

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO  
CURSO DE AGRONOMIA**

**FELIPE INÁCIO KREIN**

**EFEITO DO PREPARO E DE FORRAGEIRAS DE INVERNO SOBRE ATRIBUTOS  
FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA SOB MONOCULTIVO DE CAPIM TIFTON**

**CERRO LARGO**

**2022**

**FELIPE INÁCIO KREIN**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**EFEITO DO PREPARO E DE FORRAGEIRAS DE INVERNO SOBRE ATRIBUTOS  
FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA SOB MONOCULTIVO DE CAPIM TIFTON**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de bacharel em agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

Co-orientador: Prof. Dr. Gilmar Roberto Meinerz

**CERRO LARGO**

**2022**

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

Krein, Felipe Inácio

Efeito do preparo e de forrageiras de inverno sobre atributos físicos do solo em área sob monocultivo de capim tifton / Felipe Inácio Krein. -- 2022.

44 f.:il.

Orientador: Doutor em ciência do solo Douglas Rodrigo Kaiser

Co-orientador: Doutor em zootecnia Gilmar Roberto Meinerz

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Manejo de solo. 2. Compactação do solo. 3. Forrageiras de inverno. 4. Escarificação. 5. Grama tifton. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Meinerz, Gilmar Roberto, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

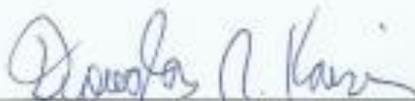
FELIPE INÁCIO KREIN

EFEITO DO PREPARO E DE FORRAGEIRAS DE INVERNO SOBRE  
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA SOB MONOCULTIVO DE CAPIM  
TIFTON

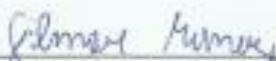
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Agronomia da  
Universidade Federal da Fronteira Sul  
(UFFS), como requisito para obtenção do  
título de bacharel em agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 12/04/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS  
Orientador



Prof. Dr. Gilmar Roberto Meinertz – UFFS  
Co-orientador



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS  
Avaliador



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar e proporcionar todas as oportunidades.

Agradeço também à minha namorada por me auxiliar na implantação e condução desse trabalho, e também por todo incentivo e apoio durante minha caminhada acadêmica.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, por todo apoio e incentivo que sempre me forneceram.

Agradeço também ao orientador, Dr. Douglas Rodrigo Kaiser por aceitar minha proposta, pela confiança, dedicação e apoio, não medindo esforços para realização do experimento. Agradeço também ao co-orientador professor Dr. Gilmar Roberto Meinerz por todo apoio e informações disponibilizadas.

## RESUMO

A cultura do tifton (*Cynodon* spp.) é considerada uma cultura de boa produção de forragem, utilizada em grande escala para produção de forragens conservadas, devido sua rusticidade e resistência ao tráfego e pisoteio. A produção de forragens conservadas ocasiona problemas de compactação no solo, causadas pelos vários processos que envolvem tráfego de máquinas agrícolas, aliados ao fato de muitas vezes não respeitarem o ponto de umidade do solo. Nesse contexto, o presente trabalho visa contemplar a remediação da compactação causada pelo manejo da cultura do tifton, utilizando forrageiras de inverno, durante o período em que a lavoura torna-se ociosa. Foram utilizadas as culturas da aveia branca, ervilhaca e consórcio entre as mesmas, aliadas ao tratamento de escarificação mecânica ou sem escarificação, instaladas em um delineamento blocos ao acaso com quatro repetições. Para realização das avaliações, foi realizada a avaliação do teor de matéria seca de cada parcela; também foi realizada a avaliação da resistência do solo à penetração, com auxílio de um penetrômetro; foram avaliadas a densidade do solo, a porosidade total, a microporosidade e a macroporosidade. As plantas de cobertura apresentaram boa produção de biomassa vegetal, apesar das condições ambientais não muito favoráveis. Em relação à resistência do solo à penetração, o uso do escarificador associado com as plantas de cobertura se demonstrou como melhorador desse atributo físico do solo. Para a densidade do solo e porosidade total, nenhum tratamento apresentou diferença significativa entre si quando comparados com a testemunha. Quanto à porosidade total, ambos os tratamentos apresentaram volumes aceitáveis. Macroporosidade e microporosidade também não apresentaram diferenças significativas nos tratamentos, quando comparados com a testemunha.

Palavras-chave: tifton; compactação; plantas de cobertura; descompactação; solo.

## ABSTRACT

The culture of tifton (*Cynodon* spp.) is considered a culture of good forage production, used on a large scale for the production of preserved forage, due to its rusticity and resistance to traffic and trampling. The production of preserved forage causes problems with soil compaction, caused by the various processes that involve agricultural machinery traffic, together with the fact that they often do not respect the soil moisture point. In this context, the present work aims to contemplate the remediation of compaction caused by the management of the tifton crop, using winter forages, during the period in which the crop becomes idle. The cultures of white oat, vetch and intercropping will be used, combined with the treatment of mechanical scarification or without scarification, installed in a completely randomized design, bifactorial and with four replications. To carry out the evaluations, the dry matter content of each plot will be evaluated; the soil resistance to penetration will also be evaluated, with the aid of a penetrometer; soil density, total porosity, microporosity and macroporosity will be evaluated. The cover crops showed good production of plant biomass, despite the not very favorable environmental conditions. In relation to soil penetration resistance, the use of a scarifier associated with cover crops was shown to improve this physical attribute of the soil. For soil density and total porosity, no treatment showed a significant difference when compared to the attestant. As for the total porosity, both treatments presented acceptable volumes. Macroporosity and microporosity also did not present significant differences in the treatments, when compared with the attestant.

