



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS**  
**CAMPUS DE CERRO LARGO**  
**CURSO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE**  
**E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS**

**DANIELA PILECCO**

**ADIÇÃO DE ESTERCO E PEDOTURBAÇÃO EM PASTAGENS DO NOROESTE**  
**DO RIO GRANDE DO SUL**

**CERRO LARGO**  
**2020**

**DANIELA PILECCO**

**ADIÇÃO DE ESTERCO E PEDOTURBAÇÃO EM PASTAGENS DO NOROESTE  
DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologia Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis.

Linha de pesquisa: Qualidade ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser  
Coorientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

**CERRO LARGO-RS**

**2020**

## **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Pilecco, Daniela

ADIÇÃO DE ESTERCO E PEDOTURBAÇÃO EM PASTAGENS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL / Daniela Pilecco. -- 2020.

73 f.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser

Co-orientador: doutor Renan Costa Beber Vieira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Cerro Largo, RS, 2020.

1. Adição de esterco e pedoturbação em pastagens do noroeste do RS.. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Vieira, Renan Costa Beber, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

**DANIELA PILECCO**

**ADIÇÃO DE ESTERCO E PEDOTURBAÇÃO EM PASTAGENS DO NOROESTE  
DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação de mestrado, apresentada para o Programa de Pós-graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis.

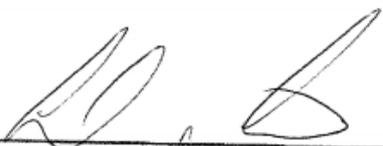
Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser.

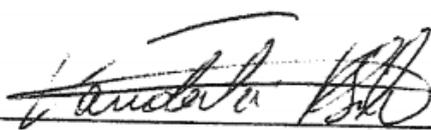
Coorientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

Esta dissertação foi defendida e aprovada em: 13/08/2020.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Daniel Joner Daroit - UFFS

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva - UFSM

## **DEDICATÓRIA**

À minha família, em especial meu companheiro Adriano e meus pais Noeli e Hélio, por acreditarem e me apoiarem em mais essa etapa da minha vida!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da Vida!

A minha mãe Noeli Tramm Pilecco, pelo apoio desde o momento em que fui aprovada na seleção até o término, por todas as palavras de incentivo.

Ao meu pai Hélio José Pilecco, pelo apoio e auxílio nos meus experimentos a campo.

Ao meu companheiro Adriano Rafael Dilly, que desde que entrou na minha vida, esteve do meu lado, me apoiando e ajudando na implantação, manejo e nas coletas a campo dos meus experimentos.

A minha irmã Silvane Pilecco Hermann, cunhado Marcelo Artur Hermann, e sobrinhos/afilhados Giovana, Diovanni, Gabriel, Ricardo e Joaquim por compreenderem a minha falta em diversos momentos familiares.

Ao meu orientador Prof. Douglas Rodrigo Kaiser pelos ensinamentos, orientação e auxílio nos experimentos e análises.

Ao meu coorientador Prof. Renan Costa Beber Vieira pelo auxílio nas coletas, identificação e análise estatística dos atributos biológicos.

As acadêmicas de agronomia Larissa Werle e Estéfany Pawlowski pelo auxílio na implantação e coletas.

A família Knapp, em especial ao Joni, pela disponibilidade da área para implantação do experimento na Linha Ressaca, Campinas das Missões.

A família Dilly, pela disponibilidade da área para implantação do experimento de Lajeado Pessegueiro, Santa Rosa.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Vanderlei Rodrigues da Silva e Prof. Daniel Joner Daroit, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

A todos os meus familiares e amigos, que entenderam os diversos momentos de isolamento, para que eu pudesse concluir essa etapa.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

A bovinocultura é uma das principais atividades agropecuárias do país, exercendo papel fundamental na economia primária, com base alimentar de pastagens. O uso inadequado dessas áreas tem sido uma das principais causas do declínio na fertilidade natural desses solos, sendo que mais da metade das pastagens brasileiras, tanto nativas como cultivadas vem sofrendo algum tipo de degradação. Assim, buscou-se avaliar se a decomposição de esterco bovino melhora as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo em duas áreas de pastagens na região noroeste do Rio Grande do Sul, no ano 2019. A pesquisa utilizou método de abordagem hipotético-dedutivo, método de procedimento estatístico, com pesquisa experimental a campo, de caráter quantitativo e técnica de observação direta intensiva, observação a campo e laboratorial. Foram implantados dois experimentos, um em pastagem anual com pastejo e outro em pastagem perene sem pastejo. Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, com 3 tratamentos e 7 repetições, totalizando 21 unidades experimentais de 2 m<sup>2</sup>. Os tratamentos utilizados foram: (SES) condição original da área sem adição de esterco; (ES) aplicação de camada de 5 cm de esterco bovino fresco; (ET) aplicação de camada de 5 cm de esterco bovino fresco e colocação de tela de proteção contra a entrada da macrofauna do solo. Para análise biológica da macrofauna edáfica foi utilizado o método TSBF (*Tropical Soil and Biology Fertility*), os indicadores químicos analisados foram o pH, P, K, MO, Ca, Mg, H+Al, CTCef, CTCp e a saturação de bases e os indicadores físicos avaliados foram densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, grau de compactação e estabilidade de agregados em água. A área de pastagem anual com pastejo teve biodegradação média de 78% do esterco, apresentando melhoria na qualidade biológica do solo com aumento de indivíduos do grupo dos Coleópteros, Armadilidiidae, Oligochaeta e Molusca, melhoria química através do aumento de teores de nutrientes como P e K, e na estrutura do solo através da diminuição da densidade e grau de compactação, e aumento da porosidade do solo nas camadas entre 10 e 20 cm nos ES e ET, porém, as camadas de 5 a 20 cm apresentaram índices elevados de grau de compactação do solo em todos os tratamentos, verificando que o pisoteio animal eleva o grau de compactação dos solos a níveis críticos, diminuindo a macroporosidade dos mesmos. A biodegradação de 100% do esterco no experimento em área de pastagem perene sem pastejo, apresentou nos ES e ET maior quantidade de indivíduos do grupo dos Coleópteros, Armadilidiidae e Oligochaeta, aumento de teores dos nutrientes P, K, Ca e Mg, e dos níveis de pH e saturação de bases e redução dos teores de H + Al e CTC efetiva, além de apresentar aumento do macroporos na camada de 0 a 5 cm. Conclui-se que o esterco bovino melhora propriedades químicas, físicas e biológicas de solos de pastagens perene e anual, principalmente com aumento da macrofauna benéfica, teores de nutrientes no solo, e redução do grau de compactação e aumento da quantidade de macroporos.

Palavras-chave: Bovinocultura; pastagens; esterco; biodegradação.

## ABSTRACT

Cattle farming is one of the main agricultural activities in the country, playing a fundamental role in the primary economy, based on pasture food. The inappropriate use of these areas has been one of the main causes of the decline in the natural fertility of these soils, with more than half of Brazilian pastures, both native and cultivated, suffering some type of degradation. Thus, we sought to assess whether the decomposition of bovine manure improves the biological, physical and chemical properties of the soil in two pasture areas in the northwest region of Rio Grande do Sul, in the year 2019. The research used a hypothetical-deductive approach method, method of statistical procedure, with experimental research in the field, of quantitative character and technique of intensive direct observation, observation in the field and laboratory. Two experiments were implemented, one in annual pasture with grazing and the other in perennial pasture without grazing. The experiments were conducted in a randomized block design, with 3 treatments and 7 repetitions, totaling 21 experimental units of 2 m<sup>2</sup>. The treatments used were: (SES) original condition of the area without the addition of manure; (ES) application of a 5 cm layer of fresh bovine manure; (ET) application of a 5 cm layer of fresh bovine manure and placing a protective screen against the entry of soil macrofauna. For biological analysis of the edaphic macrofauna, the TSBF method (Tropical Soil and Biology Fertility) was used, the chemical indicators analyzed were pH, P, K, MO, Ca, Mg, H + Al, CTCef, CTCp and base saturation and the physical indicators evaluated were density, total porosity, macroporosity, microporosity, degree of compaction and stability of aggregates in water. The grazing annual grazing area had an average biodegradation of 78% of the manure, showing improvement in the biological quality of the soil with an increase in individuals from the group of Coleoptera, Armadilidiidae, Oligochaeta and Mollusca, chemical improvement through the increase of nutrient contents such as P and K, and in the soil structure by decreasing the density and degree of compaction, and increasing the porosity of the soil in layers between 10 and 20 cm in the ES and ET, however, the layers of 5 to 20 cm showed high rates of degree of soil compaction in all treatments, verifying that animal trampling raises the degree of soil compaction to critical levels, decreasing their macroporosity. The biodegradation of 100% of the manure in the experiment in an area of perennial pasture without grazing, showed in ES and ET a greater number of individuals from the group of Coleoptera, Armadilidiidae and Oligochaeta, increased levels of nutrients P, K, Ca and Mg, and pH levels and base saturation and reduction of H + Al and effective CTC levels, in addition to an increase in macropores in the 0 to 5 cm layer. It is concluded that bovine manure improves chemical, physical and biological properties of soils of perennial and annual pastures, mainly with an increase in beneficial macrofauna, nutrient levels in the soil, and reduction of the degree of compaction and an increase in the amount of macropores.

Keywords: Cattle farming; pastures; manure; biodegradation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das áreas dos experimentos.....	30
Figura 2 - Croqui de delineamento dos experimentos.....	31
Figura 3 - Experimento na área com pastagem perene sem pastejo (A) e da área com pastagem anual com pastejo (B) .....	31
Figura 4 - Localização da área de pastagem anual com pastejo em Campinas das Missões.....	33
Figura 5 - Instalação experimento na área de pastagem anual com pastejo.....	34
Figura 6 - Localização da área de pastagem perene sem pastejo em Santa Rosa.....	36
Figura 7 - Instalação experimento na área de pastagem perene sem pastejo.....	37
Figura 8 - Coleta a campo (A) e análise em laboratório da macrofauna edáfica (B e C).....	40
Figura 9 - Procedimentos para análise da textura do solo.....	41
Figura 10 - Coleta de anéis volumétricos com estrutura preservada para análise de densidade, porosidade total e macro e microporos.....	42
Figura 11 - Procedimento da análise de densidade, porosidade total e macro e microporos.....	43
Figura 12 - Procedimento da análise de estabilidade de agregados em água.....	44
Figura 13 - Preparação das amostras para análise química.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação pluviométrica no município de Cerro Largo durante o período do experimento.....	35
Gráfico 2 - Precipitação pluviométrica na área do experimento de pastagem perene sem pastejo.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da textura do solo na área do experimento em Campinas das Missões.....	33
Tabela 2 - Quantidade de nutrientes presente no esterco bovino depositado no experimento da área de pastagem anual com pastejo.....	35
Tabela 3 - Classificação da textura do solo na área de pastagem perene sem pastejo.....	36
Tabela 4 - Quantidade de nutrientes presente no esterco bovino depositado no experimento da área de pastagem perene sem pastejo.....	37
Tabela 5 - Cronograma de coleta das amostras de solo para análises.....	38
Tabela 6 - Abundância de indivíduos por grupos e abundância total em cada tratamento na área de pastagem anual com pastejo.....	47
Tabela 7 - Análise estatística da abundância de indivíduos por parcela de cada tratamento na área de pastagem anual com pastejo .....	48
Tabela 8 - Índice de Riqueza, índice de dominância de Simpson, índice de diversidade de Shannon e índice de Equabilidade de Pielou por tratamento na área de pastagem anual com pastejo.....	48
Tabela 9 - Abundância de indivíduos por grupos e abundância total em cada tratamento na área de pastagem perene sem pastejo.....	49
Tabela 10 - Análise estatística da abundância de indivíduos por parcela de cada tratamento na área de pastagem perene sem pastejo .....	51
Tabela 11 - Índices de Riqueza, índice de dominância de Simpson, índice de diversidade de Shannon e Índice de Equabilidade de Pielou por tratamento na área de pastagem perene sem pastejo.....	51
Tabela 12 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores químicos do solo na área de pastagem anual com pastejo .....	52
Tabela 13 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores químicos do solo na área de pastagem perene sem pastejo.....	54
Tabela 14 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores físicos do solo na área de pastagem anual com pastejo.....	57
Tabela 15 - Efeito dos diferentes tratamentos na porcentagem dos agregados por classes, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico na área de pastagem perene sem pastejo.....	59
Tabela 16 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores físicos do solo na área de pastagem perene sem pastejo.....	60

Tabela 17 - Efeito dos diferentes tratamentos na porcentagem dos agregados por classes, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico na área de pastagem perene sem pastejo.....62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
3.1 A PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUL DO BRASIL .....	18
<b>3.1.1 Caracterização das pastagens</b> .....	<b>18</b>
3.2 INTERAÇÃO SOLO-PLANTA-ANIMAL EM PASTAGENS.....	19
3.3 DEGRADAÇÃO DO SOLO EM PASTAGENS .....	20
3.4 MANEJO E QUALIDADE DO SOLO EM PASTAGENS .....	22
<b>3.4.1 Indicadores de qualidade biológica do solo</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4.2 Indicadores de qualidade física do solo</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4.3 Indicadores de qualidade química do solo</b> .....	<b>28</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
4.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	30
4.2 DEMARCAÇÃO DAS PARCELAS E INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	31
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PASTAGEM ANUAL COM PASTEJO .....	32
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PASTAGEM PERENE SEM PASTEJO .....	35
4.5 COLETA DE DADOS .....	38
<b>4.5.1 Indicadores biológicos, físicos, químicos do solo</b> .....	<b>39</b>
4.5.1.1 Indicadores biológicos .....	39
4.5.1.2 Indicadores físicos.....	40
4.5.1.3 Indicadores químicos.....	44
<b>4.5.2 Análise estatística dos dados</b> .....	<b>45</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
5.1 DECOMPOSIÇÃO DO ESTERCO BOVINO .....	46
5.2 INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO.....	46
<b>5.2.1 Área de pastagem anual com pastejo</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2.2 Área de pastagem perene sem pastejo</b> .....	<b>49</b>
5.3 INDICADORES QUÍMICOS DO SOLO .....	51
<b>5.3.1 Área de pastagem anual com pastejo</b> .....	<b>51</b>
<b>5.3.2 Área de pastagem perene sem pastejo</b> .....	<b>53</b>

5.4 INDICADORES FÍSICOS DO SOLO .....	56
<b>5.4.1 Área de pastagem anual com pastejo .....</b>	<b>56</b>
<b>5.4.2 Área de pastagem perene sem pastejo .....</b>	<b>59</b>
5.5 RELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS ....	63
<b>5.5.1 Área de pastagem anual com pastejo .....</b>	<b>63</b>
<b>5.5.2 Área de pastagem perene sem pastejo .....</b>	<b>64</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>65</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura é uma das principais atividades agropecuárias do país, exercendo papel fundamental na economia primária. O Brasil possui o maior rebanho comercial de bovinos, sendo o maior exportador mundial de carne bovina, além de que 76,3% da produção de carne destina-se ao mercado interno (ABIEC, 2020).

A produção de carne e leite caracteriza-se como a base produtiva da maioria das propriedades brasileiras, principalmente da agricultura familiar, onde são destinados para o autoconsumo e geração de renda. No agronegócio, a pecuária de corte possui grande relevância, destacando-se nas regiões centro-oeste e norte do país.

A base alimentar dos bovinos, seja de corte ou de leite, são as pastagens. O uso inadequado das áreas exploradas pela atividade pecuária tem sido uma das principais causas do declínio na fertilidade natural desses solos, o que leva à degradação. Estima-se que mais da metade das pastagens brasileiras, tanto as nativas como as cultivadas, vem sofrendo algum tipo de degradação.

O solo possui propriedades biológicas, físicas e químicas, sendo que a degradação das passagens afeta a maioria dessas propriedades, acarretando perda da biodiversidade, diminuição na fertilidade, gerando a compactação do solo e diminuindo a capacidade de retenção e infiltração de água.

A degradação é ocasionada por diversos fatores, entre eles o superpastejo, alta lotação, pisoteio e a falta de manejo das pastagens. O superpastejo faz com que o solo fique desprotegido, sendo afetado diretamente pelo pisoteio dos animais, situação que se agrava quando há alta lotação nos piquetes. O impacto mecânico ocasionado pelo pisoteio excessivo altera principalmente a forma e a estabilidade dos agregados de solo, resultando em alterações na densidade, porosidade e resistência do solo.

O solo é o habitat para muitos seres macroscópicos e microscópicos, contendo uma enorme diversidade de organismos que garantem o seu biofuncionamento e sustentação dos ecossistemas. A macrofauna do solo, por participar ativamente nas interações que se estabelecem entre os processos químicos, físicos e biológicos, tem sido apontada como um bom indicador da qualidade do solo. Assim, muitos desses seres vivos existentes no solo possuem papel fundamental na decomposição do esterco e na pedoturbação, além de construírem suas galerias no solo.

