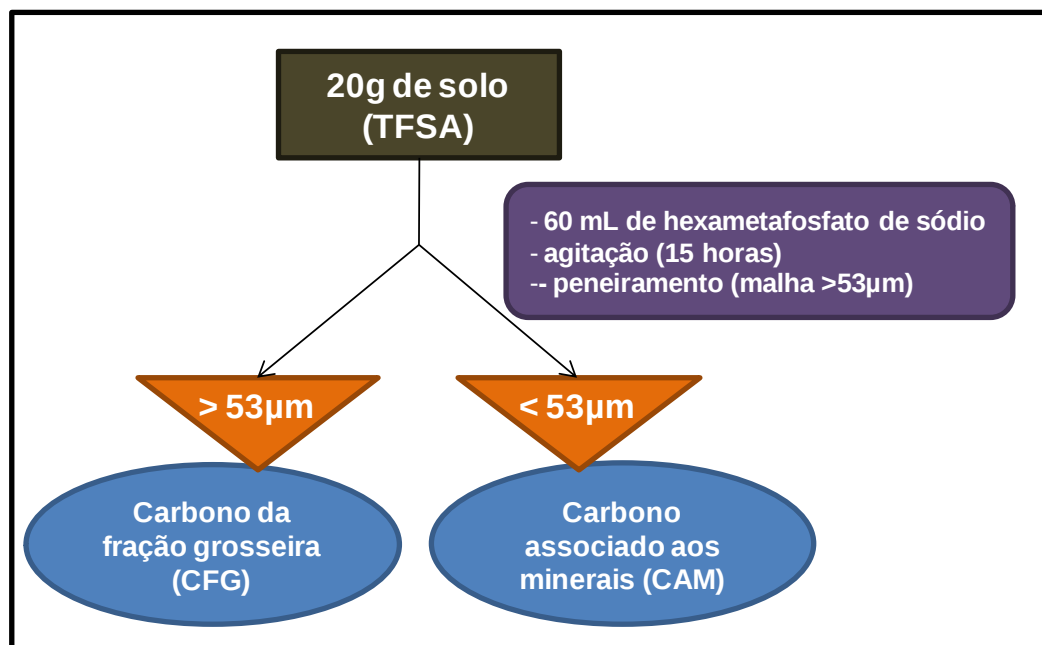
WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Malden, v. 67, n. 3, p. 321-358, 1992.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society of Agronomy**, v.28, n.5, p.337- 351, 1936.

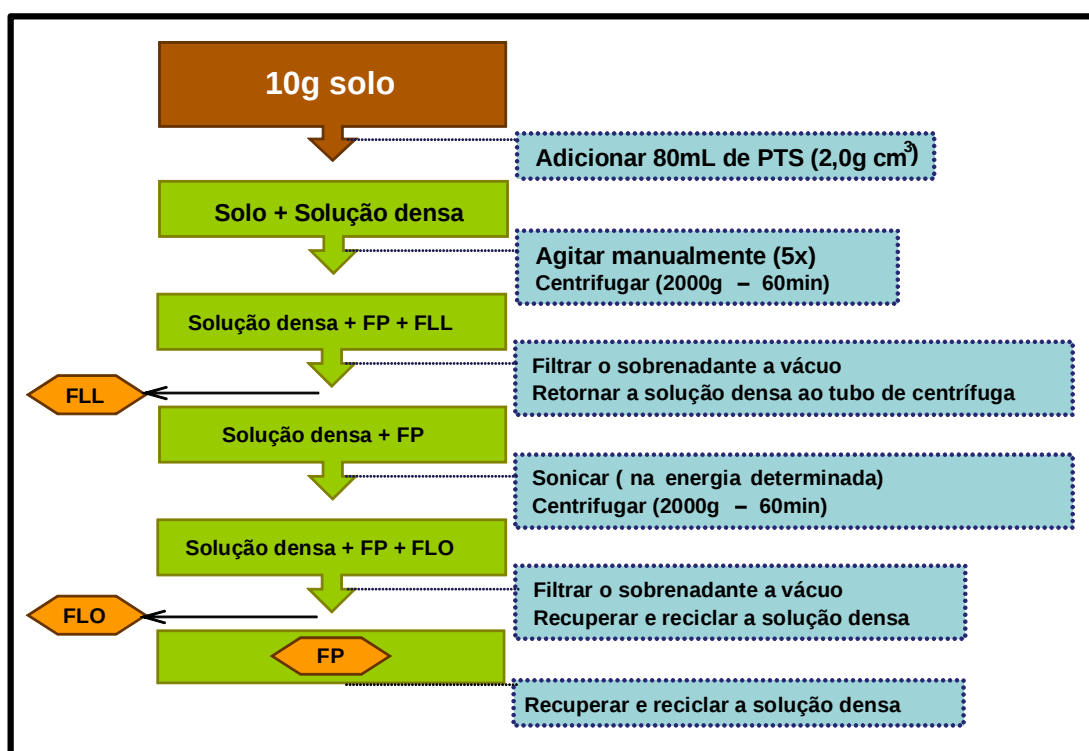
WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 256-265, 2012.

ZAGATTO, M. R. G. **Fauna edáfica em sistemas de uso do solo no Município de Ponta Grossa – PR**. 2014. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná.

7 ANEXOS



Anexo A. Processo de fracionamento físico granulométrico das amostras conforme Cabardella & Elliot (1992).



Anexo B. Processo de fracionamento físico densimétrico das amostras conforme Conceição et al. (2008).