Keywords: tifton; compaction; cover plants; unpacking, soil.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição das parcelas .....	23
Figura 2 – Parcelas após o preparo de solo / regulagem de profundidade do escarificador .....	24
Figura 3 – Tratamento consórcio + escarificador após emergência das plantas.....	25
Figura 4 – Laudo da análise química do solo na área de realização do experimento .....	25
Figura 5 – Avaliação da resistência do solo à penetração .....	27
Figura 6 – Coleta de amostras utilizando o anel volumétrico .....	28
Gráfico 1 - Resistência do solo à penetração.....	33
Gráfico 2 – Umidade gravimétrica do solo na data de amostragem da resistência à penetração .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa seca das plantas de cobertura .....	31
Tabela 2- Propriedades físicas do solo sob diferentes tipos de plantas de cobertura e escarificação .....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1	PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS PARA FENAÇÃO .....	13
<b>2.1.1</b>	<b>Família Poaceae, Cynodon spp. e Avena sativa</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Família Fabaceae, Vicia sativa</b> .....	<b>16</b>
2.2	IMPACTO DA FENAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	17
<b>2.2.1</b>	<b>Compactação do solo gerada pelo processo de fenação</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Efeito da compactação do solo sobre as plantas</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Atributos físicos do solo que indicam compactação</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Remediação da compactação do solo</b> .....	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1	MANEJO DA CULTURA DO TIFTON .....	22
3.2	TRATAMENTOS E IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	23
3.3	PREPARO DO SOLO .....	23
3.4	SEMEADURA DAS FORRAGEIRAS .....	24
3.5	AVALIAÇÕES .....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
4.1	PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA PARA CADA TRATAMENTO .....	30
4.2	RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO .....	31
4.3	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	35
<b>4.3.1</b>	<b>Densidade do solo</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Porosidade total</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Microporosidade</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Macroporosidade</b> .....	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>

## 1- INTRODUÇÃO

A produção de alimentos abrange diversas cadeias, se dividindo em produção animal e produção vegetal. A pecuária, tanto leiteira quanto de corte, demonstra alta pujança no Sul do Brasil, sendo presente em grande parte das unidades de produção. Para fornecer alimento a esses animais, se faz necessário a utilização de concentrados e volumosos, envolvendo basicamente grãos, forragens e suplementos minerais e vitamínicos. Visando a produção de volumosos, são cultivadas áreas com espécies forrageiras, sendo elas perenes ou anuais, ou que produzem durante o período do inverno ou verão.

O acesso dos animais a forragens pode se dar de diferentes formas. “No pastejo contínuo, os animais têm livre acesso ao pasto durante toda a estação de crescimento. No pastejo rotativo, as áreas são divididas em piquetes, de forma que o pasto é submetido a períodos alternados de pastejo e de descanso” (CAMARGO e NOVO, 2009). Os animais também podem ser criados em regime de confinamento, onde não há acesso à pastagem. O alimento é fornecido de acordo com uma dieta balanceada, fornecida diariamente, dentro de um barracão que esses animais se encontram.

Buscando fornecer forragens para animais confinados, e manter reservas de forragem para serem fornecidas em períodos de escassez, alguns produtores optam pela produção de forragem voltada para a fenação e ensilagem. Diante disso, houve uma expansão das lavouras voltadas para a produção de forragem, sendo elas de forma perenes, ou apenas anuais, que são cultivadas principalmente durante o período hibernal.

Como opção de culturas perenes, se destacam como principais espécies a alfafa, a grama bermuda e a braquiária. Já o destaque entre as culturas anuais se dá pela aveia branca, avia preta, azevém, trevos, ervilhaca e o sorgo.

Embora os bovinos possuam peso relativamente baixo comparado a uma máquina agrícola, a compactação causada por eles é maior devido à área de contato dos cascos com o solo, concentrando-se nos primeiros 10 centímetros do solo. Com a retirada dos bovinos na pastagem são utilizadas máquinas agrícolas para realizar a coleta, processamento e transporte da forragem. Ambos os processos demandam, muitas vezes, de tráfego em toda a superfície da lavoura,

que pode ocorrer mais de uma vez durante um ciclo. O tráfego de máquinas agrícolas pode provocar a compactação do solo em camadas mais profundas, que causa “a redução da infiltração de água no solo, do movimento de ar, da retenção de água e da disponibilidade de nutrientes no solo e redução da penetração e da ramificação das raízes por excessiva resistência mecânica.” (FREDDI; FERRAUDO; CENTURION, 2008, não paginado). O teor de umidade do solo, após precipitações também deve ser respeitado, sendo importante estabelecer um prazo para ocorrer o equilíbrio entre as forças de adesão e coesão. O processo de fenação é altamente dependente de condições climáticas adequadas para se obter um produto de qualidade, fazendo que esse prazo muitas vezes não seja respeitado.

Para fazer a avaliação do grau de compactação do solo existem métodos qualitativos, através de diagnose visual, como o Dres, que avaliam a estrutura do solo em camadas superficiais; e métodos quantitativos, através da coleta de amostras e análise em laboratório, como o método do anel volumétrico, que determina a densidade do solo. Ainda há métodos quantitativos de análise a campo, com o uso de penetrômetros, que medem a resistência do solo à penetração.

Para amenizar o problema da compactação, podem ser utilizadas culturas durante épocas que a lavoura encontra-se ociosa, como por exemplo, lavouras de capim Tifton durante o inverno. Recomenda-se o uso de culturas que possuem sistema radicular agressivo, que tendem melhorar a agregação do solo e aumentar a porosidade do solo. “A utilização das plantas por meio de corte ou pastejo provoca modificações na parte aérea da planta com reflexos no sistema radicular e nos mecanismos compensadores das plantas” (FONTANELI *et al.*, 2012). Outra forma de diminuir o grau de compactação do solo se dá por meio de máquinas agrícolas, como o escarificador, as grades e arados, que possuem alto poder de mobilização do solo. Após o uso dessas máquinas agrícolas, é importante fazer a semeadura de alguma planta de cobertura para evitar com que o solo fique desprotegido, o que pode levar a outros problemas como a erosão.