O esterco excretado pelos bovinos durante o pastejo tem um papel importante para as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, pois a adição do esterco pelos macroinvertebrados resulta na mistura e incorporação de esterco em camadas mais profundas do solo. Esse processo de incorporação de material orgânico pode ter efeitos benéficos na ciclagem e incorporação de nutrientes e na melhoria da estrutura do solo em pastagem compactadas pelo pisoteio animal. As galerias criadas pelos organismos do solo podem se tornar importantes caminhos para o crescimento das raízes, para a infiltração de água e aeração do solo.

Conhecer e quantificar os efeitos do esterco bovino nas propriedades biológicas, físicas e químicas do solo é fundamental, principalmente como alternativa de manejo para a recuperação de áreas de pastagens degradadas, principalmente na melhoria das propriedades físicas e no aumento da fertilidade e níveis de matéria orgânica.

Assim, buscou-se avaliar se a deposição e decomposição de esterco de bovinos melhora as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo em duas áreas de pastagens na região noroeste do Rio Grande do Sul, no ano 2019. Levantou-se como hipótese que com a decomposição do esterco ocorre melhoria na agregação, diminuição da densidade, aumento da porosidade e do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes, melhorando a qualidade e a fertilidade do solo de pastagens.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar se o esterco de bovinos após a decomposição melhora as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo em duas áreas de pastagens na região noroeste do Rio Grande do Sul, ano 2019.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar e quantificar a biodiversidade da macrofauna do solo das áreas de pastagem anual e perene com e sem deposição e decomposição de esterco bovino.
- Avaliar a porosidade, densidade, agregação e retenção de água no solo em pastagem anual e perene com e sem deposição e decomposição de esterco bovino.
- Quantificar o teor de nutrientes e matéria orgânica em pastagem com e sem deposição e decomposição de esterco bovino.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 A PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUL DO BRASIL**

Os principais sistemas de produção são o agrícola (grãos e fibras), o pecuário (corte e leite) e a integração da lavoura e pecuária (ILP) que é a mais sustentável para as propriedades rurais da agricultura familiar. O sistema ILP é a associação entre pecuária de corte ou leite e cultivos como soja, milho, trigo, arroz, eucalipto, dentre outros (ASSMANN, et al., 2008).

A produção pecuária está baseada na produção de forragens para a alimentação de bovinos de leite e corte. O Brasil conta com o maior rebanho comercial de bovinos a nível mundial, com 213,68 milhões de cabeças, sendo o maior exportador mundial de carne bovina no ano de 2019, com 2.490,3 mil TEC (tonelada equivalente de carcaça). A produção de leite brasileira corresponde a 30 bilhões de litros, sendo Minas Gerais o maior produtor com quase 9 bilhões de litros/ano (IBGE, 2017).

O estado do Rio Grande do Sul tem um rebanho bovino total de quase 13 milhões de cabeças, sendo 1,831 milhões de cabeças destinados a atividade leiteira (ABIEC, 2020). É o segundo maior produtor de leite com quase 4 bilhões de litros/ano (IBGE, 2017).

A região noroeste do estado é a maior produtora de leite, sendo Santo Cristo o município com maior produção de leite do estado. O município de Campinas das Missões possui produção de 37.729 milhões de litros/ano, rebanho total de 20.742 cabeças e Santa Rosa possui 30.868 milhões de litros/ano e rebanho total de 20.111 cabeças (IBGE, 2017).

##### **3.1.1 Caracterização das pastagens**

O Brasil possui uma área superior a 162,5 milhões de hectares de pastagens, destas 9,481 milhões de hectares encontram-se no estado do Rio Grande do Sul. (IBGE, 2017). A maioria das áreas de pastagem do país são nativas, principalmente nas regiões centro-oeste e norte. No sul do país, encontra-se uma maior quantidade de pastagens cultivadas.

O Rio Grande do Sul tem diversas áreas de pastagem nativa, principalmente na região sul do estado, destinadas principalmente para a produção de bovinos para carne, com eventual sobressemeadura de azevém e aveia preta no inverno. A região

noroeste do estado, caracterizada pela pecuária leiteira, tem por principais tipos de pastagem as perenes cultivadas e anuais. O uso de pastagens para a produção de carne e leite é a fonte de volumoso mais acessível e prática para fornecer alimentos para os bovinos (DIAS-FILHO, 2014).

Nas pastagens perenes as principais espécies cultivadas são as gramas tifton 85 (*Cynodon* spp.) e jiggs (*Cynodon dactylon*), com sobressemeadura no inverno de azevém (*Lolium multiflorum*) e/ou aveia (*Avena sativa*). As pastagens anuais mais utilizadas para o verão são o capim sudão (*Sorghum sudanense*), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) e milheto (*Pennisetum americanum*), e no inverno os azevém (diplóides e tetraplóides) e as aveias (preta e branca) eventualmente consorciados com ervilhaca (*Vicia sativa*) e trevos (*Trifolium* spp.), e algumas áreas com os trigos (*Triticum aestivum*) de duplo propósito (pastejo e grãos).

Na atividade leiteira o manejo dessas pastagens é realizado com piqueteamento, de forma rotacional. Porém, muitas vezes não é respeitada a altura de pastejo, a lotação animal e a umidade do solo, ocasionando sérios problemas de degradação, principalmente pela falta de cobertura verde no solo e o pisoteio excessivo.

### 3.2 INTERAÇÃO SOLO-PLANTA-ANIMAL EM PASTAGENS

Na interação solo-planta-animal os componentes vegetais incorporam nutrientes e energia, os animais funcionam como catalisadores ao introduzirem variabilidade e novas vias de fluxos de nutrientes e água, e o solo é o compartimento que acolhe os vários processos sinérgicos, ou seja, o mediador dos processos (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013).

O manejo sustentável e adequado das pastagens envolve a disponibilidade de nutrientes no solo suficientes para o estabelecimento e a produtividade das forrageiras e a produção de matéria seca, que é utilizada para a alimentação dos animais (SANTOS et al., 2011). A planta, via sistema radicular absorve os nutrientes do solo translocando-os para a parte aérea. A parte aérea das plantas é consumida pelos animais, os quais defecam parte da forragem que não foi digerida, retornando-a para o solo, onde é decomposto e novamente transformado em nutrientes.

Os animais são responsáveis pela distribuição e reciclagem de nutrientes, sendo uma carga circulante sobre o solo, consumindo a produção de forragens, as quais retornam em parte, através das fezes desuniformemente distribuídas. A

produção animal em pastagens é resultado da interação de diversos processos inerentes à produção de forragem, consumo e conversão da forragem ingerida em produto (SANTOS et al., 2011). O animal em pastejo retém uma pequena quantidade de nutrientes da forragem na forma de produto animal, o restante é excretado, sendo que bovinos urinam 8 a 12 vezes por dia e defecam 11 a 16 vezes por dia (HAYNES; WILLIAMS, 1993), produzindo em cada evento 1,6 a 2,2 litros de urina e 1,5 a 2,7 kg de fezes. A produção diária de esterco (fezes + urina) dos bovinos leiteiros é de 45 a 48 kg/vaca/dia, ou seja, aproximadamente 10% de seu peso corporal (KONZEN; ALVARENGA, 2008). Assim, quando o sistema de produção é intensificado os animais participam expressivamente na reciclagem dos nutrientes por meio da excreção de fezes e urina, pois cada quilo de esterco bovino apresenta em média 19,3 g de N; 5,6 g de P; 19,9 g de K; 10,9 g de Ca e 4,4 g de Mg (MULLER , 2001).

Os efeitos do pastejo na estrutura do solo são complexos e sinérgicos, diretamente através da pressão aplicada ao solo pelos cascos dos bovinos, capaz de gerar rearranjo estrutural, e indiretamente através das mudanças na dinâmica de vegetação, atividade de raízes e deposição de urina e fezes dos animais, o que altera a estrutura do solo pelas plantas e organismos do solo (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013). O pastejo pode influenciar na ciclagem de nutrientes, na recolocação dos nutrientes através da concentração de fezes e urina numa área, e alterações das condições físicas do solo através da compactação devido ao superpastejo (SANTOS et al., 2011).

### 3.3 DEGRADAÇÃO DO SOLO EM PASTAGENS

Na maioria das áreas de pecuária bovina do Brasil, o sistema extrativista adotado vem gerando um quadro de degradação ambiental ocasionado pela má utilização dos recursos naturais, principalmente no que se refere ao solo, devido à falta de aporte de nutrientes e a queda da matéria orgânica (FOGEL et al., 2013).

Devido ao superpastejo, alta lotação, pisoteio e a falta de manejo das pastagens, a degradação das mesmas tem se tornado um grave problema. Estima-se que, no Brasil, de 50 a 70% das pastagens apresentam algum grau de degradação, caracterizando a pecuária extensiva como atividade essencialmente danosa ao meio ambiente e improdutiva (DIAS-FILHO, 2011). A degradação das áreas de pastagem diminui a produção de forragem e a cobertura do solo, além da redução no número de raízes das plantas e concentração do sistema radicular próximo à superfície do solo,

resultando em diminuição da porosidade total, aumento da densidade do solo na camada superficial, o que ocasiona diminuição da capacidade de infiltração da água e da capacidade de absorção de nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo (MULLER et al., 2001). Em áreas de pastagens com superpastejo, ou baixa produção de forragem, o solo fica mais exposto, favorecendo os ciclos de umedecimento e secagem do solo.

A degradação das pastagens pode ser ocasionada, principalmente, por dois fatores, a degradação agrícola, onde há um aumento na proporção de plantas daninhas, diminuindo gradualmente a capacidade de suporte da pastagem, e a degradação biológica onde o solo perde a capacidade de sustentar a produção vegetal de maneira significativa, levando à substituição da pastagem por plantas pouco exigentes em fertilidade do solo, ou simplesmente ao aparecimento de áreas desprovidas de vegetação (DIAS-FILHO, 2014).

Quando compararam áreas de pastagens com outras áreas agrícolas (laranja, cana e mata) Portugal; Costa e Costa, (2010) observaram nas áreas de pastagem redução da porosidade total, da estabilidade de agregados e do teor de matéria orgânica do solo e degradação física mais avançada, evidenciada pelo aumento da densidade do solo e resistência à penetração.

Pesquisa realizada por Vizzotto et al. (2000) concluiu que o pisoteio animal ocasiona redução da porosidade total e aumento da densidade do solo nos primeiros cinco centímetros de solo.

A utilização de adubação orgânica tem se mostrado como alternativa promissora na recuperação de pastagens degradadas em avaliações em curto prazo. Sugere-se acompanhamentos a longo prazo do efeito dos adubos orgânicos, devido à dinâmica complexa destes adubos no solo e ao efeito que podem gerar no sistema (FOGEL et al., 2013).

O aproveitamento de resíduos orgânicos representa alternativa para recuperação de pastagens degradadas. Em pesquisa realizada na Costa Rica, onde foram depositados fragmentos de esterco cru sob pastagens e analisadas as propriedades físicas ao longo dos dias, os processos associados com a decomposição do esterco desempenharam um papel na redução da compactação superficial, aumentando o volume de macroporos do solo, onde a porosidade aumentou 67% nos primeiros 3 cm do solo, a densidade do solo foi reduzida em 10%, e a capacidade de infiltração de 2 horas aumentou 240% (HERRICK; LAL, 1995).

Para evitar a degradação das pastagens, o melhor manejo é o preventivo, onde o produtor faz o controle rotineiro da taxa de lotação (número de animais por área de pasto), analisa anualmente o solo, faz a manutenção periódica da sua fertilidade e controla as plantas daninhas e insetos-praga (DIAS-FILHO, 2017).

### 3.4 MANEJO E QUALIDADE DO SOLO EM PASTAGENS

A qualidade do solo está diretamente ligada com as potencialidades e as limitações de uso. Para se avaliar a qualidade do solo utiliza-se indicadores biológicos, físicos e químicos. A qualidade do solo em pastagem é de fundamental importância para alcançar altos níveis de produção e produtividade.

#### 3.4.1 Indicadores de qualidade biológica do solo

O solo é formado por diversos componentes minerais e orgânicos, presentes em diferentes fases: sólida, líquida e gasosa. Dentre os muitos possíveis integrantes, os seres vivos assumem importante papel na formação e manutenção da dinâmica do solo (GARCIA; CATANOZI, 2011).

O solo é o habitat para muitos seres macroscópicos e microscópicos, que garantem o seu biofuncionamento e sustentação. Estudos demonstram que a biota do solo é muito sensível às modificações da cobertura e da estrutura do solo, sendo necessário se aprimorar novas formas de manejo deste solo, que visem à maximização de sua matéria orgânica, priorizando a manutenção de sua fauna e flora, assim como a conservação das características físicas e químicas do solo (MANHAES; FRANCELINO, 2013).

Os organismos da fauna edáfica são capazes de modificar as características físicas, químicas e biológicas do solo, constituindo-se em componentes importantes para a avaliação da organização e funcionamento do mesmo (STEFFEN et al., 2007). A macrofauna do solo, por participar ativamente nas interações que se estabelecem entre os processos químicos, físicos e biológicos, tem sido apontada como um bom indicador da qualidade do solo. Assim, muitos desses seres vivos existentes no solo possuem papel fundamental na decomposição do esterco e na pedoturbação, além de construir suas galerias no solo. Os organismos do solo podem ser classificados conforme seu tamanho, onde a macrofauna corresponde a organismos maiores de 4 mm de comprimento e 2 mm de diâmetro corporal, com as características de construir

ninhos, cavidades, galerias e transportar materiais de solo. Na mesofauna, estão os organismos entre 0,2 e 4 mm de comprimento, que se movimentam em fissuras, poros e na interface do solo (GIRACCA et al., 2001).

A fauna do solo tem papel importante na regulação populacional dos microrganismos, que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica presente no solo, mas a interação dos organismos com os microrganismos, não é apenas controle populacional, mas sim a mais importante das interações na ciclagem de nutrientes, onde a mesofauna e macrofauna quebram as partículas orgânicas para que sejam mais facilmente decompostos pela microbiota do solo (CECCHIN et al., 2016).

Em solos com grande quantidade de biomassa vegetal e diversidades de plantas, ambientes pouco explorados, livres de pesticidas, encontra-se uma diversidade de organismos em equilíbrio. Esta harmonia se dá, possivelmente, pela maior diversidade da serapilheira, sendo uma área menos explorada na qual os animais da meso e macrofauna ajudam na quebra e decomposição da camada orgânica do solo, liberando nutrientes para as plantas (CECCHIN et al., 2016).

Os microrganismos do solo, devido à sua grande abundância e atividade biológica e metabólica e por responderem muito rápido às mudanças no ambiente edáfico, apresentam-se como promissores para uso na avaliação da qualidade do solo e indicadores da qualidade do mesmo (MANHAES; FRANCELINO, 2013).

Os invertebrados podem afetar direta ou indiretamente o transporte de materiais orgânicos e inorgânicos dentro e entre os sistemas do solo, de modo que o ambiente de decomposição e a localização da liberação de nutrientes sejam espacial e temporalmente diferentes para o material realocado e para o material de origem. Os efeitos diretos envolvem o transporte ativo de solo e serapilheira entre os habitats, mas o processamento e/ou a realocação desses materiais podem influenciar indiretamente seu transporte pela água, pelo vento ou pela gravidade. Os efeitos indiretos dos invertebrados nos processos físico-químicos do solo modificam a expressão dos efeitos diretos, alterando o solo como um ambiente para atividades microbianas e raízes de plantas. Esses efeitos são difíceis de quantificar, pois demoram a se desenvolver e podem não estar diretamente relacionados às atividades de invertebrados (ANDERSON, 1988).

Uma compreensão clara das ligações entre as funções ecológicas e a biodiversidade é necessária para avaliar e prever as verdadeiras consequências

ambientais das atividades humanas. Várias funções chave do ecossistema são fornecidas por besouros coprófagos na subfamília Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae), que se alimentam de excreções animais tanto em adultos como em larvas. Através da manipulação das fezes durante o processo de alimentação, os escaravelhos criam uma série de funções do ecossistema que vão desde a dispersão secundária de sementes até o ciclo de nutrientes e a supressão de parasitas. Muitas dessas funções ecológicas fornecem serviços ecossistêmicos valiosos, como o controle biológico de pragas e a fertilização do solo (NICHOLS et al., 2008).

Os besouros são insetos que prosperam em todo o mundo, sendo mais ativos durante as estações quentes e apresentam funções específicas no ecossistema, fazendo rolos de estrume para facilitar o movimento e incorporam no solo. Além de consumir, enterrar e decompor o estrume, esses besouros depositam seus ovos no chão. As larvas eclodem e se alimentam de parasitas gastrintestinais encontrados no esterco e sua ação de tunelamento areja o solo. Esses processos interrompem o ciclo de vida desses parasitas (SPENCER, 2012).