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o efeito de escarificação mecânica com escarificador tratorizado, e escarificação biológica por meio da aveia branca (*Avena sativa*) e da ervilhaca (*Vicia sativa*), consideradas forrageiras de inverno, sobre os atributos físicos do solo em uma área de sob monocultivo de tifton 85 (*Cynodon spp.*) no município de Salvador das Missões/RS.

## 2- REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS PARA FENAÇÃO

O feno é uma forragem desidratada, em que se procura manter o valor nutritivo da planta de origem. A desidratação permite que a forragem seja armazenada por muito tempo, sem comprometimento da qualidade, se confeccionada e armazenada corretamente. Qualquer que seja a forrageira a ser fenada, o corte deverá ser realizado quando a planta alcançar alto teor de proteínas, uma elevada produtividade por hectare e um baixo teor de fibra bruta (KOPP, 2013).

O processo denominado de fenação consiste no corte, revolvimento, secagem, enleiramento, recolhimento, transporte e armazenamento de plantas forrageiras de alto valor nutritivo, para futura utilização como volumoso para ruminantes. Este conjunto de operações deve ser sincronizado e, para obter feno de qualidade adequada, é importante que o processo de secagem seja o mais rápido possível, o material deve, preferencialmente, ser cortado armazenado no mesmo dia. É justamente na secagem que está um dos pontos fracos da fenação, uma vez que depende da radiação solar e do vento. Forrageira submetida ao corte em épocas chuvosas está sujeito a prolongar o período de secagem, comprometendo a sua qualidade até o momento de alcançar o teor de água ideal para armazenagem (15 a 20 %). Forragem armazenada com umidade superior corre o risco de desenvolver mofo, perdendo a qualidade como forragem (FONTANELI *et al.*, 2012).

Nas técnicas de fenação, a primeira etapa a ser realizada no processo é o corte, executado por máquinas denominadas segadoras (KOPP, 2013). Após o corte, é feito o revolvimento, que é a fase mais importante da fenação, pois, almeja atingir o ponto de feno desejado de maneira mais rápida, garantindo maior qualidade final do produto. Concluída essa etapa, é realizado o enleiramento, e posterior enfardamento, realizado pela enfardadora, recolhendo e prensando a forragem, formando os fardos de feno, que podem ser cúbicos ou cilíndricos (KOPP, 2013). Após a confecção dos fardos, eles são retirados das lavouras por meio de caminhões ou reboques adaptados para tal fim, e então são armazenados em depósitos para posterior uso.

Dentre as espécies forrageiras utilizadas para fenação, se encontram algumas gramíneas, como a grama bermuda e a aveia, e também leguminosas, como a ervilhaca.

### **2.1.1 Família Poaceae, *Cynodon* spp. e *Avena sativa***

A família Poaceae é considerada como uma das principais famílias das angiospermas e monocotiledôneas. Essa família é representada pelas gramas e capins, com grande utilização na produção de forragens. Essas gramíneas são caracterizadas pelas flores lineares, flores nuas, inflorescências do tipo espiga, panícula ou racemo e fruto do tipo cariopse. Na utilização como forrageira, as gramíneas podem ser divididas de acordo com seu ciclo produtivo, como anuais e perenes; ou pela sua época de cultivo, como de verão ou inverno (FONTANELI, Renato; SANTOS; FONTANELI, Roberto, 2012).

Gramas do gênero *Cynodon* incluem a bermuda (*Cynodon dactylon*), a grama-africana (*Cynodon nlemfuensis*) e seus híbridos, em que o mais popular possui o nome de Tifton por ter sido desenvolvido na “Georgia Coastal Plain Experiment Station”, localizada no município de Tifton, estado da Georgia, EUA (FONTANELI *et al.*, 2012) O híbrido mais recente é o Tifton 85 (*Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis* cv. Tifton 68) surgiu do cruzamento da sul africana (PI 290884) e Tifton 68, um híbrido mais antigo (FARIA JÚNIOR, 2012).

Tais gramíneas são consideradas perenes, e possuem produção de matéria vegetal durante a primavera, verão e meados do outono, apresentando estacionalidade da produção durante o inverno e parte do outono. Segundo Fontaneli *et al.* (2012), os híbridos melhorados de bermuda e estrela são utilizados em grande escala na forma de pastejo e na produção de feno. Isso se deve ao fato da alta taxa de resposta à fertilização nitrogenada, de possuir elevado potencial de rendimento e normalmente possuem secagem mais rápida do que outras forrageiras que poderiam ser usadas para feno. Para fertilização, podem ser utilizados adubos orgânicos provenientes da criação de bovinos, suínos e aves.

A forragem produzida pode ser utilizada na alimentação animal na forma in natura ou como forragem conservada, através do feno (FONTANELI *et al.*, 2012). O

processo de fenação é uma alternativa para a conservação de forragens e sua qualidade depende, entre outros fatores, do processo de colheita, onde a eficiência e a agilidade são proporcionadas pela mecanização, que atualmente está bem avançada para esse tipo de trabalho (BONATO, 2004). Quando o período chuvoso não permite enfardamento como feno, a ensilagem em sacos de plástico é uma alternativa que se deve considerar. A forragem bermuda também pode ser conservada pelo sistema convencional de ensilagem, tendo como principal vantagem a menor dependência das condições climáticas, como ocorre na fenação. (FONTANELI *et al.*, 2012).

Durante o inverno, o capim Tifton apresenta estacionalidade de produção, devido às baixas temperaturas e, eventualmente geadas na região sul do Brasil. A sobressemeadura de forrageiras hibernais é uma alternativa para minimizar a redução de forragem, mantendo a cobertura da vegetação existente, além de proporcionar melhores condições para qualidade dos solos pelo aproveitamento racional das áreas, contribui ainda para agregar fornecimento de forragem ao sistema forrageiro formado, evitando períodos de ociosidade em áreas sob monocultivo de Tifton (UHDE, 2012).

Diante a essa janela hiberna, surgem algumas espécies forrageiras alternativas, como, por exemplo, algumas espécies de gramíneas, sendo elas a aveia branca (*Avena sativa*), a aveia preta (*Avena strigosa*) e o azevém (*Lolium multiflorum*).

A aveia branca é cultivada, em grande volume, nos estados do Sul. É utilizada para alimentação animal ou humana, em forma de cereais matinais. A aveia branca pode ser utilizada para composição de pastagens anuais de inverno, para conservação na forma de feno e silagem, inclusive de grãos úmidos, ou como duplo-propósito, quando é pastejada durante fins de outono até meados do inverno e, então diferido para a produção de grãos ou ensilagem (FONTANELI *et al.*, 2012).

A aveia branca pode ser consorciada com espécies como azevém, ervilhacas, serradela, trevo branco, trevo vermelho, trevo vesiculoso e trevo subterrâneo (FONTANELI *et al.*, 2012). Entretanto, quando utilizadas em sobressemeadura ou em consorciações, culturas como a aveia branca podem possuir efeitos alelopáticos sobre as demais culturas inseridas no sistema. Estudos realizados por Tokura e

Nóbrega concluíram que a presença dos extratos não interferiu na germinação das sementes, entretanto, afetou o crescimento da radícula, parte aérea e a massa seca das plântulas (TOKURA e Nóbrega, 2005).

### **2.1.2 Família Fabaceae, *Vicia sativa***

A ervilhaca (*Vicia sativa*) é uma espécie anual precoce, de alta produtividade, porém, pouco tolerante ao pastejo e pisoteio animal (UHDE, 2012). Pertence à classe das dicotiledôneas, juntamente com a alfafa (*Medicago sativa*), a soja (*Glycine max*) e os trevos (*Trifolium spp.*) (FONTANELI *et al.*, 2012).

É considerada uma forrageira leguminosa anual de inverno, herbácea e glabra. As raízes são profundas e ramificadas. A ervilhaca possui caule fino, flexível, decumbente e trepador, que atinge até 0,90 m de comprimento (CALEGARI *et al.*, 1993). Adapta-se bem ao clima temperado a subtropical, é sensível ao frio, à deficiência hídrica e ao calor, embora muitas plantas tenham se adaptado a invernos rigorosos e secos. É a leguminosa forrageira mais cultivada no Rio Grande do Sul, onde encontra ampla adaptação (FONTANELI *et al.*, 2012).

A introdução de espécies leguminosas, como a ervilhaca, traz benefícios econômicos e ambientais, reduzindo o uso de fertilizantes. Além disso, melhora as características físicas e químicas do solo, principalmente através da fixação biológica de nitrogênio, sendo benéfico para alguns fatores, como oferta de forragem, possibilitando o aumento de carga animal, capacidade de suporte da pastagem e maior período da ocupação na pastagem, mantendo o ganho de peso dos animais, diminuindo a idade ao abate e melhorando a qualidade da carcaça (COSTA *et al.* 2018).

## 2.2 IMPACTOS DA FENAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

### 2.2.1 Compactação do solo gerada pelo processo de fenação

Nos solos utilizados para a produção intensiva de forragem, são realizadas, normalmente, cinco passadas de máquinas por corte, envolvendo processos de corte, revolvimento, enleiramento, enfardamento e transporte, onde não há o controle da umidade do solo, por ocasião do tráfego das máquinas. Mesmo adotando estratégias de correção e adubação dos solos, constatam-se baixos índices de produtividade e perda da qualidade do feno produzido em diversas áreas de sua produção. Essa situação coincide com a verificada em pesquisas que comprovam a influência negativa da perda da qualidade física do solo na qualidade e produtividade das forrageiras. No entanto, é incomum adotar estratégias de prevenção e de controle dos problemas físicos devido à falta de informações que indiquem, nesses sistemas de produção, que a deterioração dos atributos físicos possa estar limitando a produtividade das forrageiras (GIAROLA; TORMENA; DUTRA, 2007).

Operações agrícolas envolvendo mobilização e tráfego de máquinas agrícolas alteram significativamente a estrutura dos solos, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular. Na maioria das vezes, ocorre a degradação da qualidade do solo, cujos principais atributos indicadores são a agregação e a compactação. A compactação ocorre com maior intensidade em solos argilosos, entretanto, esses solos são mais resistentes à desagregação, enquanto os solos arenosos apresentam menores problemas de compactação, porém possuem alta susceptibilidade à desagregação (REICHER; REINERT; BRAIDA, 2003).

### 2.2.2 Efeito da compactação do solo sobre as plantas

O crescimento vegetal é afetado por diversos fatores do ambiente, sendo eles bióticos ou abióticos. Esses fatores se dividem inicialmente em fatores diretos e

indiretos. Segundo Sá e Santos Junior (2005) os fatores diretos que afetam o crescimento vegetal são conteúdo de água, taxa de difusão de oxigênio, temperatura e resistência mecânica que o solo oferece à emergência de plântulas e ao crescimento radicular, o que está diretamente relacionado com o grau de compactação do solo. Entre os fatores indiretos que afetam o crescimento vegetal, podem-se citar a densidade do solo, a textura, a estrutura, a estabilidade de agregados e a distribuição do tamanho de poros.