Em pesquisas realizadas com besouros “rola bosta” em pastagens tropicais costarriquenhas, foi constatada uma correlação positiva altamente significativa entre a massa de esterco removida de um fragmento de esterco e a massa de solo acumulada na superfície original do solo, onde para cada grama de esterco removida, houve acréscimo de 2 g de solo acumulado na superfície (HERRICK; LAL, 1996). Estudo realizado na França mostra que a remoção média de esterco devido à presença do besouro do esterco varia de 3,2 a 23,0% entre as espécies e tratamentos de abundância em um período de cinco meses, sendo que as taxas de remoção de esterco aumentaram com o aumento da abundância de besouros (TIXIER; BLOOR; LUMARET, 2015).

Os cupins e formigas são capazes de alterar drasticamente a porosidade do solo, os cupins têm efeitos na pedogênese, incorporação de matéria orgânica e decomposição e ciclagem de nutrientes de plantas (LEE; FOSTER, 1991). Os cupins formam pequenos poros milimétricos nos blocos de solo, mostrando efeito descompactador (BARROS et al., 2001) e alteram a natureza e distribuição da matéria orgânica, construindo galerias subterrâneas, modificando a textura do solo e influenciando na fertilidade do solo (WINK et al., 2005).

As formigas mantêm e restauram a qualidade do solo, pois operam na redistribuição das partículas, dos nutrientes e da matéria orgânica, melhorando a

infiltração de água no solo pelo aumento da porosidade e a aeração, sendo que a sua presença permite avaliar alterações ambientais indicando o estado de conservação ou de degradação (WINK et al., 2005).

Os Armadillidiidae, conhecidos como tatuzinho-de-jardim, alimentam-se de matéria orgânica em decomposição. As diferentes espécies podem ingerir diariamente de 0,5 a 20 % do seu peso vivo em matéria seca (BARETTA et al., 2011). Em projetos de revegetação de áreas degradadas, os Armadillidiidae podem desempenhar um papel importante estimulando a ciclagem de nutrientes através da fragmentação do material vegetal e servindo como base para muitas teias alimentares (QUADROS, 2010).

As minhocas, *Pontoscolex corethrurus*, possuem dependendo do nível de resíduos orgânicos, funções positivas e negativas no solo, sendo que na ausência de adições orgânicas de boa qualidade, ocasiona compactação do solo e um aumento em zonas densas na superfície e quando resíduos orgânicos estão presentes a atividade da minhoca se traduz em uma diminuição da densidade do solo e transformação da distribuição do tamanho dos poros com o desenvolvimento de uma macroporosidade interagencialmente (BARROS et al., 2001).

Os sistemas e regimes de manejo do solo influenciam a estrutura de comunidades de macrofauna com maior densidade de larvas de Oligochaeta e Coleóptera em pastagem perenes e em rotação lavoura-pecuária (LP), sendo que as áreas de LP e com sistemas de plantio direto apresentam maior riqueza de larvas de Oligochaeta, Coleóptera e Diptera (MARCHÃO et al., 2009).

O potencial da fauna do solo em contribuir para a reabilitação de terras degradadas e sua importância na ciclagem de nitrogênio e outros nutrientes vegetais, fornecem novas oportunidades para a biologia do solo se desenvolver como um aspecto importante da ciência do solo (LEE; FOSTER, 1991).

A biodiversidade da fauna edáfica e o equilíbrio do sistema podem ser avaliados utilizando alguns indicadores biológicos que apresentam a variedade e variabilidade de espécies de organismos presentes no solo. O índice de riqueza estima o número de grupos em uma comunidade não considerando a estrutura e a frequência, o índice de dominância de Simpson avalia a probabilidade de dois indivíduos da mesma amostra pertencerem à mesma espécie, o índice de diversidade de Shannon considera igual peso entre as espécies raras e abundantes, e o índice de

equabilidade de Pielou avalia o padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies (BARETTA et al., 2011).

### **3.4.2 Indicadores de qualidade física do solo**

Os solos podem ser afetados pela degradação da estrutura ocasionada pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas agrícolas, o que é evidenciado por valores de densidade  $>1,4 \text{ Mg m}^{-3}$  e por valores de macroporosidade abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , considerados o limite para o desenvolvimento das culturas agrícolas. O desenvolvimento das plantas, em curtos períodos de estiagem, poderá ser limitado, devido ao baixo acesso à água armazenada nas camadas mais profundas e baixo desenvolvimento radicular das plantas (COLLARES et al., 2011).

A estabilidade dos agregados depende da textura do solo, da mineralogia, do teor e tipos de matéria orgânica e da umidade, sendo um parâmetro físico importante para o estudo do processo de erosão do solo. Para calcular o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados pondera-se o diâmetro médio aritmético, e para calcular o diâmetro médio geométrico (DMG) pondera-se o diâmetro médio logarítmico de cada classe pela massa de agregados retida em peneiras de diferentes diâmetros (JONG VAN LIER; ALBUQUERQUE, 1997). O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, e pode refletir a resistência do solo à erosão. Quanto maior for o agregado, maiores serão os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. O DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência (CASTRO FILHO et al., 1998).

A densidade das partículas é a massa de solo seco por unidade de volume de uma amostra de solo seco, ou seja, é a média da densidade de todas as partículas do solo, sem considerar os poros, e está relacionada com o tipo e a quantidade de componentes minerais e orgânicos. A densidade de partículas é utilizada para o cálculo da porosidade total (LEPSCH, 2011).

A porosidade refere-se ao volume de solo ocupado por água e pelo ar, sendo descrito quanto ao tamanho e a quantidade dos poros (SANTOS et al., 2005). A redução da porosidade ocorre com os poros maiores (macroporos), responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo, que se rompem formando poros menores que armazenam água (REICHERT et al., 2007). O efeito da compactação do solo é dependente das condições climáticas. Em condições de deficiência hídrica acentuam-

se os problemas de limitação mecânica ao crescimento do sistema radicular, e em condições de excesso constatam-se problemas de deficiência de aeração (KLEIN et al., 2008).

Solo com menores níveis de compactação permitem que as raízes aprofundem-se conseguindo absorver mais água e nutrientes. Quando a proporção do volume total de poros é insuficiente para o adequado crescimento de raízes, afetando o rendimento de culturas agrícolas, pode-se dizer que o solo está compactado. A restrição ao crescimento das plantas em solos não compactados ocorre apenas por déficit hídrico, e na medida em que o grau de compactação aumenta, essa restrição pode ocorrer pelo aumento da resistência do solo à penetração e pela falta de aeração (BALBINOT JUNIOR, 2009). Em estudo realizado para avaliar a resistência do solo em áreas de braquiária, quanto maior a resistência à penetração, menor a produção de raízes de *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 milênio, sendo que a maior produção de raízes ocorreu quando os valores de resistência à penetração foram inferiores a 1 MPa (COSTA et al., 2012).

Grau de compactação é a relação entre densidade atual do solo e a compactação máxima ou de referência. Tem como vantagem comparar diferentes solos, pois o efeito da granulometria do solo é eliminado, além de apresentar boa relação com características do solo e da planta (REICHERT et al., 2007).

Em áreas de pastagens há dois fatores que contribuem para a degradação das pastagens. A desfolha, no momento do pastejo pelos animais diminui a cobertura do solo, aumentando a temperatura do solo e as taxas de evaporação, e causando a salinização em áreas afetadas por sal. O pisoteio animal resulta em compactação superficial do solo (TABOADA et al., 2011).

O pisoteio do gado aumenta a densidade do solo e reduz a macroporosidade e a taxa de infiltração, principalmente em solos de estrutura instáveis, sob condições úmidas e com pouca cobertura, e com pastoreio intenso. A melhoria das propriedades físicas do solo se deve à atividade biológica e aos ciclos de umedecimento e secagem e a ausência do efeito de compactação do pisoteio animal (GREENWOOD et al., 1998). O pastejo em períodos quando as condições do solo não forem consideradas seguras, ou seja, o conteúdo de água no solo foi maior do que o limite plástico, contribuiu para danos e compactação durante o período tradicionalmente úmido (HOULBROOKE et al., 2009).

O solo sob pastejo é capaz de regeneração física parcial após um ciclo de cultivo, mas apresenta maior estado de compactação, afetando negativamente as propriedades funcionais do solo (AMBUS et al., 2018). O pisoteio animal é responsável pela degradação da estrutura do solo, aumentando a densidade e a microporosidade e reduzindo a macroporosidade e porosidade total, principalmente nas camadas superficiais (COLLARES et al., 2011).

### **3.4.3 Indicadores de qualidade química do solo**

Os indicadores de qualidade química do solo são agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, a acidez do solo, o conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos e determinadas relações como a saturação de bases e de alumínio (ARAUJO et al., 2012). A matéria orgânica se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas (REICHERT et al., 2003), além de sua suscetibilidade de alteração em relação às práticas de manejo, sendo um dos melhores indicadores de qualidade do solo (ARAUJO et al., 2012).

Além da matéria orgânica, os indicadores que expressam a disponibilidade de nutrientes, como cálcio e magnésio trocáveis, fósforo, potássio, micronutrientes, assim como suas relações são importantes para avaliar qualidade de solo. É referida como indicadora da qualidade do solo em virtude e por correlacionar-se com a maioria das propriedades do solo (ARAUJO et al., 2012).

A decomposição do estrume está associada ao transporte de solo, tanto dentro do perfil como na superfície do solo, processo chamado de pedoturbação. Estes altos níveis de pedoturbação também podem ter um impacto na distribuição e disponibilidade de nutrientes contidos no próprio esterco (HERRICK; LAL, 1996).

Em pesquisa realizada com esterco suíno em Paraíso do Sul no Rio Grande Sul, concluíram que a adição de esterco suíno sistematicamente em áreas sob pastagem natural, ocasionou a adição de grande quantidade de nutrientes ao solo, elevando principalmente os teores de P, Ca e Mg, além da diminuição na saturação de alumínio (CERETTA, et al., 2003).

A aplicação do esterco de suínos na superfície do solo sem incorporação, em pesquisa realizada na região oeste de Santa Catarina, teve efeito restrito às camadas superficiais, proporcionando significativos aumentos nos teores de fósforo até 10 cm de profundidade, e não foram constatados efeitos sobre os fatores de acidez do solo,

cátions básicos, CTC e teor de matéria orgânica do solo (SCHERER; BALDISSERA; NESI, 2007).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender os objetivos propostos, montou-se dois experimentos em propriedades rurais dos municípios de Santa Rosa e Campina das Missões (Figura 1). As áreas do experimento estão localizadas na região noroeste do Rio Grande dos Sul, principalmente por ser a região com a maior produção de leite do estado e possuir áreas de pastagens perenes e anuais.

Em ambas propriedades a bovinocultura leiteira é a principal atividade e fonte de renda das famílias. Essas propriedades foram escolhidas por serem representativas das condições de manejo e apresentarem pastagens com as forrageiras mais comuns utilizadas pelos agricultores familiares da região.

Figura 1 – Localização dos experimentos.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, 2020.

A pesquisa utilizou o método de abordagem hipotético-dedutivo, método de procedimento estatístico, com pesquisa experimental a campo, de caráter quantitativo e técnica de observação direta intensiva, observação a campo e laboratorial.

### 4.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos inteiramente ao acaso, com 3 tratamentos e 7 repetições, num total de 21 unidades experimentais de 2 m<sup>2</sup> (2 m x 1 m). Foi destinada uma área de 1 metro entre as parcelas com fins de circulação e para evitar a contaminação entre tratamentos. Assim, cada experimento utilizou uma área de 22 m x 7 m, totalizando 154 m<sup>2</sup>. Os experimentos foram instalados nos dois locais com a mesma metodologia. No total foram 2 experimentos distintos, totalizando 42 blocos e uma área de 308m<sup>2</sup>.

Os tratamentos utilizados foram:

- Tratamento 01 (SES): testemunha, condição original da área, sem adição de esterco;
- Tratamento 02 (ES): aplicação de camada de 5 cm de esterco bovino fresco;
- Tratamento 03 (ET): aplicação de camada de 5 cm de esterco bovino fresco e colocação de tela de 1 mm sobre a parcela para a proteção de entrada de insetos.

#### 4.2 DEMARCAÇÃO DAS PARCELAS E INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

As parcelas foram demarcadas e instaladas nas áreas por delineamento experimental de blocos casualizados. Para a instalação do experimento realizou-se um sorteio, sendo que foi utilizado o seguinte delineamento, conforme Figura 2.

Figura 2 – Croqui de delineamento dos experimentos.

ES		ET		SES		ET		SES		ET		SES
ET		SES		ES		ES		ET		ES		ES
SES		ES		ET		SES		ES		SES		ET

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 02, os SES referem-se as parcelas da testemunha, os ES as parcelas onde foi colocado esterco bovino fresco e o ET as parcelas com esterco bovino fresco e tela de proteção.

Observa-se na Figura 3 o experimento na área com pastagem perene sem pastejo (A) e o da área com pastagem anual com pastejo (B).

Figura 3 – Experimento na área com pastagem perene sem pastejo (A) e da área com pastagem anual com pastejo (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dois experimentos foram instalados com o mesmo delineamento experimental, o que diferiu entre os dois foi a quantidade de esterco colocado nas parcelas, sendo 52,8 kg no experimento na área com pastagem perene sem pastejo e 43 kg no experimento na área com pastagem anual com pastejo, em virtude da quantidade de esterco fresco disponível no dia da instalação do experimento. A quantidade de esterco bovino utilizada foi baseada na quantidade média de esterco fresco produzido por um bovino em um único dia, que é em torno de 10% do peso vivo do animal, o que representa, em média, uma quantidade de 45 a 48 kg/vaca/dia. (KONZEN; ALVARENGA, 2008).

Conforme Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016), o esterco bovino sólido seco em estufa a 65°C apresenta 1,5% de Potássio ( $K_2O$ ), 1,4% de Fósforo ( $P_2O_5$ ), 0,8% de Cálcio (Ca) e 0,5% de Magnésio (Mg).

O esterco bovino utilizado foi recolhido fresco, de uma propriedade rural que não utilizou vermífugos nos animais por um período mínimo de 90 dias antes da coleta.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PASTAGEM ANUAL COM PASTEJO

A área de pastagem anual com pastejo está localizada no interior do município de Campinas das Missões, na localidade de Linha Ressaca (28°03'03.99"S e 54°44'57.55"O), distante cerca de 14 km da cidade de Campinas das Missões (Figura 4).

Figura 4 – Localização da área de pastagem anual com pastejo em Campinas das Missões.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, 2020.

Propriedade da agricultura familiar, com produção de leite e suinocultura como base da economia familiar. O solo classifica-se como Latossolo vermelho, e baseado na sua textura classifica-se como argilo siltosa, em todas as camadas analisadas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da textura do solo na area do experimento em Campinas das Missões.

Camada (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classificação
0 - 5	50,0	45,0	5,0	Argilo Siltosa
5 - 10	50,8	44,4	4,8	Argilo Siltosa
10 - 20	51,1	44,5	4,4	Argilo Siltosa

Fonte: Elaborado pelo autor.

A propriedade possui um rebanho bovino médio de 76 animais em pastejo, em uma área de 12 hectares de pastagem, sendo estas divididas entre pastagem anual e perene. Devido a grande quantidade de bovinos, há elevada lotação de animais na área, não podendo, em determinadas épocas do ano, levar em consideração a altura adequada do pasto, e a umidade do solo para a entrada dos animais.

Nas áreas de pastagens são colocados esterco líquido suíno e adubação sintética química de NPK no momento da sementeira e em cobertura pós pastejos. A

cobertura vegetal da área, antes da implantação do experimento, era de Capim Sudão (*Sorghum sudanense*), a qual era subdividida em piquetes com pastejo rotacionado.

O experimento foi instalado no dia 30 de janeiro de 2019. Primeiramente as parcelas foram demarcadas, o terreno limpo e construído uma armação de madeira ao redor das parcelas que receberam esterco (Figura 5A). Nas parcelas com esterco foram colocados 43 kg de esterco sólido de bovinos por parcela (Figura 5B e 5C), totalizando 6 kg de esterco seco por m<sup>2</sup> (60 Mg/ha). Na sequência foram colocadas as telas de proteção de 1 mm nas parcelas com esse tratamento para inibir o acesso ao esterco da macrofauna do solo (Figura 5D). O experimento foi isolado do restante da área com cerca elétrica para evitar entrada de animais e pastejo.

Figura 5 – Instalação experimento na área de pastagem anual com pastejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos dados do Manual de Adubação e Calagem do RS e SC (CQFS, 2016), a quantidade de nutrientes presente no esterco bovino depositado no experimento da área de pastagem anual com pastejo pode ser observado na Tabela 2.

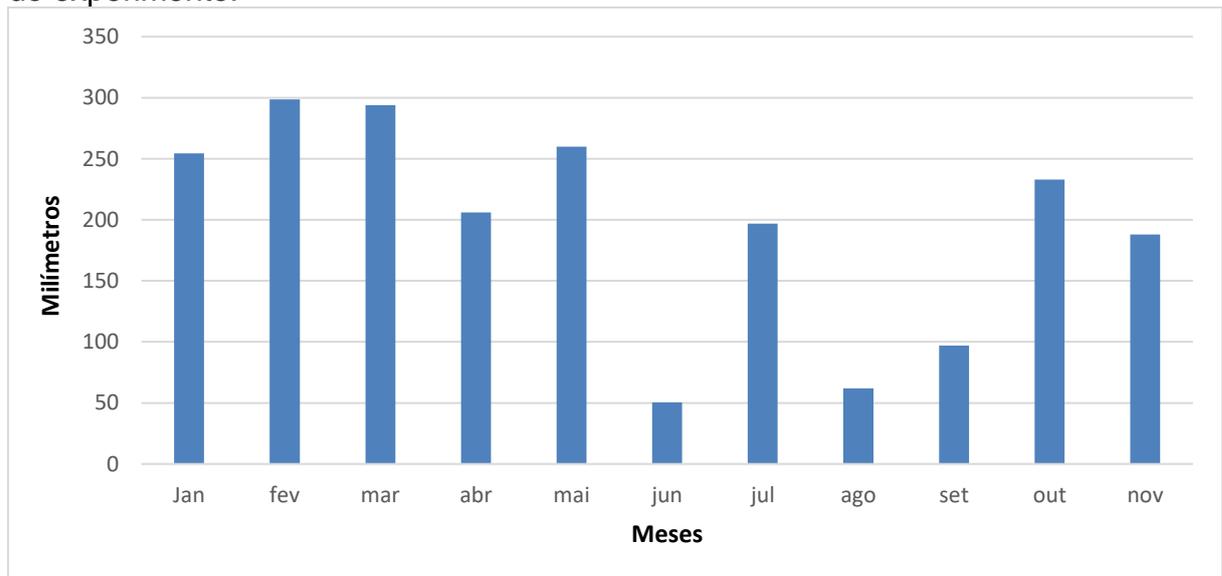
Tabela 2 – Quantidade de nutrientes presente no esterco bovino depositado no experimento da área de pastagem anual com pastejo.

Nutriente	g/m <sup>2</sup>	Kg/ha
Potássio (K <sub>2</sub> O)	90,16	901,60
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ),	84,15	841,50
Cálcio (Ca)	48,09	480,90
Magnésio (Mg).	30,05	300,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados pluviométricos do período do experimento são apresentados no Gráfico 01. Foram levados em consideração os dados do município de Cerro Largo, devido serem os dados mais próximos do local do experimento.

Gráfico 01 - Precipitação pluviométrica no município de Cerro Largo durante o período do experimento.



Fonte: Escritório Municipal Emater/RS-ASCAR de Cerro Largo, RS.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PASTAGEM PERENE SEM PASTEJO

A área de pastagem perene sem pastejo está localizada no interior do município de Santa Rosa, na localidade de Lajeado Pessegueiro (27°54'50.02"S e 54°24'17.87"O), distante cerca de 10 Km da cidade de Santa Rosa (Figura 6).

Figura 6 – Localização da área de pastagem perene sem pastejo em Santa Rosa.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, 2020.

A propriedade caracteriza-se como pequena propriedade da agricultura familiar. Possuem a atividade leiteira como a principal fonte de renda, com um plantel médio de 60 bovinos. O solo classifica-se como Latossolo Vermelho, e baseado na sua textura classifica-se como classe textural argila, em todas as camadas analisadas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação da textura do solo na área de pastagem perene sem pastejo.

Camada (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classificação
0 - 5	51,9	38,2	9,9	Argila
5 - 10	55,2	37,3	7,4	Argila
10 - 20	57,7	36,6	5,7	Argila

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área de pastagem perene sem pastejo a cobertura vegetal é de grama tifton 85 (*Cynodon* spp.) a qual é destinada somente para fenação, ou seja, sem entrada de animais para pastejo.

A área era destinada para fenação há pelo menos 5 anos, sendo realizados em média 5 cortes anuais, dependendo das condições climáticas. Após o corte do feno a área era adubada com esterco líquido suíno e/ou bovino, e eventualmente quando era realizada sobressemeadura com azevém a área recebia adubação química com NPK.

O experimento foi instalado no dia 10 de janeiro de 2019 (Figura 7A). Primeiramente foi realizado a demarcação das parcelas, o cercamento da área total

em virtude de haver aves soltas nas proximidades do local e a construção de estrutura de madeira para delimitar as parcelas com esterco.

Nas parcelas com esterco foram colocados 52,8 kg de esterco sólido de bovinos por parcela (Figura 7B E 7C), totalizando 8,55 kg de esterco seco por m<sup>2</sup> (85,5 Mg/ha). Após a colocação do esterco (Figura 7D) foram colocadas as telas de proteção de 1 mm (Figura 7E e 7F).

Figura 7 – Instalação experimento na área de pastagem perene sem pastejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos dados do Manual de Adubação e Calagem do RS e SC (CQFS, 2016), a quantidade de nutrientes presente no esterco bovino depositado no experimento é apresentada na Tabela 4.

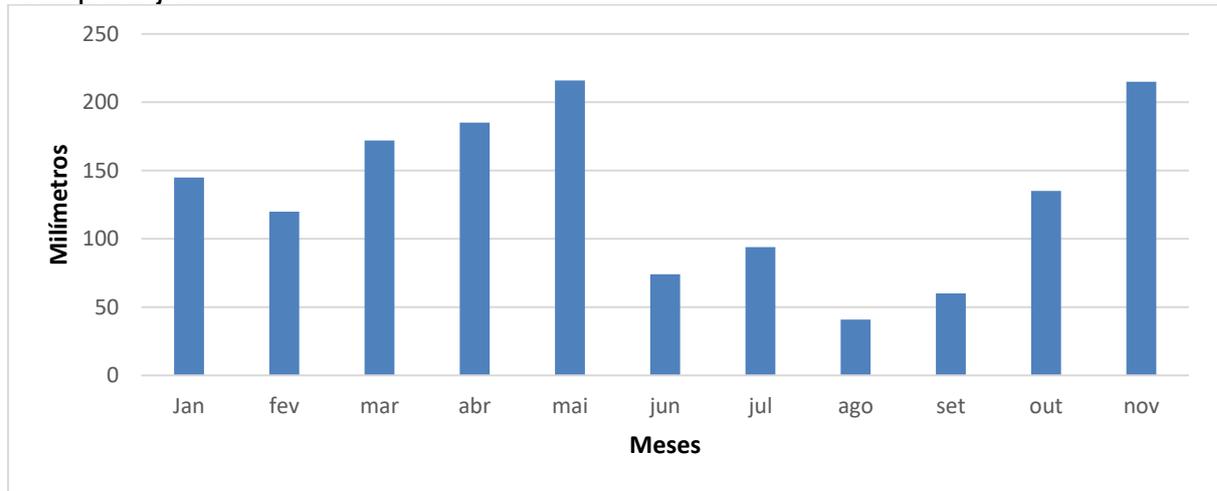
Tabela 4 – Quantidade de nutrientes presente no esterco bovino depositado no experimento da área de pastagem perene sem pastejo.

<b>Nutriente</b>	<b>g/m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/ha</b>
Potássio (K <sub>2</sub> O)	128,280	1282,80
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ),	119,730	1197,30
Cálcio (Ca)	68,415	684,15
Magnésio (Mg).	42,760	427,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

As precipitações foram medidas diariamente, com pluviômetro, em virtude do experimento ser nas proximidades da residência (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Precipitação pluviométrica na área do experimento de pastagem perene sem pastejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5 COLETA DE DADOS

O experimento da pastagem anual com pastejo implantado dia 30 de janeiro de 2019. As coletas iniciaram em 10 de setembro de 2019, ficando a campo por no mínimo 224 dias.

Na área de pastagem perene sem pastejo o experimento foi implantado no dia 10 de janeiro de 2019. As coletas iniciaram em 22 de outubro de 2019, ficando o experimento a campo por 285 dias no mínimo.

Ambos os experimentos eram roçados mensalmente. Na Tabela 5 apresenta-se o cronograma de coleta das amostras de solo para as análises nas áreas dos experimentos.

Tabela 5 - Cronograma de coleta das amostras de solo para análises.

<b>Tipo de coleta</b>	<b>Pastagem anual com pastejo</b>	<b>Pastagem perene sem pastejo</b>
Física (anéis)	02/11/2019	22/10 a 11/11/2019
Física (agregados)	20/09/2019	11/11/2019
Biológica	10 a 20/09/2019	03 a 11/11/2019
Química	20/09/2019	11/11/2019
Residual de esterco	02/11/2019	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

No experimento de pastagem anual com pastejo as coletas a campo foram realizadas entre os dias 10 de setembro a 02 de novembro de 2019, e no último dia foi coletado uma amostra do residual de esterco que não havia sido biodegradado e

incorporado ao solo. No experimento com pastagem perene sem pastejo as coletas a campo foram realizadas entre os dias 22 de outubro a 11 de novembro de 2019. Essas foram realizadas por blocos e as amostras de solo foram levadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, Campus de Cerro Largo, onde foram preparadas e analisadas.

#### **4.5.1 Indicadores biológicos, físicos, químicos do solo**

Conhecer e analisar os indicadores biológicos, físicos e químicos do solo são necessários para quantificar o efeito ocasionado pela decomposição do esterco e a pedoturbação, sendo fundamental para identificar a qualidade dos solos. Foram escolhidos esses indicadores pois eles são sensíveis as práticas de manejo e aos tratamentos avaliados.

##### **4.5.1.1 Indicadores biológicos**

A macrofauna do solo foi avaliada através do método TSBF (Tropical Soil and Biology Fertility) (ANDERSON; INGRAM, 1993). O método consistiu na retirada de blocos de solo com auxílio de um anel metálico de 20 cm de altura e 15 cm de diâmetro, totalizando 6283 cm<sup>3</sup> (Figura 8A).

Figura 8 – Coleta a campo (A) e análise em laboratório da macrofauna edáfica (B e C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

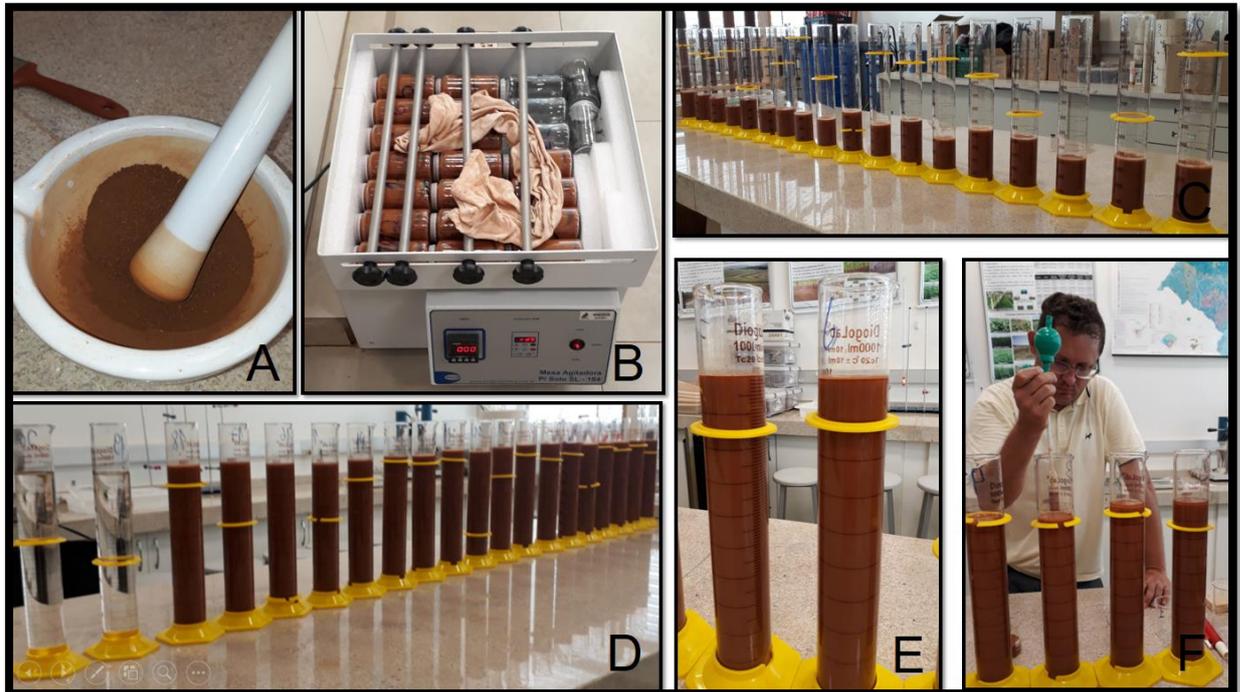
As coletas foram realizadas quatro dias após precipitações pluviométricas de em média 100 mm, o solo estava com nível de umidade abaixo da capacidade de campo e a temperatura do ar média de 22 °C (INMET, 2019).

As amostras foram colocadas em embalagens plásticas, lacradas e a avaliação foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, Campus de Cerro Largo (Figura 8B). O solo foi desagregado e a macrofauna edáfica foi coletada com auxílio de luz artificial e pinça (Figura 8C), colocada em recipiente com álcool 70%, e, posteriormente identificada com auxílio de Chave de Identificação adaptada de Gallo et al. (2002) e quantificada com auxílio de lupa.

#### 4.5.1.2 Indicadores físicos

A análise granulométrica do solo, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 cm de profundidade, foi realizada pelo método da pipeta, conforme metodologia descrita por Embrapa (1997). Os procedimentos podem ser observados na Figura 9.

Figura 9 – Procedimentos para análise da textura do solo.

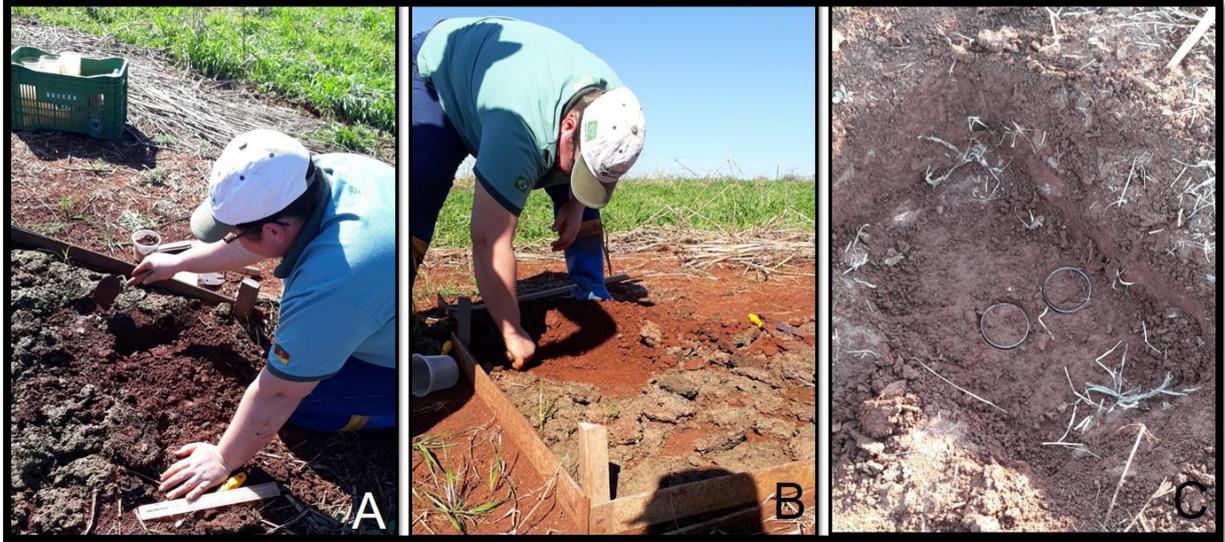


Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade, a porosidade total e a quantidade de macroporos e microporos foram quantificadas nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm de profundidade, através do método de anel volumétrico, onde as amostras de solo com a estrutura preservada foram coletadas com anéis de aço inox com em média 4 cm de altura e 6 cm de diâmetro, seguindo a metodologia de Donagema et al. (2011).

Para fazer a coleta, o esterco residual, quando encontrado, era retirado da superfície do solo (Figura 10A), e coletado as amostras de 0 a 5 cm, em seguida, ao lado da coleta da primeira camada, o solo era retirado até a profundidade de 5 cm (Figura 10B), e os anéis eram novamente coletados (Figura 10C), o procedimento seguiu até a coleta em todas as profundidades.

Figura 10 – Coleta de anéis volumétricos com estrutura preservada para análise de densidade, porosidade total e macro e microporos.