A compactação é um processo pelo qual o solo sofre diminuição do volume, aumento da densidade e mudança estrutural, devido às constantes pressões exercidas pelas máquinas agrícolas e animais. A compactação em áreas agrícolas e de pastagem, geralmente ocorre na camada de 0,00 a 0,02 m. O aumento da compactação dos solos, conseqüentemente, tem aumentado a influência no rendimento das culturas, devido ao manejo reduzido do solo, sendo este manejado com máquinas cada vez maiores e, com isso, aumentando a massa por eixo; ainda, o produtor não tem tomado os devidos cuidados em relação à umidade ideal para a realização das práticas agrícolas (BRANDT, 2009).

Já Reichert, Reinert e Braida (2003) afirma que com a compactação do solo ocorrem uma série de efeitos negativos no sistema, que dentre eles se destacam o aumento da densidade e da resistência do solo, redução da porosidade, principalmente macroporosidade ou porosidade de aeração, além de afetar diversos de seus atributos como a condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração de água e outras características ligadas à porosidade do solo. Essas alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e causar problemas ambientais.

Um solo com boa fertilidade, estando compactado, reduz a absorção dos nutrientes pelas plantas, devido a restrições mecânicas ao crescimento radicular. A compactação diminui a porosidade do solo e, conseqüentemente, a quantidade de oxigênio disponível na rizosfera, o que é limitante para o metabolismo das plantas. A compactação tem influência direta sobre a água no solo (BRANDT, 2009), pois as raízes das plantas ficam impedidas de crescer em profundidade colocam a cultura em risco de não sobreviver aos períodos curtos de seca, pois por não terem raízes

em profundidade suficiente, não têm condições de absorver a água existente em camadas mais profundas do solo (MACHADO, 2003).

### **2.2.3 Atributos físicos do solo que indicam compactação**

De acordo com Reinert e Reichert (2006) destacam-se, hierarquicamente, duas propriedades físicas mais importantes, que são a textura do solo, que é definida pela distribuição de tamanho de partículas, e a estrutura do solo definida pelo arranjo das partículas em agregados. Há também a porosidade do solo, que, por sua vez, é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como retenção e fluxo de água e ar.

É importante realizar o monitoramento da qualidade do solo através dos atributos físicos para garantir a manutenção da qualidade e sustentabilidade dos agroecossistemas.

Segundo Milagres, Machado e Vieira (2018, p. 58), é importante estudar a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo, pois, na agricultura, as informações acerca da estrutura do solo são fundamentais para o entendimento destes atributos e, com base nessas informações, podem-se fazer inferências sobre as práticas de manejo do solo e das culturas. A não observância desses conceitos poderá ocasionar erros na amostragem e no manejo do solo. Já Milagres, Machado e Vieira (2018, p. 58) observa que as determinações de densidade e de porosidade do solo, normalmente, são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo, porém a resistência mecânica deste à penetração, expressada pelo índice de cone, também está diretamente relacionada com o estado de compactação do solo e, por isso, pode ser uma medida mais sensível para identificar a compactação, especialmente em camadas pouco espessas.

A infiltração de água, macroporosidade, resistência à penetração de raízes, densidade, porosidade total e microporosidade indicam o estado em que a estrutura do solo se encontra e servem como indicadores do seu estado de compactação. A densidade e porosidades, apesar de não serem as propriedades que recebem maior impacto com a modificação da estrutura do solo, têm sido mais largamente usadas

pela facilidade de determinação e por receberem pequena influência do teor de água no momento da coleta de amostra de solo. A análise da distribuição radicular no perfil é uma metodologia qualitativa, possuindo grande utilidade na avaliação e identificação de camadas de impedimento mecânico ao crescimento radicular (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Ainda, segundo o mesmo autor, alguns indicadores devem ser observados ao longo do tempo. Um bom exemplo refere-se ao escoamento superficial após chuvas, mas outros, como acúmulo de água com drenagem lenta, aparência das plantas, presença de organismos, entre outros, podem fornecer boa indicação do estado da qualidade do solo. O indicador de qualidade de maior sucesso é a observação de como as raízes se encontram no ambiente do solo abaixo da superfície (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

#### **2.2.4 Remediação da compactação do solo**

A inserção de práticas conservacionistas no uso manejo dos solos tem sido fortemente trabalhada na agricultura, principalmente na manutenção e melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas. A manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos auxiliam na retenção de água pelo solo, uma vez que reduzem os teores de evaporação. Outro ponto levado em consideração é o tráfego controlado de máquinas agrícolas (ARGENTON *et al.*, 2005).

Existem formas de manejo que auxiliam na prevenção da compactação, como a adoção do tráfego controlado; e existem maneiras remediadoras da compactação, essas que demandam maior tempo até o sistema se estabilizar em uma boa qualidade, sendo elas escarificações físicas ou biológicas.

A utilização do tráfego controlado de máquinas, a compactação gerada pela movimentação das mesmas se restringe a pequenas áreas, ou seja, apenas nos locais predefinidos para a movimentação das máquinas (BERTOLLO, SCHLOSSER e BERTINATTO, 2021). Para que seja implantado corretamente o sistema de tráfego controlado demanda planejamento na utilização de máquinas, requerendo o ajuste da bitola de pneus, fazendo com que todas as máquinas tenham a bitola coincidente (GIRARDELLO *et al.*, 2013).

No momento em que a lavoura já se encontra compactada, são adotados os processos de escarificação, buscando descompactá-la.

Segundo Girardello *et al.* (2013) dentre as alternativas para aliviar a compactação do solo destaca-se o uso da escarificação mecânica e o uso de culturas de cobertura com agressivo sistema radicular, chamada escarificação biológica. A escarificação mecânica deve ser utilizada, preferencialmente, em casos severos de compactação e mesmo assim de forma esporádica, uma vez que a sua operação tem elevado consumo de tempo e de combustível, elevada demanda de potência e de mão de obra. Além disso, seus resultados na melhoria dos atributos físicos do solo são de curta duração, notadamente em solos argilosos, e em muitos casos não se refletem no aumento da produtividade das culturas. A escarificação biológica pode ser utilizada em caso menos severos, através da inclusão de plantas de cobertura no programa de rotação de culturas. Estas plantas, por possuírem um sistema radicular agressivo, conseguem romper a camada compactada do solo, porém sua utilização demanda tempo, disponibilidade de sementes e um planejamento cuidadoso da rotação de culturas.

Nicoloso *et al.* (2018), em seus estudos evidenciou que o efeito da escarificação mecânica no Latossolo de textura muito argilosa, em época de elevada precipitação, foi temporário, não constando melhoria nas condições físicas nove meses após a operação. Também constatou que a escarificação biológica foi eficiente em aumentar a macroporosidade do solo, diminuir a resistência do solo à penetração e melhorar a infiltração de água em um Latossolo inicialmente compactado. E também relatou que a escarificação biológica aumentou a persistência da melhoria das condições físicas do solo induzidas pela escarificação mecânica, o que demonstra que se deve considerar a utilização simultânea de escarificação mecânica e biológica em alguns casos.

### 3- MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado durante o período do inverno de 2021, em parte de uma área de 3 hectares cedida pelo Sr. Márcio Krein, localizada no município de Salvador das Missões, situado no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. O referido local possui altitude aproximada de 185 metros, latitude 28° 7' 57.57" S e longitude 54° 51' 7.20" O.

Esta área está cultivada com a cultura de tifton por aproximadamente 6 anos, voltada exclusivamente para fenação. Durante os 6 anos, a área teve experiências de cultivos de inverno de azevém e consórcio aveia e azevém, ambos na modalidade de sobresemeadura. Ao longo desse período, não houve nenhum processo de descompactação do solo. Anteriormente ao tifton, a área teve implantação de culturas anuais e após passou cerca de dois anos em pousio, há 6 anos atrás, o que facilitou a reprodução de plantas daninhas.

O solo é pertencente à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, sendo classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2018), e apresenta 620 g kg<sup>-1</sup> de argila, 250 g kg<sup>-1</sup> de silte e 130 g kg<sup>-1</sup> de areia. O clima do local é caracterizado, segundo Koppen-Geiger, como subtropical úmido.

Anteriormente à implantação do experimento, foi realizada a amostragem de solo da camada 0-20 centímetros para posterior análise química, que permitiu utilizar a dose correta de fertilizante, que foi aplicado junto à semeadura. Foi realizada também uma aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura na cultura da aveia.

#### 3.1 MANEJO DA CULTURA DO TIFTON

A cultura do tifton teve seu último corte em meados de março, época em que a cultura tende a reduzir seu crescimento vegetativo. Após o último corte, a lavoura permaneceu ociosa durante o período hibernal, permitindo a instalação do experimento.

### 3.2 TRATAMENTOS E IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em uma área da lavoura que apresenta homogeneidade de solo. O delineamento experimental utilizado foi o delineamento blocos ao acaso (DBC). Os tratamentos foram constituídos por três cultivos forrageiros (aveia branca, ervilhaca e consórcio aveia branca + ervilhaca) mais a testemunha, e por dois tipos de preparo de solo (escarificação mecânica leve, e sem mobilização de solo), com 4 repetições, resultando em 32 unidades experimentais.

As unidades experimentais tinham dimensões de 2,10x10 metros, resultando em 672 metros quadrados de área cultivada. As parcelas estavam distribuídas no sentido leste – oeste, onde foram divididas em quatro fileiras que se subdividiam em 8 parcelas. A distribuição dos tratamentos foi aleatória por meio de um sorteio.

Figura 1 – Distribuição das parcelas, em que T1 = Aveia; T2 = Aveia + escarificador; T3 = Ervilhaca; T4 = Ervilhaca + escarificador; T5 = Consórcio; T6 = Consórcio + escarificador; T7 = Testemunha; T8 = Testemunha + escarificador

<b>T1</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T5</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
T8	T5	T1	T2	T4	T7	T6	T3
<b>T2</b>	<b>T7</b>	<b>T3</b>	<b>T6</b>	<b>T8</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T1</b>
T5	T1	T8	T3	T7	T2	T6	T4



← sentido de semeadura

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.3 PREPARO DO SOLO

O preparo de solo foi realizado antes da semeadura das plantas de cobertura, quando o solo possuía condições ideais de umidade.

Para executar o preparo de solo, foi utilizado um escarificador da marca Industrial Becker, modelo ASEDL/4, equipado com 4 hastes sulcadoras espaçadas em 50 centímetros, disco de corte para a palhada e rolo destorroador. O trator utilizado é da marca Valmet, modelo 88. A profundidade de trabalho foi de 20 centímetros (Figura 2), visando atingir 5 cm abaixo da camada mais compactada do solo.

Figura 2 – Parcelas após o preparo de solo / regulagem de profundidade do escarificador



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.4 SEMEADURA DAS FORRAGEIRAS

A semeadura foi realizada no período hibernar de 2021, no dia 16/06/2021, data esta que constava como ideal para o cultivo da aveia branca, segundo o zoneamento agroclimático para o ano de 2021.

Para semeadura das culturas forrageiras, foi utilizada uma semeadora da marca KF modelo 513H equipada com 13 linhas de espaçamento entre linhas de 17 centímetros, acoplada a um trator da marca Valmet, modelo 88.

O genótipo de aveia branca utilizada foi a IPR Cabocla, na densidade de semeadura de 75 kg de sementes/ha, conforme orientação para a cultivar, ou seja, 3125000 sementes viáveis/ha. Cada parcela recebeu aproximadamente 7500 sementes viáveis, já corrigidos para pureza de 92% e germinação de 95%.

Para o cultivo da ervilhaca, foi utilizada a densidade de semeadura de 50 kg de sementes/ha, conforme orientação para a cultura, ou seja, 1250000 sementes viáveis/ha. Cada parcela recebeu aproximadamente 3250 sementes viáveis, já corrigidos para pureza de 91% e germinação de 90%.