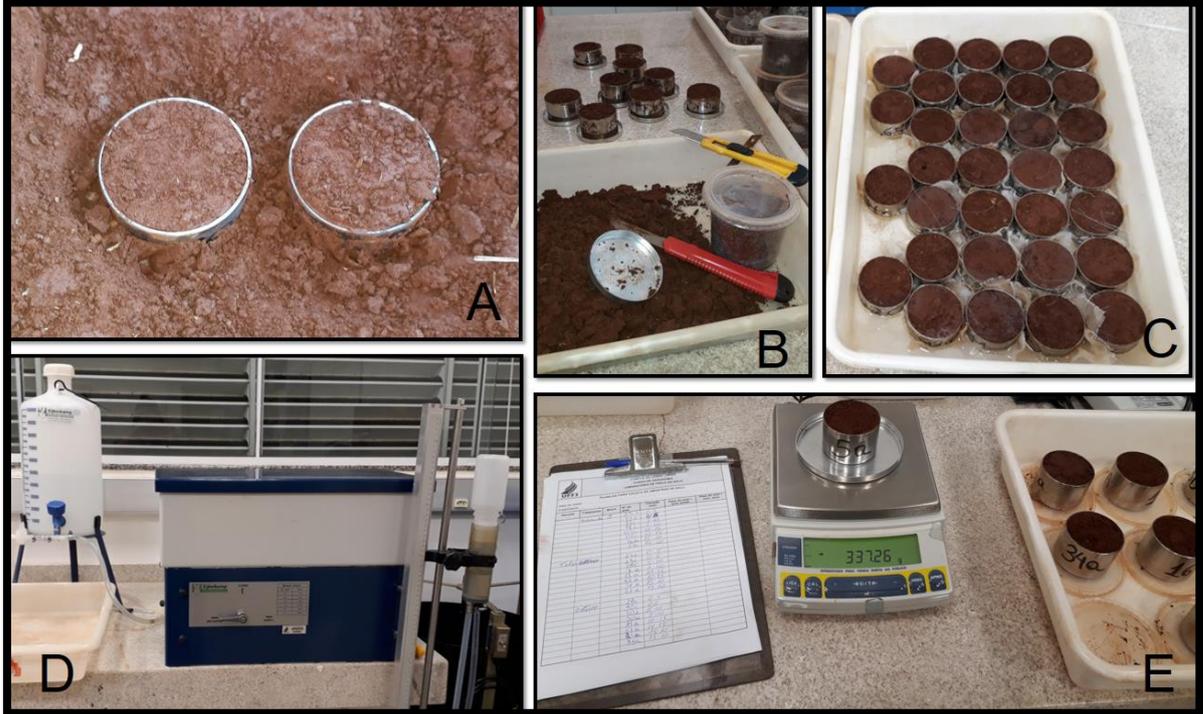


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para cálculo da porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade, as amostras de solo foram coletadas utilizando-se anéis de inox que estavam previamente enumerados, pesados e medidos (Figura 11A). O solo foi retirado até a determinada camada a ser coletada, os anéis foram colocados no solo com auxílio de um suporte e de martelo e os anéis foram coletados, acondicionados em potes e levados ao laboratório. Em seguida os mesmos foram preparados, retirando toda a sobra de solo que estava ao redor, sobre e sob o anel (Figura 11B).

Na sequência os anéis foram saturados por no mínimo 48 horas (Figura 11C), pesados e colocados na mesa de tensão. As amostras foram submetidas a tensão de 6KPa em coluna de areia (Figura 11D), para a determinação da macroporosidade conforme procedimento descrito por Reinert & Reichert (2006). Após esse processo, as amostras de solo foram transferidas para estufa de circulação de ar a 105 °C por 48 h e novamente pesados (Figura 11E).

Figura 11 – Procedimento da análise de densidade, porosidade total e macro e microporos.

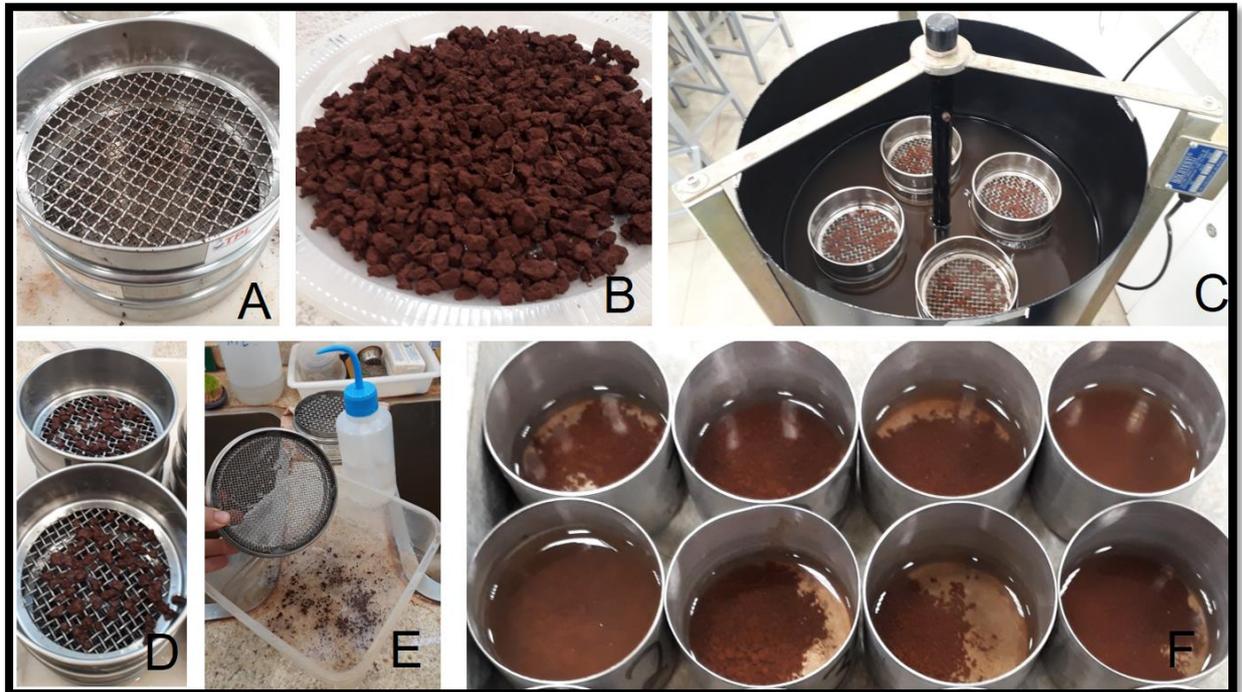


Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade foi calculada pesando as amostras secas em estufa (105°C), por um período de no mínimo 48 horas (DONAGEMA et al. 2011).

Para a avaliação da estabilidade de agregados em água foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, e de 10 a 20 cm. Em laboratório foram analisadas conforme metodologia de Kemper; Chepil (1965), como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Procedimento da análise de estabilidade de agregados em água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o resultado da análise, foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e a porcentagem de agregados por classes de tamanho (AGR<sub>i</sub>).

#### 4.5.1.3 Indicadores químicos

Os indicadores químicos do solo foram determinados em amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade para o experimento de pastagem anual com pastejo, e de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm no experimento de pastagem perene sem pastejo.

O solo coletado a campo foi seco naturalmente por 7 dias (Figura 13A) e após foi macerado com rolo de madeira e passado em peneira de 2 mm (Figura 13B). Esse solo foi colocado em embalagens plásticas e as amostras foram identificadas e encaminhadas ao laboratório de análise de solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O referido laboratório foi o responsável pelas análises dos atributos químicos do solo.

Figura 13 – Preparação das amostras para análise química.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A metodologia utilizada foi de Tedesco et al. (1995). Foi avaliado o pH, fósforo (P), potássio (K), teor matéria orgânica (MO), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef), capacidade de troca de cátions potencial (CTCp) e a saturação de bases. Os resultados foram comparados entre os tratamentos.

#### 4.5.2 Análise estatística dos dados

Para a análise da biodiversidade foi efetuada a soma das populações encontradas em cada tratamento, calculando a riqueza e abundância das amostras através do Índice de Dominância de Simpson, Índice de Diversidade de Shannon, e Índice de Equabilidade de Pielou. Essas análises foram realizadas com auxílio do *software* Past para Ecologia.

Para a análise dos parâmetros físicos e químicos, os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e ao teste “t” a 5% de significância, através do programa estatístico SAS (*Statistical Analysis Software*).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DECOMPOSIÇÃO DO ESTERCO BOVINO

Na área de pastagem anual com pastejo, após 224 dias da implantação do experimento, iniciou-se as coletas a campo, e quantificou-se o esterco remanescente, que não foi biodegradado e incorporado ao solo, sendo que no ES foi de 78,83% e no ET foi de 78,54%.

A realização das coletas a campo no experimento da área de pastagem perene sem pastejo foi realizada 285 dias após a adição do esterco. Para esse experimento, todo o esterco adicionado foi biodegradado e incorporado ao solo, pois além da ação da fauna do solo, as plantas também auxiliaram nesse processo.

No ano de 2019, em ambos os experimentos observou-se baixas precipitações pluviométricas, principalmente entre os meses de junho à setembro, o que retardou a biodegradação e incorporação do esterco bovino, e conseqüentemente as coletas de solo, pois segundo Haynes e Williams (1993) as precipitações são de suma importância para manter um nível adequado de umidade no solo para a atividade microbiana e auxiliar no rompimento físico do esterco.

### 5.2 INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO

#### 5.2.1 Área de pastagem anual com pastejo

No ET pode-se observar uma diferença de indivíduos apenas de Diptera e Chilopoda, sendo que nos demais grupos a quantidade de indivíduos foi superior ao ES (Tabela 6). Os Coleópteros e Armadilidiidae apresentaram quantidades superiores de indivíduos, mostrando que a tela de proteção não apresentou restrição suficiente para o acesso desses indivíduos ao esterco bovino, provavelmente pela capacidade desses grupos de fazer galerias sob o solo, e possivelmente por já estarem presentes na área, devido a disponibilidade de esterco que já havia, pois a área era pastejada.

Observou-se que nos ET e ES houve maior abundância de coleópteros, o que possui efeito positivo na decomposição da serapilheira e remoção de esterco (TIXIER; BLOOR; LUMARET, 2015). Os Coleópteros durante a manipulação do esterco no processo de alimentação, apresentam uma série de funções no ecossistema que vão desde a dispersão secundária de sementes até o ciclo de nutrientes e a supressão de parasitas. Muitas dessas funções ecológicas fornecem serviços ecossistêmicos

valiosos, como o controle biológico de pragas e a fertilização do solo (NICHOLS et al., 2008).

No tratamento SES, observa-se uma maior quantidade de formigas, visto que essas podem ser indicadores de solos degradados (LEE; FOSTER, 1991), conforme pode ser analisado na Tabela 6.

Tabela 6 - Abundância de indivíduos por grupos e abundância total em cada tratamento em área de pastagem anual com pastejo.

Tratamentos	Grupos										Total	
	Fo*	Te	Dp	Dt	Co	Ch	Ad	Ar	OI	He		Mo
SES	286	529	3	4	5	11	4	2	1	1	0	846
ES	121	14	4	2	11	12	12	5	2	0	4	187
ET	137	588	1	8	14	10	17	5	3	0	6	789
Total	544	1131	8	14	30	33	33	12	6	1	10	1822

\* Formicidae (Fo), Termitídeo (Te), Diplopoda (Dp), Diptera (Dt), Coleoptera (Co), Chilopoda (Ch), Armadilidiidae (Ad), Arachnida (Ar), Oligochaeta (OI), Hemíptera (He) e Molusca (Mo).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os indivíduos do táxon Termitídeo apresentam diversas espécies, sendo que algumas são indicadoras de solos degradados e outras espécies apresentam efeitos na pedogênese, incorporação de matéria orgânica e decomposição e ciclagem de nutrientes de plantas (LEE; FOSTER, 1991), além de formarem pequenos poros milimétricos nos blocos de solo, mostrando efeito descompactador, principalmente os indivíduos humíferos do gênero *Anoplotermes* (BARROS et al., 2001). Essa diversidade de espécies de Termitídeos pode explicar o fato de ter quantidade superior de indivíduos tanto no tratamento SES como no ET, que poderiam ser de espécies diferentes, porém não se conseguiu identificar as espécies neste estudo.

Além dos coleópteros, os tratamentos ES e ET apresentaram uma quantidade superior de indivíduos dos grupos Armadilidiidae, Arachnida, Oligochaeta e Molusca, quando comparado ao SES. O grupo dos Armadilidiidae desempenham um papel importante estimulando a ciclagem de nutrientes através da fragmentação do material vegetal e servindo como base para muitas teias alimentares (QUADROS, 2010). O grupo dos Oligochaeta alimentam-se de esterco e a atividade das minhocas se traduz em diminuição da densidade do solo e transformação da distribuição do tamanho dos poros com o desenvolvimento de uma macroporosidade (BARROS et al., 2001). A macroporosidade do solo é aumentada por galerias de minhocas, com consequente aumento das trocas gasosas, e taxas de infiltração de água duas a dez vezes mais rápidas do que em solos semelhantes que não possuem minhocas (LEE; FOSTER,

1991). Conforme estudo de Milotic et al. (2016), tanto minhocas como besouros tunelizadores e rola bosta são de primordial importância, o que enfatiza a necessidade de conservação de ecossistemas de esterco funcionalmente completos.

A abundância de indivíduos por tratamento não teve diferenciação estatística conforme observado na Tabela 7, a qual utilizou a média de indivíduos por parcela.

Tabela 7 - Análise estatística da abundância de indivíduos por parcela de cada tratamento em área de pastagem anual com pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
0 - 20	120,86 A***	26,71 A	112,71 A	146,77	148,30

\*CV – Coeficiente de variação (%)

\*\*DMS – Diferença mínima significativa

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise biológica da fauna edáfica não houve variação da riqueza entre os tratamentos, sendo que dos 11 grupos identificados, cada tratamento apresentou 10 grupos (Tabela 8). Os tratamentos ES e ET não apresentaram indivíduos de Hemiptera e o tratamento SES não apresentou indivíduos de Molusca.

Tabela 8 - Índice de Riqueza, índice de dominância de Simpson, índice de diversidade de Shannon e índice de Equabilidade de Pielou por tratamento em área de pastagem anual com pastejo.

	Tratamentos		
	SES	ES	ET
Riqueza	10	10	10
Dominância de Simpson	0,4945	0,5622	0,4133
Diversidade de Shannon	0,8479	1,353	0,8781
Equabilidade de Pielou	0,3682	0,5877	0,3814

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados expressam que não houve diferenciação de riqueza de grupos entre os tratamentos. Observou-se que quanto maior a abundância de indivíduos, menores são os índices de dominância de Simpson, diversidade de Shannon e equabilidade de Pielou, pois o tratamento ES obteve os maiores índices conforme Tabela 4, e apresentou apenas 187 indivíduos.

A probabilidade de dois indivíduos da mesma amostra pertencer ao mesmo grupo, através do índice de dominância de Simpson, foi maior no ES, que apresentou também maior índice de diversidade de Shannon que considera igual peso entre os

grupos raros e abundantes, e maior índice de equabilidade de Pielou que avalia o padrão de distribuição dos indivíduos entre os grupos (BARETTA et al., 2011).

### 5.2.2 Área de pastagem perene sem pastejo

A abundância de indivíduos foi maior no ES, principalmente de Termitídeo, Chilopoda e Orthoptera, além de apresentar, junto com o ET maior quantidade de Coleópteros, Diptera, Armadilidiidae, Oligochaeta e Cicadeleidae se comparado com o SES.

O SES apresenta quantidade superior de Formicidae e Diplopoda conforme pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 - Abundância de indivíduos por grupos e abundância total em cada tratamento na área de pastagem perene sem pastejo.

Tratamentos	Grupos														Total
	Fo*	Te	Dp	Dt	Co	Ch	Ad	Ar	OI	He	Or	Ci	Cu	De	
SES	203	108	1	0	6	3	1	1	0	0	2	0	0	1	327
ES	126	383	0	4	12	7	19	1	12	1	3	1	0	1	570
ET	113	37	0	1	20	2	51	5	6	0	0	1	1	0	237
Total	442	528	1	5	38	12	71	7	18	1	5	2	1	2	1134

\* Formicidae (Fo), Termitídeo (Te), Diplopoda (Dp), Diptera (Dt), Coleoptera (Co), Chilopoda (Ch), Armadilidiidae (Ad), Arachnida (Ar), Oligochaeta (OI), Hemíptera (He), Orthoptera (Or), Cicadeleidae (Ci), Curculionidae (Cu), Dermaptera (De).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Coleópteros têm grande utilidade para os agroecossistemas pecuários, atuando na desestruturação de massas fecais e carcaças de animais, contribuindo com o controle biológico natural de parasitas de bovinos que se desenvolvem nestes materiais (SILVA; GARCIA; VIDAL, 2008), caracterizando-se como agentes de reciclagem de nitrogênio e aeração do solo e, também como destruidores do habitat de nematódeos e insetos (BIANCHIN et al., 1998). Conforme estudo de Milotic et al. (2016), os coleópteros, principalmente os besouros rola bosta e os tunelizadores tem grande participação na decomposição e remoção do esterco, principalmente de esterco fresco.

Os Armadilidiidae alimentam-se de matéria orgânica em decomposição, o que explica a quantidade maior de indivíduos desse grupo nos ES e ET. Além disso, possuem papel fundamental na ciclagem de nutrientes através da fragmentação do material vegetal.

Os indivíduos do grupo Termitídeo alteram a natureza e distribuição da matéria orgânica, construindo galerias subterrâneas, modificando a estrutura do solo e influenciando na fertilidade do solo (WINK et al., 2005).

O grupo das Oligochaeta foram encontradas apenas nos ES e ET. As minhocas segundo Milotic et al. (2016) utilizam o esterco como uma importante fonte de alimento, tendo papel importante na decomposição do esterco. Segundo o mesmo estudo as minhocas desempenham um papel igual na remoção do esterco como os besouros.

Com relação a abundância de indivíduos observa-se que a tela de proteção teve influência significativa no número de indivíduos, sendo que no ES a quantidade de indivíduos foi de 570, de doze grupos diferentes, valores superiores ao ET que contabilizou 237 indivíduos de dez grupos diferentes.

Os principais grupos que o tratamento que usou a tela de proteção contra insetos teve redução na quantidade de indivíduos foi Termitídeo, Díptera, Chilopoda e Orthoptera.

Para o grupo dos Coleópteros, Armadilidiidae e Arachnida a tela não teve interferência, apresentando maior quantidade de indivíduos desses grupos, sendo 20 Coleópteros, 51 Armadilidiidae e 5 Arachnida, provavelmente pela capacidade dos Coleópteros e Armadilidiidae em fazer túneis sob o solo, o que não impediu o acesso dos mesmos ao esterco fresco.

No SES observou-se uma menor diversidade de grupos, e um número significativo de indivíduos do grupo Formicidae com 203 indivíduos, totalizando 62% do total. Outro grupo que se destacou foi Termitídeo com 108 indivíduos, as quais somadas com Formicidae totalizam 95% dos indivíduos identificados. Esses dois grupos são encontradas principalmente em solos degradados.

A abundância dos indivíduos encontrados na análise biológica, nos diferentes tratamentos, quando submetida a análise estatística não apresentou diferenciação entre os tratamentos conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Análise estatística da abundância de indivíduos por parcela de cada tratamento na área de pastagem perene sem pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
0 - 20	46,57 A***	81,43 A	33,86 A	153,25	96,30

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste T a 5% significância.

Fonte: Elaborado pela autora.

O ES apresentou índice de riqueza superior aos demais tratamentos, com presença de 12 dos 15 grupos identificados no levantamento da macrofauna edáfica. No ET identificou-se 10 grupos e no SES 9 grupos, conforme pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 - Índices de Riqueza, índice de dominância de Simpson, índice de diversidade de Shannon e Índice de Equabilidade de Pielou por tratamento na área de pastagem perene sem pastejo.

	Tratamentos		
	SES	ES	ET
Riqueza	9	12	10
Dominância de Simpson	0,5020	0,4974	0,6937
Diversidade de Shannon	0,8799	1,0380	1,4660
Equabilidade de Pielou	0,4005	0,4176	0,6368

Fonte: Elaborado pelo autor.

A disponibilidade de esterco livre sobre o solo, no ES aumentou a riqueza biológica do solo, expressando menor índice de dominância de Simpson. O ET apresentou maior índice de diversidade de Shannon, e maior índice de equabilidade de Pielou.

### 5.3 INDICADORES QUÍMICOS DO SOLO

#### 5.3.1 Área de pastagem anual com pastejo

Os nutrientes que apresentaram diferenciação significativa entre os tratamentos foram o fósforo, superior nos tratamentos ET e ES na camada de 5 a 10 cm, e o potássio, que apresentou teores superiores na camada de 0 a 5 cm nos tratamentos ES e ET, se comparado com o SES.

A análise estatística dos nutrientes entre os tratamentos pode ser observada na Tabela 12.

Tabela 12 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores químicos do solo em área de pastagem anual com pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV* (%)	DMS**
	SES	ES	ET		
pH H <sub>2</sub> O					
0 - 5	5,57 A***	5,99 A	5,67 A	15,18	1,02
5 - 10	5,97 A	6,11 A	5,71 A	13,79	1,17
10 - 20	6,44 A	6,49 A	6,00 A	9,95	0,73
Fósforo (mg/L)					
0 - 5	32,11 A	34,54 A	40,09 A	33,06	13,70
5 - 10	12,96 B	18,09 AB	19,80 A	34,64	8,37
10 - 20	4,19 A	5,84 A	5,23 A	30,82	1,83
Potássio (mg/L)					
0 - 5	324,57 B	381,14 AB	412,00 A	16,46	71,40
5 - 10	281,71 A	349,71 A	353,71 A	19,57	74,84
10 - 20	180,57 A	255,43 A	243,43 A	30,86	81,36
Matéria Orgânica (%)					
0 - 5	3,60 A	3,67 A	4,00 A	9,87	0,43
5 - 10	2,51 A	2,61 A	2,63 A	8,04	0,24
10 - 20	1,91 A	2,01 A	2,03 A	6,59	0,15
Cálcio (cmol <sub>e</sub> /L)					
0 - 5	6,14 A	7,30 A	6,50 A	26,60	2,06
5 - 10	7,13 A	7,01 A	6,10 A	24,59	1,93
10 - 20	6,97 A	6,80 A	6,34 A	18,63	1,45
Magnésio (cmol <sub>e</sub> /L)					
0 - 5	3,94 A	4,57 A	4,26 A	24,92	1,24
5 - 10	4,14 A	4,17 A	3,57 A	24,16	1,11
10 - 20	3,89 A	3,90 A	3,53 A	19,18	0,84
Hidrogênio + Alumínio (cmol <sub>e</sub> /L)					
0 - 5	5,84 A	4,27 A	4,99 A	39,93	2,34
5 - 10	3,57 A	3,36 A	5,16 A	46,18	2,17
10 - 20	2,31 A	2,41 A	3,13 A	34,24	1,04
CTC ef					
0 - 5	11,03 A	12,89 A	11,89 A	22,90	3,18
5 - 10	12,03 A	12,16 A	10,70 A	22,02	2,98
10 - 20	11,33 A	11,39 A	10,51 A	17,28	2,23
CTC pH <sub>7</sub>					
0 - 5	16,74 A	17,11 A	16,77 A	6,89	1,35
5 - 10	15,57 A	15,44 A	15,74 A	9,20	1,67
10 - 20	13,64 A	13,79 A	13,61 A	9,97	1,59
Saturação de bases (%)					
0 - 5	65,16 A	75,19 A	69,81 A	18,45	15,06
5 - 10	76,56 A	77,97 A	67,03 A	17,07	14,68
10 - 20	82,73 A	81,79 A	76,56 A	9,51	8,90

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme Scherer, Baldissera e Nesi (2007), a aplicação do esterco de suínos na superfície do solo sem incorporação, em pesquisa realizada na região oeste de Santa Catarina, teve efeito restrito às camadas superficiais, proporcionando significativos aumentos nos teores de fósforo até 10 cm de profundidade.

O pH, matéria orgânica, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio, CTC ef, CTC pH<sub>7</sub> e a saturação de bases não apresentaram diferenças em nenhum dos tratamentos. Resultado semelhante a pesquisa realizada em Uberlândia, Minas Gerais, que constatou que a aplicação dos resíduos orgânicos não incrementou o teor de matéria orgânica no solo e os valores do pH na camada superficial (SILVA et al., 2012). Em pesquisa realizada na região oeste de Santa Catarina com aplicação de esterco suíno, também não foram constatados efeitos sobre os fatores de acidez do solo, cátions básicos, CTC e teor de matéria orgânica do solo (SCHERER; BALDISSERA; NESI, 2007). Esse resultado pode estar diretamente ligado ao período de duração do experimento, visto que havia 22% de esterco sem estar incorporado sobre o solo e as baixas precipitações pluviométricas do período do experimento a campo, pois a liberação dos nutrientes da matéria orgânica é baixa durante os períodos secos (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

A biodegradação do esterco está diretamente ligada a grupos da fauna edáfica que reciclam e incorporam esterco e material orgânico. Os principais grupos decompositores identificados foram os Coleópteros, Armadilidiidae e Clitellata, os quais são os principais responsáveis pela incorporação do esterco no solo. Devido as condições climáticas adversas e baixos níveis de precipitações pluviométricas, a biodegradação do esterco foi afetada.

### **5.3.2 Área de pastagem perene sem pastejo**

A quantidade de nutrientes químicos presentes no solo, são fatores importantes para analisar a qualidade e a fertilidade do solo. Alguns nutrientes são altamente desejáveis em quantidades significativas, como por exemplo o fósforo, potássio, cálcio e magnésio e outros deseja-se a diminuição ou eliminação como é o caso do alumínio.

As quantidades de nutrientes adicionadas pelo esterco ao solo podem ser observadas e quantificadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os atributos químicos do solo na área de pastagem perene sem pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
pH H <sub>2</sub> O					
0 - 5	4,47 B***	5,00 A	4,96 A	5,76	0,32
5 - 10	4,55 A	4,69 A	4,61 A	3,32	0,18
Fósforo (mg/L)					
0 - 5	6,69 B	39,30 A	34,14 A	76,83	23,9
5 - 10	3,66 B	7,56 A	6,13 A	32,76	2,21
Potássio (mg/L)					
0 - 5	90,86 B	226,86 A	276,00 A	27,98	64,48
5 - 10	49,14 B	186,86 A	160,00 A	56,99	87,62
Matéria Orgânica (%)					
0 - 5	3,75 B	4,94 A	4,77 AB	19,57	1,02
5 - 10	2,29 B	2,69 A	2,56 AB	9,60	0,28
Cálcio (cmol <sub>c</sub> /L)					
0 - 5	4,35 B	7,16 A	6,86 AB	20,34	1,45
5 - 10	4,24 A	4,46 A	4,54 A	14,09	0,72
Magnésio (cmol <sub>c</sub> /L)					
0 - 5	1,90 B	3,06 A	3,00 AB	15,38	0,47
5 - 10	1,70 A	1,87 A	1,86 A	10,00	0,21
Hidrogênio + Alumínio (cmol <sub>c</sub> /L)					
0 - 5	10,43 A	6,37 B	6,37 B	29,70	2,67
5 - 10	8,63 A	7,10 A	8,09 A	26,19	2,42
CTC ef					
0 - 5	7,62 B	11,11 A	10,84 A	15,32	1,76
5 - 10	7,09 A	7,51 A	7,64 A	6,93	0,60
CTC pH <sub>7</sub>					
0 - 5	16,91 A	17,17 A	16,90 A	8,21	1,62
5 - 10	14,69 A	13,91 A	14,90 A	12,76	2,15
Saturação de bases (%)					
0 - 5	39,43 B	63,41 A	62,17 A	19,26	12,33
5 - 10	42,31 A	49,49 A	45,74 A	18,11	9,67

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O pH do solo, na camada de 0 a 5 cm apresentou aumento dos índices em ES e ET, com relação a SES, o que não ocorreu na camada de 5 a 10 cm, na qual não se obteve diferenciação entre os tratamentos. O hidrogênio + alumínio apresentou maior quantidade no SES, diferenciando dos ES e ET, resultado inverso ao pH, sendo que quanto maior o pH do solo, menor a quantidade de hidrogênio e alumínio presente no solo. Resultados semelhantes a pesquisa realizada com esterco suíno em Paraíso do Sul no Rio Grande Sul, que concluiu que a adição de esterco suíno

sistematicamente em áreas sob pastagem natural, ocasiona a diminuição na saturação de alumínio (CERETTA et al., 2003).

Os macronutrientes fósforo e potássio apresentaram aumento nos tratamentos ES e ET, em ambas as camadas avaliadas, se comparados com o SES. Resultado semelhante a pesquisa realizada em Uberlândia, Minas Gerais, que constatou que houve incremento no teor de P e K no solo com aplicação de cama de frango e dejetos de suíno (SILVA et al., 2012).

A matéria orgânica teve diferenciação entre os tratamentos, nas diferentes camadas, sendo que o ES apresentou o maior teor de matéria orgânica, diferenciando estatisticamente do SES. O ET apesar de ter aumentado os índices, não se diferenciou dos demais tratamentos.

O cálcio e o magnésio apresentaram comportamento semelhante ao teor de matéria orgânica, sendo que o ES se diferenciou estatisticamente do SES. Resultado semelhante a pesquisa realizada com esterco suíno em Paraíso do Sul no Rio Grande Sul, onde a adição de esterco suíno sistematicamente em áreas sob pastagem natural, ocasiona a adição de grande quantidade de nutrientes ao solo, elevando principalmente os teores de P, Ca e Mg, (CERETTA et al., 2003). Porém o ET não se diferenciou dos demais tratamentos, podendo assim, estabelecer uma relação entre esses nutrientes e a quantidade de matéria orgânica disponível.

A saturação de bases teve resultado semelhante à capacidade de troca de cátions efetiva, que foi superior na camada de 0 a 5 cm nos ES e ET, o que não ocorreu com a camada de 5 a 10 cm.

A capacidade de troca de cátions efetiva nos ES e ET foi superior ao SES na camada de 0 a 5 cm, o que não ocorreu com a camada de 5 a 10 cm. A capacidade de troca de cátions potencial não diferiu entre tratamentos e nem entre camadas. Esse resultado pode ser explicado por pesquisas realizadas por Bertone et al. (2006), onde a CTC do solo foi aumentada pela atividade dos besouros, visto que os ES e ET apresentaram maior quantidade de coleópteros.

Os resultados mostram que o esterco bovino aumenta os macronutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de aumentar o teor de matéria orgânica do solo e a porcentagem de saturação de bases, principalmente na primeira camada. Além disso, provavelmente pelo incremento de cálcio, observa-se uma redução do alumínio + hidrogênio e um aumento no pH do solo, o que melhora a qualidade química do solo, comprovando a afirmação de Fogel et al. (2013) de que a utilização

de adubação orgânica tem se mostrado como alternativa promissora na recuperação de pastagens degradadas em avaliações em curto prazo.

A macrofauna edáfica benéfica que faz a decomposição e incorporação do esterco e demais materiais orgânicos presentes sobre o solo são os Coleópteros, Armadilidiidae, Oligochaeta e algumas espécies de Termitídeo. Esses grupos apresentaram quantidades superiores nos ES e ET, o que explica a incorporação total do esterco no solo, o qual apresentou resultados superior dos teores de P, K, Ca, Mg e matéria orgânica, além de um aumento do pH do solo e da saturação por bases, e uma redução nos índices de H + Al e a CTC efetiva, comprovando que a incorporação de esterco bovino pela macrofauna edáfica benéfica melhora a qualidade química do solo.

#### 5.4 INDICADORES FÍSICOS DO SOLO

Os indicadores físicos do solo apresentam as diferenciações dos níveis de densidade, quantidade de poros e grau de compactação entre os tratamentos, através dos quais podemos analisar e verificar a qualidade física do solo.

##### 5.4.1 Área de pastagem anual com pastejo

A avaliação das propriedades físicas do solo realizadas nas quatro diferentes camadas, apresentou na camada de 0 a 5 cm diferenciação na microporosidade do solo, sendo que ET e ES apresentaram maior quantidade de microporos do que o SES.

Com relação a densidade do solo, observou-se que o ET se diferenciou estatisticamente do SES nas camadas de 10 a 15 e 15 a 20 cm, apresentando menor densidade se comparado com o SES. O ES não diferenciou dos demais tratamentos. A densidade maior no SES pode estar relacionada a quantidade inferior de macrofauna edáfica benéfica como os Coleópteros, Oligochaeta, Molusca e Armadilidiidae, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores físicos do solo em área de pastagem anual com pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )					
0 - 5	1,35 A***	1,32 A	1,33 A	6,29	0,06
5 - 10	1,49 A	1,50 A	1,50 A	3,12	0,04
10 - 15	1,50 A	1,47 AB	1,46 B	2,90	0,03
15 - 20	1,45 A	1,44 AB	1,42 B	2,99	0,03
Porosidade total do solo (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )					
0 - 5	0,51 A	0,52 A	0,52 A	5,78	0,02
5 - 10	0,47 A	0,47 A	0,47 A	3,31	0,01
10 - 15	0,47 B	0,48 AB	0,48 A	3,30	0,01
15 - 20	0,49 A	0,49 A	0,50 A	3,23	0,01
Macroporosidade do solo (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )					
0 - 5	0,10 A	0,09 A	0,09 A	48,99	0,04
5 - 10	0,03 A	0,03 A	0,03 A	69,83	0,02
10 - 15	0,03 B	0,05 A	0,05 AB	66,67	0,02
15 - 20	0,03 B	0,05 A	0,06 A	43,29	0,02
Microporosidade do solo (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )					
0 - 5	0,41 B	0,43 A	0,43 A	4,70	0,02
5 - 10	0,44 A	0,44 A	0,44 A	2,54	0,01
10 - 15	0,44 A	0,43 A	0,44 A	5,06	0,02
15 - 20	0,45 A	0,44 B	0,44 B	2,89	0,01
Grau de compactação (%)					
0 - 5	88,41 A	85,99 A	86,67 A	6,26	4,19
5 - 10	95,70 A	96,14 A	95,84 A	3,12	2,30
10 - 15	94,74 A	93,05 AB	92,61 B	2,95	2,12
15 - 20	91,77 A	91,19 AB	89,52 B	2,95	2,06

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A porosidade total do solo apresentou diferenciação estatística na camada de 10 a 15 cm no SES que se diferenciou do ET. O ES não se diferenciou dos demais tratamentos. Áreas de pastagem apresentam redução da porosidade total, evidenciada pelo aumento da densidade do solo e resistência à penetração (PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010). O pisoteio animal ocasiona redução da porosidade total e aumento da densidade do solo (VIZZOTTO et al., 2000).