No cultivo das parcelas que receberam o consórcio aveia branca + ervilhaca (Figura 3), foram utilizadas das mesmas sementes das parcelas de monocultivo, sendo utilizada também a cultivar de aveia IPR Cabocla. Como a semeadura foi feita no mês de junho, foi feita a semeadura de 80% da recomendação para cada cultura, resultando em 60 kg de semente de aveia/ha e 40 kg de semente de ervilhaca/ha. Cada parcela recebeu aproximadamente 6050 sementes viáveis de aveia e 2500 sementes viáveis de ervilhaca, ambos já corrigidos para seus respectivos percentuais de pureza e germinação. A mistura das sementes do consórcio foi feita

em um recipiente até atingir homogeneidade, e após despejadas no reservatório da semeadora.

Figura 3 – Tratamento consórcio + escarificador após emergência das plantas



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A adubação utilizada foi dosada de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), e tendo como base o laudo da análise da Figura 4. Ficou definida a dose de 120 kg N, 110 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg K<sub>2</sub>O para aveia, sendo 100 kg de N aplicados em cobertura. Já para ervilhaca, ficou definida a dose de 20 kg N, 110 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg K<sub>2</sub>O.

Figura 4 – Laudo da análise química do solo na área de realização do experimento

Nº	Registro	Identificação da amostra	Área(ha)	Matrícula								Profundidade
1	1891/2021	Amostra 01	NI	NI								00-20
Nº	Registro	Textura	%Argila m/v	pH 1:1	Índice SMP	P mg/dm <sup>3</sup>	K mg/dm <sup>3</sup>	%MO m/v	Al cmolc/dm <sup>3</sup>	Ca cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg cmolc/dm <sup>3</sup>	
1	1891/2021	1	77	6.0	6.3	5.9	78	2.6	0.0	9.4	4.4	
Nº	Registro	H+Al cmolc/dm <sup>3</sup>	CTC cmolc/dm <sup>3</sup>		K	Saturação %		S	Cu	Zn	B	Fe
1	1891/2021	3.1	Efetiva	pH 7	0.199	Al	Bases	4.7	5.5	7.2	0.6	ns

Fonte: Adaptado de Coopatrigo (2021).

Parcelas de testemunha e testemunha + escarificação receberam a mesma adubação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicadas nas demais parcelas, sendo distribuídos tais fertilizantes na linha de semeadura na mesma data das demais parcelas.

O manejo de pragas e doenças foi feito de acordo com a necessidade, utilizando produtos recomendados para a cultura, seguindo as recomendações e aplicados utilizando todos os protocolos de segurança.

### 3.5 AVALIAÇÕES

Todas as avaliações experimentais foram feitas nos períodos finais do desenvolvimento das forrageiras de cobertura. A coleta das amostras foi feita nas porções centrais de cada parcela, desprezando possíveis interferências ocorrentes nas bordaduras.

Para obter valores de rendimento de forragem, foi feita a avaliação utilizando o “método do quadrado”, que consiste em um método destrutivo, em que foram retiradas duas amostras por parcelas, cortadas rente ao solo, pesadas e obtida a massa média das mesmas (SALMAN *et al.*, 2006). Posteriormente uma subamostra foi encaminhada para estufa de ar forçado a 55°C até obter massa constante para determinar o teor de matéria seca. As dimensões do quadrado eram de 0,5 x 0,5 metros, resultando em 0,25m<sup>2</sup>.

Para determinação da resistência do solo à penetração (RP), foi feita a avaliação com o uso de um penetrômetro (Figura 4), com o cone específico para o solo de realização do experimento, alcançando níveis de profundidade máxima de 30 centímetros, coletando dados em cada centímetro de profundidade. Foram feitas 3 avaliações distribuídas aleatoriamente em cada parcela. Em alguns pontos, devido à resistência do solo apresentar níveis acima de 7 MPa, a coleta nesse ponto foi interrompida, pois esse valor é o limite máximo para o equipamento.

Figura 5 – Avaliação da resistência do solo à penetração na parcela testemunha



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A avaliação da densidade do solo foi feita utilizando o método do anel volumétrico (ALMEIDA *et al.*, 2017) (Figura 5), utilizando cilindros metálicos de volume e massa conhecidos, que foram inseridos no solo de modo que mantenha intacta a amostra em seu interior. A amostra e o cilindro foram removidos e transferidos para um recipiente fechado de modo que não danifique a amostra. No laboratório esse cilindro com solo foi pesado e colocado em uma estufa de ar forçado a 105 °C por 48 horas para secagem. Depois de retirados, foram pesados e seus resultados utilizados para cálculo.

Figura 6 – Coleta de amostras utilizando o anel volumétrico nas camadas 0 – 10 e 10 – 20 cm de profundidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para efetuar a avaliação da porosidade total, foi utilizado o método descrito por Almeida *et al.* (2017), que consiste na mesma amostragem utilizada para a coleta das amostras da avaliação da densidade. No laboratório, os cilindros com solo foram pesados e colocados em uma estufa de ar forçado a 105 °C por 48 horas para secagem. Feita a secagem, foi anotada a massa do conjunto cilindro + amostra e posteriormente coberto a superfície inferior do cilindro com um tecido permeável preso com uma cinta de borracha, de massa conhecida. Esse conjunto da amostra + cilindro + tecido + cinta foi transferido para uma bandeja plástica de altura superior ao cilindro, e, então, nessa bandeja foi adicionada água desaerada até atingir uma coluna de 1 centímetro no anel. Foi aguardada a ascensão capilar até a água atingir o topo da amostra, até saturar todas as amostras. Após a saturação, as amostras são retiradas da bandeja e rapidamente pesadas e anotadas sua massa, que é utilizada para posterior cálculo.