A macroporosidade apresentou diferenciação nas camadas de 10 a 15 cm onde o SES diferenciou-se do ES, e o ET não se diferenciou dos demais tratamentos. Na camada de 15 a 20 cm o SES mostrou-se inferior aos demais tratamentos com relação a macroporosidade, o que ocorreu inversamente com a microporosidade que foi superior no SES. Um dos motivos para esse resultado pode estar relacionado com a

maior quantidade de Coleópteros, Armadilidiidae e Oligochaeta que durante a adição do esterco no solo, fazem galerias.

O grau de compactação variou significativamente no ET nas camadas de 10 a 15 e 15 a 20 cm, com relação ao SES, e segundo Drewry et al. (2008) níveis elevados de compactação podem levar a reduções nos rendimentos das culturas e pastagens e também estão associados a uma degradação da estrutura do solo e das propriedades físicas. O ES não diferiu dos demais tratamentos.

Analisando os indicadores físicos pode-se concluir que este solo apresenta alto grau de compactação na camada de 5 a 20 cm, pois apresenta grau de compactação superior a 90% e macroporosidade inferior a 10%. Com o aumento da macrofauna benéfica nos ET e ES, obteve-se resultados significativos no grau de compactação nas camadas de 10 a 20 cm no ET, e na macroporosidade nas camadas de 10 a 20 cm no ES, e na camada de 15 a 20 cm do ET.

Com relação aos agregados do solo observa-se que a porcentagem e tamanhos dos agregados diferiu no SES apenas na camada de 5 a 10 cm na classe de 0,25 a 0,00 mm, que foi superior aos ES e ET. As demais camadas e classes não apresentaram diferenciações.

Os teores de DMP e DMG não apresentaram diferenciação entre os tratamentos, conforme pode ser observado na Tabela 15.

O estudo realizado por Melo et al. (2017), avaliou a estabilidade de agregados em área de capim tifton 85, submetidas a diferentes fontes de Nitrogênio (uréia e esterco bovino), não apresentando diferenciação na distribuição percentual de agregados por classes de diâmetro, sendo que a maior quantidade de agregados retidos foi na malha de maior abertura (2,00 mm), o que indica elevado grau de estabilidade da estrutura do solo. No mesmo estudo, os parâmetros de DMP e DMG apresentaram valores elevados e não diferiram estatisticamente entre os tratamentos.

Tabela 15 - Efeito dos diferentes tratamentos na porcentagem dos agregados por classes, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico em área de pastagem anual com pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
8,00 - 4,76 mm (%)					
0 - 5	71,80 A***	62,48 A	60,45 A	28,07	21,22
5 - 10	41,72 A	48,11 A	47,92 A	22,79	12,19
10 - 20	11,52 A	25,38 A	13,91 A	78,10	15,40
4,76 - 2,00 mm (%)					
0 - 5	13,19 A	16,77 A	15,87 A	39,30	6,99
5 - 10	16,30 A	18,49 A	17,13 A	13,90	2,80
10 - 20	11,86 A	13,43 A	14,87 A	24,04	3,75
2,00 - 1,00 mm (%)					
0 - 5	7,85 A	7,04 A	7,64 A	70,50	5,35
5 - 10	10,59 A	10,38 A	10,31 A	29,00	3,52
10 - 20	14,67 A	13,81 A	15,90 A	23,89	4,12
1,00 - 0,25 mm (%)					
0 - 5	6,75 A	9,47 A	11,16 A	76,16	8,10
5 - 10	20,76 A	16,02 A	16,69 A	36,35	7,55
10 - 20	44,44 A	33,98 A	37,36 A	23,57	10,59
0,25 - 0,00 mm (%)					
0 - 5	3,40 A	4,25 A	4,87 A	60,00	2,91
5 - 10	10,63 A	6,99 B	7,95 B	26,59	2,64
10 - 20	17,52 A	13,40 A	17,97 A	26,55	5,04
DMP (mm)****					
0 - 5	5,15 A	4,72 A	4,58 A	18,45	1,03
5 - 10	3,51 A	3,96 A	3,90 A	15,79	0,70
10 - 20	1,65 A	2,51 A	1,88 A	38,04	0,89
DMG (mm)*****					
0 - 5	4,21 A	3,56 A	3,48 A	28,56	1,25
5 - 10	2,12 A	2,67 A	2,50 A	23,25	0,66
10 - 20	0,88 A	1,50 A	0,98 A	54,75	0,71

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

\*\*\*\*Diâmetro médio ponderado (DMP).

\*\*\*\*\*Diâmetro médio geométrico (DMG).

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4.2 Área de pastagem perene sem pastejo

A análise estatística dos indicadores físicos no solo para a área de pastagem perene sem pastejo pode ser observada na Tabela 16.

Tabela 16 - Efeito dos diferentes tratamentos sobre os indicadores físicos do solo na área de pastagem perene sem pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )					
0 - 5	1,21 A***	1,18 A	1,15 A	7,82	0,07
5 - 10	1,35 A	1,38 A	1,33 B	3,70	0,04
10 - 15	1,32 A	1,34 A	1,30 A	4,08	0,04
15 - 20	1,27 A	1,30 A	1,26 A	4,79	0,05
Porosidade total do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )					
0 - 5	0,55 A	0,56 A	0,57 A	6,18	0,03
5 - 10	0,53 AB	0,52 B	0,53 A	3,34	0,01
10 - 15	0,54 A	0,53 A	0,54 A	3,60	0,01
15 - 20	0,55 A	0,54 A	0,56 A	4,13	0,02
Macroporosidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )					
0 - 5	0,11 B	0,16 A	0,15 A	41,53	0,04
5 - 10	0,09 AB	0,08 B	0,11 A	28,54	0,02
10 - 15	0,09 A	0,09 A	0,10 A	27,04	0,02
15 - 20	0,10B	0,09 B	0,12 A	19,71	0,02
Microporosidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )					
0 - 5	0,44 A	0,41 B	0,42 AB	9,62	0,03
5 - 10	0,44 A	0,44 AB	0,43 B	3,57	0,01
10 - 15	0,45 A	0,44 B	0,44 AB	3,84	0,01
15 - 20	0,46 A	0,45 AB	0,44 B	3,13	0,01
Grau de compactação (%)					
0 - 5	80,89 A	79,21 A	77,05 A	7,82	4,76
5 - 10	87,99 A	90,15 A	86,60 B	3,70	2,51
10 - 15	87,33 A	88,60 A	86,16 A	4,11	2,76
15 - 20	83,98 A	86,46 A	83,64 A	3,10	4,76

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade do solo no ET apresentou diferenciação dos demais tratamentos na camada de 5 a 10 cm, sendo inferior às demais. As demais camadas não apresentaram diferenciação entre os tratamentos. A porosidade total do solo na camada de 5 a 10 cm do ET foi superior ao ES, e o SES não diferiu dos demais tratamentos em nenhuma das camadas.

A macroporosidade do solo apresentou diferenciação entre os ES e ET, quando comparado ao SES, o qual foi inferior aos demais na camada de 0 a 5 cm. Na camada de 5 a 10 cm houve diferenciação entre os ES e ET, já o SES não se diferenciou dos demais tratamentos. Na camada de 10 a 15 cm nenhum tratamento se diferenciou dos demais e na camada de 15 a 20 cm o ET foi superior aos demais.

A microporosidade do solo foi superior no SES nas camadas de 0 a 5 e 10 a 15 cm quando comparado com o ES, e superior nas camadas 5 a 10 e 15 a 20 cm ao ET. O ET não diferiu dos demais tratamentos nas camadas de 0 a 5 e 10 a 15 cm, o mesmo resultado que o ES nas camadas 5 a 10 e 15 a 20 cm. O ET apresentou um grau de compactação inferior aos demais tratamentos na camada de 5 a 10 cm. Nas demais camadas não houve diferenciação entre os tratamentos. O aumento do grau de compactação leva à redução da macroporosidade (SUZUKI et al., 2007).

Em pesquisa realizada na Costa Rica, onde foram depositados fragmentos de esterco cru sobre pastagens, a porosidade aumentou 67%, a densidade foi reduzida em 10% nos primeiros 3 cm do solo, ocorrendo um aumento no volume de macroporos do solo e redução da compactação superficial (HERRICK; LAL, 1995).

Analisando os resultados dos indicadores físicos do solo, pode-se afirmar que este solo não apresenta níveis críticos de compactação, pois o grau de compactação nas camadas de 5 a 20 cm está em no máximo 90% e a macroporosidade do solo encontra-se em torno de 10%. A situação é mais favorável na camada de 0 a 5 cm, que independente do tratamento apresenta grau de compactação em torno de 80% e macroporosidade acima de 11%, sendo que nos ES e ET o grau de compactação é menor ainda, e a macroporosidade superior que no SES. Esse resultado pode estar diretamente relacionado com o fato de ser área de pastagem perene sem pastejo, destinado apenas a fenação, a qual é realizada em períodos que a umidade no solo está bem abaixo da capacidade de campo.

O tamanho de agregados do solo mostra a distribuição da massa do solo em cinco classes de tamanho de agregados estáveis em água, a porcentagem de cada classe pode ser observada na Tabela 17.

Tabela 17 - Efeito dos diferentes tratamentos na porcentagem dos agregados por classes, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico na área de pastagem perene sem pastejo.

Camada (cm)	TRATAMENTOS			CV (%)*	DMS**
	SES	ES	ET		
8,00 - 4,76 mm (%)					
0 - 5	57,34 A***	60,17 A	54,03 A	16,78	11,18
5 - 10	33,78 A	32,29 A	26,95 A	35,77	12,92
10 - 20	15,67 A	15,72 A	14,23 A	32,34	5,78
4,76 - 2,00 mm (%)					
0 - 5	15,14 AB	11,51 B	15,90 A	22,80	3,77
5 - 10	14,55 A	14,54 A	12,88 A	29,02	4,73
10 - 20	14,01 A	13,93 A	13,41 A	14,49	2,33
2,00 - 1,00 mm (%)					
0 - 5	7,25 A	5,92 A	6,70 A	28,15	2,17
5 - 10	13,01 A	12,35 A	9,93 A	39,04	5,35
10 - 20	16,56 A	16,67 A	16,69 A	15,22	2,95
1,00 - 0,25 mm (%)					
0 - 5	13,90 A	13,77 A	15,91 A	26,69	4,51
5 - 10	26,18 A	25,48 A	28,56 A	21,46	6,68
10 - 20	37,12 A	36,09 A	39,63 A	10,93	4,79
0,25 - 0,00 mm (%)					
0 - 5	6,35 A	8,62 A	7,47 A	43,77	3,81
5 - 10	12,48 A	15,34 A	21,69 A	74,55	14,33
10 - 20	16,63 A	17,59 A	15,64 A	16,39	3,17
DMP (mm)****					
0 - 5	4,37 A	4,41 A	4,19 A	11,36	0,57
5 - 10	3,02 A	2,92 A	2,51 A	22,05	0,80
10 - 20	1,97 A	1,97 A	1,91 A	15,22	0,35
DMG (mm)*****					
0 - 5	3,10 A	2,99 A	2,76 A	23,07	0,79
5 - 10	1,87 A	1,52 A	1,42 A	17,17	0,70
10 - 20	1,11 A	1,03 A	1,03 A	20,10	0,25

\*CV – Coeficiente de variação (%).

\*\*DMS – Diferença mínima significativa.

\*\*\*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t a 5% significância.

\*\*\*\*Diâmetro médio ponderado (DMP).

\*\*\*\*\*Diâmetro médio geométrico (DMG).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando analisados os agregados do solo, observou-se que a porcentagem e tamanhos dos agregados não diferiu entre os tratamentos e entre camadas, com exceção dos agregados da classe de 4,76 - 2,00 mm, na camada de 0 a 5 cm, que foi superior no ET, se comparado com o ES. O SES não diferiu dos demais tratamentos em nenhuma das camadas.

O diâmetro médio ponderado é um indicativo da estabilidade do solo e tem seu valor associado à classe de agregados de maior tamanho, já o diâmetro médio

geométrico representa uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência. Para ambos os índices se observou que não houve diferenciação entre os tratamentos em nenhuma das camadas de solo analisadas. A formação de agregados é um processo lento, principalmente em solos argilosos, o que pode ter contribuído para o resultado obtido (DUFRANC et al., 2004).

## 5.5 RELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

A interação entre a macrofauna do solo e a decomposição do esterco bovino, tem relação significativa nas alterações dos atributos químicos e físicos do solo.

### 5.5.1 Área de pastagem anual com pastejo

Com relação aos atributos biológicos, as análises apresentam maior quantidade de Coleópteros, Armadilidiidae e Oligochaeta nos ES e ET, o que está diretamente relacionado com diminuição da densidade do solo e o aumento da porosidade do solo, pois esses grupos são responsáveis pela formação de galerias no solo e a decomposição do esterco. Já o SES apresentou maior quantidade de Formicidae, as quais são indicadores de solos degradados. O ES apresentou a menor quantidade de indivíduos e os maiores índices de dominância de Simpson, diversidade de Shannon e equabilidade de Pielou. A tela de proteção não restringiu a quantidade e diversidade de indivíduos nesse experimento.

Com relação aos atributos químicos, os nutrientes que apresentaram diferenciação entre os tratamentos foram o fósforo, que teve variação nos ES e ET na camada de 5 a 10 cm, e o potássio, que apresentou teores superiores na camada de 0 a 5 cm nos ES e ET, se comparado com o SES. Esse resultado pode estar relacionado com a decomposição do esterco realizado pela macrofauna do solo, que aumentou os níveis desses nutrientes devido a incorporação do esterco.

Os atributos físicos do solo, nos ES e ET apresentaram maiores índices de microporosidade e índices inferiores de compactação e densidade com relação ao SES. A análise dos agregados do solo apresentou diferenciação no SES, na camada de 5 a 10 cm, na classe de 0,25 a 0,00 mm, sendo superior aos ES e ET.

Assim, pode-se deduzir que na área de pastagem anual com pastejo, que teve biodegradação de 78% do esterco bovino, apresentou melhoria na qualidade biológica, química e física do solo.

O pisoteio animal antes da instalação do experimento, ocasionou níveis críticos de grau de compactação e diminuição da macroporosidade do solo, o que não foi possível reverter na camada superficial do solo (0 a 10 cm), mas com a criação de bioporos, o grau de compactação do solo foi reduzido na camada de 10 a 20 cm do solo (Tabela 14).

### **5.5.2 Área de pastagem perene sem pastejo**

Com relação aos atributos biológicos, houve maior abundância de indivíduos dos grupos de Termitídeo, Chilopoda, Oligochaeta, Coleópteros e Armadilidiidae nos ES e ET. Além disso, o ES aumentou a riqueza biológica do solo, expressando menor índice de dominância de Simpson. O ET apresentou maior índice de diversidade de Shannon, e maior índice de equabilidade de Pielou.

Para os atributos químicos, os ES e ET apresentaram na camada de 0 a 5 cm, níveis superiores de P, K, Ca, Mg e matéria orgânica, além de um aumento no pH do solo, CTC efetiva e saturação por bases. Os mesmos tratamentos tiveram redução no índice de H + Al.

Nos atributos físicos, os principais resultados referem-se à diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade do solo no SES, na camada de 0 a 5 cm. A densidade do solo e o grau de compactação foi inferior no ET na camada de 5 a 10 cm, com aumento na macroporosidade do solo nas camadas de 0 a 5 e 15 a 20 cm. Os agregados do solo apresentaram diferenciação apenas na classe de 4,76 - 2,00 mm, na camada de 0 a 5 cm que foi superior no ET, se comparado com o ES.

Assim, a biodegradação e incorporação de 100% do esterco bovino no experimento em área de pastagem perene sem pastejo, apresentou melhoria na qualidade biológica e química do solo. Devido ao solo dessa área não sofrer pisoteio animal e tráfego intenso de máquinas agrícolas, o mesmo não apresentou elevado grau de compactação e sua macroporosidade está dentro dos parâmetros estabelecidos.

## 6 CONCLUSÕES

A adição de esterco às pastagens aumentou a população de Coleópteros, Armadilidiidae e Oligochaeta que são responsáveis pela incorporação de material orgânico e formação de galerias no solo.

A biodegradação e incorporação do esterco adicionado às pastagens pela fauna do solo aumentou o pH e os teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio, fósforo e potássio e reduziu o H+Al na pastagem perene e aumentou os teores de fósforo e potássio na pastagem anual.

O aumento da população de organismos da fauna do solo com a adição do esterco nas pastagens promoveu a redução do grau de compactação e aumento da quantidade de macroporos do solo, sendo isso um importante serviço ecossistêmico para a melhoria da infiltração de água e aeração do solo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve o intuito de avaliar se o esterco de bovinos após a biodegradação e incorporação melhoraria as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo em duas áreas de pastagens na região noroeste do Rio Grande do Sul, no ano 2019.

Na área com pastagem anual com pastejo houve aumento da macrofauna benéfica, diminuição da densidade e grau de compactação do solo, aumento na porosidade total do solo e dos teores de P e K.

Na área com pastagem perene e não pastejada houve aumento na diversidade de grupos da macrofauna benéfica, aumento de teores dos nutrientes P, K, Ca e Mg, e dos níveis de pH e saturação de bases, e diminuição dos teores de H + Al e CTC efetiva.

Observou-se que quanto maior a quantidade de esterco decomposto maior foi a disponibilidade de nutrientes e melhoria da qualidade química do solo, pois na área de pastagem perene sem pastejo, que recebeu maior quantidade de esterco bovino e teve a decomposição total do mesmo, a maioria dos atributos químicos foram superiores nos ES e ET, em comparação com o SES, e na área de pastagem anual com pastejo, que recebeu menor quantidade de esterco e não foi totalmente decomposto, apenas os teores de P e K foram superior nos ES e ET. Assim, quanto maior a quantidade e a decomposição do esterco, mais efetiva é a melhoria das propriedades químicas do solo.

Ocorreu uma melhoria significativa da quantidade de macroporos com a decomposição do esterco, o que pode ser atribuída ao aumento das populações de organismos da fauna do solo que promovem a biodegradação e incorporação do esterco, formando galerias no solo. O aumento na quantidade de macroporos de origem biológica melhora a infiltração de água, a aeração e o crescimento das raízes das plantas, sendo esses importantes serviços ecossistêmicos promovidos pela fauna do solo.

## REFERÊNCIAS

- ABIEC – Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carnes. **Beef Report 2020** - Perfil da Pecuária do Brasil. Disponível em: <<http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>>. Acesso em: 06/09/2020.
- AMBUS, Jordano Vaz; REICHERT, José Miguel; GUBIANI, Paulo Ivonir; CARVALHO, Paulo César de Faccio. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. *In Geoderma* v. 330, p. 232-243, 2018.
- ANDERSON, J. M. Invertebrate-mediated transport processes in soils. *In Agriculture Ecosystems & Environment*. v. 24, p. 5-19, 1988.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2 ed. Wallingford: CAB International, 1993. 171 p.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. In: ARAÚJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.325-380, 2013.
- ARAÚJO, Edson Alves de; KER, João Carlos; NEVES, Júlio César Lima; LANI, João Luiz. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- ASSMANN, Alceu Luiz; SOARES, André Brugnara; ASSMANN, Tangriani Simioni. **Integração lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: IAPAR, 49 p., 2008.
- BALBINOT JUNIOR, Alvadi Antonio; MORAES Anibal de; VEIGA Milton da; PELISSARI Adelino; DIECKOW, Jeferson. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *In Ciência Rural*, v.39, n.6, set, 2009.
- BARETTA, Dilmar; SANTOS, Julio Cesar Pires; SEGAT, Julia Corá; GEREMIA, Eliana Vera; OLIVEIRA FILHO, Luís Carlos Lunes; ALVES, Maurício Vicente. Fauna edáfica e qualidade do solo. *In Tópicos Ciência do Solo*, 7:119-170, 2011.
- BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *In Geoderma* v. 100, p 193-213, 2001.
- BARROS, Eleusa; GRIMALDI, Michel; SARRAZIN, Max; CHAUVEL, Armand; MITJA, Danielle; DESJARDINS, Thierry; LAVELLE, Patrick. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *In Applied Soil Ecology* vol. 26, p. 157-168, 2004.

BERTONE, M. A., GREEN, J. T., WASHBURN, S. P., POORE, M. H., and WATSON, D. W. 2006. The contribution of tunneling dung beetles to pasture soil nutrition. Online. *In Forage and Grazinglands* DOI:10.1094/FG-2006-0711-02-RS.

BIANCHIN, Ivo; ALVES, Rafael G.O.; KOLLER, WILSON W. Efeito de Carrapaticidas/Inseticidas “Pour-on” Sobre Adultos do Besouro Coprófago Africano *Onthophagus gazella* Fabr. (Coleoptera:Scarabaeidae). *In Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*. v. 27(2). p. 275-279. Junho 1998.

BROWN, Jacqueline; SHOLTZ, Clarke H.; JANEAU, Jean-Louis; GRELLIER, Seraphine; PODWOJEWSKI, Pascal. Dung beetles (Coleoptera:Scarabaeidae) can improve soil hydrological properties. *In Applied Soil Ecology*. v. 46, p 9-16, 2010.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookmann. 2013. 686 p. ISBN 978-85-65837-74-3.

CASTRO FILHO, C; MUZILLI O.; PODANOSCHI A. L.; Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *In Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527-538, 1998.

CECCHIN, Edimar José et al. **Levantamento da meso e macrofauna em diferentes usos de solo no campus III das Faculdades Ideau**. Mostra de Iniciação Científica e Mostra de Criação e Inovação. 2016. ISSN: 2316-1566.

CERETTA, Carlos Alberto; DURIGON, Reges; BASSO, Claudir José; BARCELLOS, Luiz Antônio Rocha; VIEIRA, Frederico Costa Beber. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *In Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, jun. 2003.

COLLARES; Gilberto Loguércio; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel; KAISER, Douglas Rodrigo. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura – pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. *In Ciência Rural*. Santa Maria, v.41, n.2, p.246-250, fev, 2011.

COLET, Marcelo José. **Alteração de atributos físicos de um solo, sob pastagem degradada, submetido à escarificação**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP: [s.n.], 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376 p. ISBN 978-85-66301-80-9.

COSTA, Marco Aurélio Teixeira; TORMENA, Cássio Antônio; LUGÃO, Simony Marta Bernardo; FIDALSKI, Jonez; NASCIMENTO, Willian Gonçalves do; MEDEIROS, Flaviane Marcolin de. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. *In Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36 p. 993-1004, 2012.

DREWRY J. J.; CAMERON L.C.; BUCHAN G.D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing—a review. *In Australin Journal of Soil Research*. 2008. 46. 237-256.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém, PA. 2011. 204 p. ISBN 978-85-911831-0-4

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0513; 402).

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

DONAGEMA, Guilherme Kangussú; CAMPOS, David Vilas Boas de. CALDERANO, Sebastião Barreiros. TEIXEIRA, Wenceslau Gerales. VIANA, João Herbert Moreira. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 132).

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:505-517, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2. ed. rev. Atual. EMBRAPA, 1997. 212p.

FOGEL, Gabriel F.; MARTINKOSKI, Lais; MOKOCHINSKI, Filemom M.; GUILHERMETTI, Paulo G. C.; MOREIRA, Vanessa S. Efeitos da adubação com dejetos suínos, cama de aves e fosfato natural na recuperação de pastagens degradadas. *In Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. v. 8, n. 5, p. 66 - 71, dezembro, 2013. ISSN 1981-8203.

FOSTER, G.; BENNETT, J.; BATEMAN, M. Effects of ivermectin residues on dung invertebrate communities in a UK farmland habitat. *In Insect Conservation and Diversity*. v. 7, p. 64-72, 2014.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALC, 2002.

GARCIA, Daniela Vilas Boas; CATANOZI, Gerson. **Análise de macrofauna de solo em área de mata atlântica e de reflorestamento com Pinus sp – zona sul de São Paulo**. 2011. Disponível em: <<http://www.revistaunib.com.br/vol2/artigo1.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; SCOTT J.M.; HUTCHINSON, K. J. Changes to soil physical properties after grazing exclusion. *In Soil Use and Management* (1998) 14, 19-24.

GIRACCA, Ecila M. N.; ANTONIOLLI, Zaida I.; ELTZ, Flavio L. F.; BENEDETTI, Eliziane; LASTA, Eloiza; VENTURINI, Saulo F.; VENTURINI, Evandro F.; BENEDETTI, Tatiana. Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo/RS. *In Revista Brasileira de Agrociência*, v. 9, n. 3, jul-set 2001, p. 257-261.

GOMES, Rodrigo da Costa; FEIJÓ; Gelson Luiz Dias; CHIARI, Lucimara. 2017. **Evolução e Qualidade da Pecuária Brasileira**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/EvolucaoQualidadePecuaria.pdf/64e8985a-5c7c-b83e-ba2d-168ffaa762ad>>. Acessado em: 16 fev. 2018.

HAYNES, R.J.; P.H. WILLIAMS. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *In Advanced Agronomy*, v.49, p.119-199, 1993.

HERRICK, Jeffrey E.; LAL, Rattan. Soil physical property changes during dung decomposition in a tropical pasture. *In Soil Science Society of America Journal*, v. 59, n.3, p. 908-912, 1995.

HERRICK, Jeffrey E.; LAL, Rattan. Dung decomposition and pedoturbation in a seasonally dry tropical pasture. *In Biol Fertil Soils*. v. 23, p. 177-181, 1996. ISSN1432-0789.

HOULBROOKE, D. J.; DREWRY, J. J.; MONAGHAN, R. M.; PATON, R. J.; SMITH, L. C.; LITTLEJOHN, R. P. Grazing strategies to protect soil physical properties and maximise pasture yield on a Southland dairy farm. *In New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 52:3, p. 323-336, 2009.

IBGE - **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6783#resultado>>. Acessado em: 05 nov. 2018.

JONG VAN LIER, Q.; ALBUQUERQUE, J. A. novo método para calcular o diâmetro médio de agregados de solos. *In Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 21:699-705, 1997.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARCK, F.E., eds. Methods of soil analysis. Part 1, Madison, **American Society of Agronomy** p. 499-510, 1965.

KLEIN, Vilson Antonio; VIEIRA, Márcio Luis; DURIGON, Fabio Fernando; MASSING, João Paulo; FÁVERO, Fernando. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. *In Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.2, p.365-371. 2008.

KONZEN, Egídio Arno; ALVARENGA, Ramon Costa. **Adubação Orgânica**. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2. 4ª ed. Set./2008.

LEE, K. E.; FOSTER, R. C. Soil Fauna and Soil Structure. *In Australian Journal of Soil Research*, v. 29, p. 745-775, 1991.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos. 2011. 456 p. ISBN 978-85-7975-029-8.

MANHÃES, Carmen Maria Combra; FRANCELINO, Francisco Mauricio Alves. Biota do solo e suas relações ecológicas com o sistema radicular. *In Nucleus*. v.10, n.2. 2013.

MANNING, Paul; SLADE, Eleanor M.; BEYNON, Sarah A.; LEWIS Owen T. Functionally rich dung beetle assemblages are required to provide multiple ecosystem services. *In Agriculture Ecosystems & Environment*. February 2016.

MARCHÃO, Robélio Leandro; LAVELLE, Patrick; CELINI, Leonide; BALBINO, Luiz Carlos; VILELA, Lourival; BECQUER, Thierry. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. *In Revista Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.44, n.8, p.1011-1020, ago. 2009.

MELO, Marina Luciana Abreu de; BATISTA, Aline Martineli; ARAÚJO, Gabriela Soares Santos; SILVA, Bruno Montoani; VIANA, Maria Celuta Machado. Estabilidade de agregados em solo cultivado com capim-tifton 85 sob irrigação e formas de suprimento de nitrogênio. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 2017

MILOTIC, Tanja; QUIDÉ, Stijn; VAN LOO, Thomas; HOFFMANN, Maurice. Linking functional group richness and ecosystem functions of dung beetles: an experimental quantification. *In Community Ecology – Original Research*. 2016. DOI 10.1007/s00442-016-3756-5.

MOLIN, José P.; RABELLO, Ladislau M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. *In Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.1, p.90-101, jan./fev. 2011.

MULLER, Marcelo Marques Lopes; GUIMARÃES, Maria de Fátima; DESJARDINS, Thierry; MARTINS, Paulo Fernando da Silva. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. *In Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

NICHOLS, E; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILA M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *In Revista Biological Conservation* v. 141, p. 1461-1474, 2008.

PORTUGUAL, Arley Figueiredo, COSTA, Oldair Del'Arco Vinhas; COSTA, Liovando Marciano da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. *In Revista Brasileira da Ciência do Solo*, n. 34, p. 575-585, 2010.

QUADROS, Aline Ferreira. Os isópodos terrestres são boas ferramentas para monitorar e restaurar áreas impactadas por metais pesados no Brasil? *In Oecologia Australis* 14(2): 569-583, Junho 2010.

RAUBER, Lucas Raimundo. **Estrutura do solo em condições de pastejo bovino em pastagem natural de altitude**. Dissertação (mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2020.

REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José; BRAIDA, João Alfredo. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas. *In Ciência e Ambiente* n.27, 2003.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches; REINERT, Dalvan José. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *In Tópicos Ciência do Solo*, 5:49-134, 2007.

RODRIGUES, S. R.; MARCHINI, L.C. Besouros coprófagos (Coleoptera; Scarabaeidae) coletados em Piracicaba, SP. *In Scientia agrícola*. Vol 5. n 1. Piracicaba. Jan/Apr 1998. ISSN 1678-992X

ROSCOE, Renato; MERCANTE, Fábio Martins; SALTON Júlio Cesar. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. EMBRAPA: Dourados, MS, 2006.

SANTOS, Raphael David dos; LEMOS, Raimundo Costa de; SANTOS, Humberto Gonçalves dos; KER, João Carlos; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p. ISBN 978-8586504-03-7.

SANTOS, Nailson Lima; SILVA, Victor Costa e; MARTINS, Paulo Eduardo Silva; ALARI, Fernando de Oliveira; GALZERANO, Leandro; MICELI, Natasha Gandolfi. As interações entre solo, planta e animal no ecossistema pastoril. *In Ciência animal* 21(1):65-76, 2011.

SCHERER, Eloi Erhard; BALDISSERA, Ivan Tadeu; NESI, Cristiano Nunes. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *In Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v. 31, p. 123-131, 2007.

SILVA, Adriane de A.; COSTA, Adriana M. da; LANA, Regina M. Q.; LANA, Ângela M. Q. Recycling of nutrients with application of organic waste in degraded pasture. *In Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.2, p.405-414, mar./abr. 2012.

SILVA, Pedro Giovâni da; GARCIA, Mário André da Rosa. VIDAL, Mariana Brasil. Besouros copro-necrófagos (Coleoptera: Scarabaeidae stricto sensu) coletados em ecótono natural de campo e mata em Bagé, RS. *In Revista Ciência e Natureza*, UFSM, v. 30 n.2, p.71 - 91, 2008.

SPENCER, Robert. Using Dung Beetles to Maintain a Healthy Pasture Ecosystem. *In* **Alabama Cooperative Extension System**. March 2012.

STEFEEEN Ricardo Bemfic; ANTONIOLLI Zaida Inês; STEFFEN Gerusa Pauli. Avaliação de substratos para reprodução de colêmbolos nativos em condições de laboratório. *In* **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria. 2007. v. 17, n. 3, p. 265-269, jul-set. ISSN 0103-9954.

SUZUKI; Luis Eduardo Akiyoshi Sanches; REICHERT José Miguel; REINERT, Dalvan José; LIMA, Cláudia Liane Rodrigues de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *In* **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, ago. 2007.

TABOADA, Miguel Angel; RUBIO, Gerardo; CHANETON, Enrique J. Grazing Impacts on Soil Physical, Chemical, and Ecological Properties in Forage Production. *In* **American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, USA**. Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture 2011.

TEDESCO, Marino José; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; WOLKWEISS, Sérgio JORGE. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 1995. 175 p. (Boletim Técnico nº 5).

TISSIANI, Ana Silvia de Oliveira; VAZ-DE-MELLO, Fernando Zagury; CAMPELO-JÚNIOR, José Holanda. Besouros rola-bostas das pastagens brasileiras e chave para identificação dos gêneros (Coleoptera: Scarabaeidae). *In* **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 52, n. 6, p. 401-418, jun. 2017.

TIXIER, Thomas; BLOOR, Juliette M.G.; LUMARET, Jean-Pierre. Species-Specific effects of dung beetle abundance on dung removal and leaf litter decomposition. *In* **Acta Oecologica** v. 69, p. 31-34, 2015.

YAMADA, Daigo; IMURA, Osamu; SHI, Kun; SHIBUYA Takeshi. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *In* **Grassland Science**. 2007.

VIZZOTTO, Vandro Rogério; MARCHEZAN, Enio; SEGABINAZZI, Tommi. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. *In* **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, 2000.

WINK, Charlote; GUEDES, Jerson Vanderlei Carus; FAGUNDES, Camila Kurzmann; ROVEDDER, Ana Paula. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. *In* **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.4, n.1, p. 60-71, 2005.