Para obter a microporosidade, foi utilizado o método da mesa de tensão, descrito por Almeida *et al.* (2017). Esse método consiste em determinar a massa de água retida em uma amostra de solo de volume conhecido, após passar por determinado tempo de equilíbrio em uma mesa de tensão. As amostras saturadas

no processo de determinação da porosidade são colocadas na mesa de tensão, aplicando uma tensão de 0,6 metros de coluna de água (6 Kpa), e após atingirem o equilíbrio são pesadas.

Para a determinação da macroporosidade, foi efetuado apenas um cálculo da diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Todas as coletas de amostras de solo, feitas por meio de cilindros de metal foram feitas nas camadas de 0 – 10 e 10 - 20 centímetros do solo, que, segundo Brandt (2009), são as mais compactadas devido ao tráfego de máquinas agrícolas.

Os dados obtidos a partir da avaliação individual de cada variável foram submetidos a análise de variância e as médias serão comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para as análises estatísticas foi utilizado o software SAS.

## 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA PARA CADA TRATAMENTO

De acordo com os dados obtidos no experimento, contidos na Tabela 1, parcelas que continham tratamentos com a presença de ervilhaca demonstraram significativa diferença de maior produção vegetal quando comparado aos tratamentos com a cultura da aveia e/ou testemunha. Quando observados os tratamentos em que foi realizada a escarificação, os tratamentos que possuíam presença da ervilhaca e testemunha demonstraram-se de maiores índices de produção de biomassa vegetal, quando comparados aos tratamentos em que não foi realizada a escarificação, com exceção das parcelas com a cultura da aveia. Observa-se ainda, que em relação à produtividade média da cultura do tifton, a escarificação do solo proporcionou aumento de  $2,25 \text{ Mg ha}^{-1}$  quando comparados os tratamentos testemunha e testemunha + escarificação.

Em relação à cultura da ervilhaca, a mesma demonstrou significativa produção vegetativa, uma vez que a cultura não possui significativa dependência à adubação nitrogenada, devido ao fato da cultura possuir a capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio quando associadas a bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, mesmo que em pequena escala. No período que a cultura da aveia estava em estágio de maturação, a cultura da ervilhaca estava em final de período vegetativo e início de período reprodutivo. A ervilhaca manteve dominância sobre a cultura da aveia e tifton até o encerramento do experimento.

Com a ocorrência de baixa pluviosidade durante o período de condução do experimento, com dados de 510 milímetros de chuva no período de realização do experimento, comparados com 780 mm no mesmo período do ano de 2020, segundo a estação meteorológica da UFFS *Campus* Cerro Largo. Ocorreram interferências na realização da adubação nitrogenada nas parcelas com tratamento de aveia, uma vez que a mesma foi possível somente quando a cultura já estava em floração, o que interferiu negativamente no estágio vegetativo, sendo que a cultura apresentou baixo perfilhamento devido à falta da adubação nitrogenada.

Devido à amostragem ter ocorrido no mês de outubro, a presença do capim tifton já em desenvolvimento vegetativo era comum, pois devido à ocorrência de dias de temperatura mais quente, propiciaram a quebra de seu período hibernar. A presença do mesmo afetou de forma considerável os dados de biomassa vegetal, principalmente nas parcelas em que não foi efetuada a semeadura da ervilhaca, cujo período vegetativo e reprodutivo superou aqueles de tratamento com cultivo de aveia ou testemunha, mantendo dominância sobre o tifton.

Podem se atribuir juntamente a esses aumentos de produção de biomassa vegetal, a consequente ocorrência de plantas invasoras que se faziam presentes nas parcelas, e que, ao realizar a amostragem foram coletadas juntamente para compor a biomassa vegetal.

Tabela 1- Produção média de biomassa Vegetal em função da adoção de plantas de cobertura (aveia, ervilhaca e consórcio) e da escarificação.

Tratamento	Massa seca (Mg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha	1,85c
Consórcio	4,37abc
Aveia + escarificação	3,07bc
Testemunha + escarificação	4,45 ab
Aveia	3,13bc
Ervilhaca	4,36abc
Ervilhaca + escarificação	4,45ab
Consórcio + escarificação	5,73a
CV (%)	27,77

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

#### 4.2 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Observando a Figura 2, quando comparados com a testemunha, os tratamentos em que foi realizada a escarificação demonstraram que houve uma considerável redução na resistência na penetração do solo, a qual se manteve nos primeiros 25 cm do solo, profundidade a qual o escarificador estava regulado para realizar o trabalho. Nessa faixa de profundidade, e com os resultados obtidos no experimento, segundo Arshad *et al.* (1996), o solo apresentava-se com baixa

restrição para crescimento de plantas, o qual tal autor considera como valores críticos aqueles acima de 2 MPa.

Em relação aos tratamentos em que não foi realizada a escarificação, apenas o tratamento em que foi realizada a semeadura da ervilhaca apresentou diferenças significativas de resistência à penetração nos primeiros 15 cm do solo, quando comparado com a testemunha. Tal fato se deve ao melhor desenvolvimento da cultura durante a condução do experimento. Para as demais parcelas não escarificadas, a partir dos 5 cm do solo passaram a apresentar valores que, segundo Arshad *et al.* (1996) podem apresentar restrições para o crescimento de plantas em um sistema de monocultivo.

Tais valores obtidos nas parcelas sem escarificação atribuem-se ao fato da má condução da lavoura, onde não é levado em consideração o teor de umidade do solo para a realização de operações com máquinas agrícolas, e também ao fato de não haver métodos de controle de tráfego e utilização de técnicas de manejo que buscam a diminuição da compactação do solo.

Gráfico 1 - RP ao longo da camada 0 – 30 cm do solo em função da adoção de plantas de cobertura (aveia, ervilhaca e consórcio) e da escarificação.

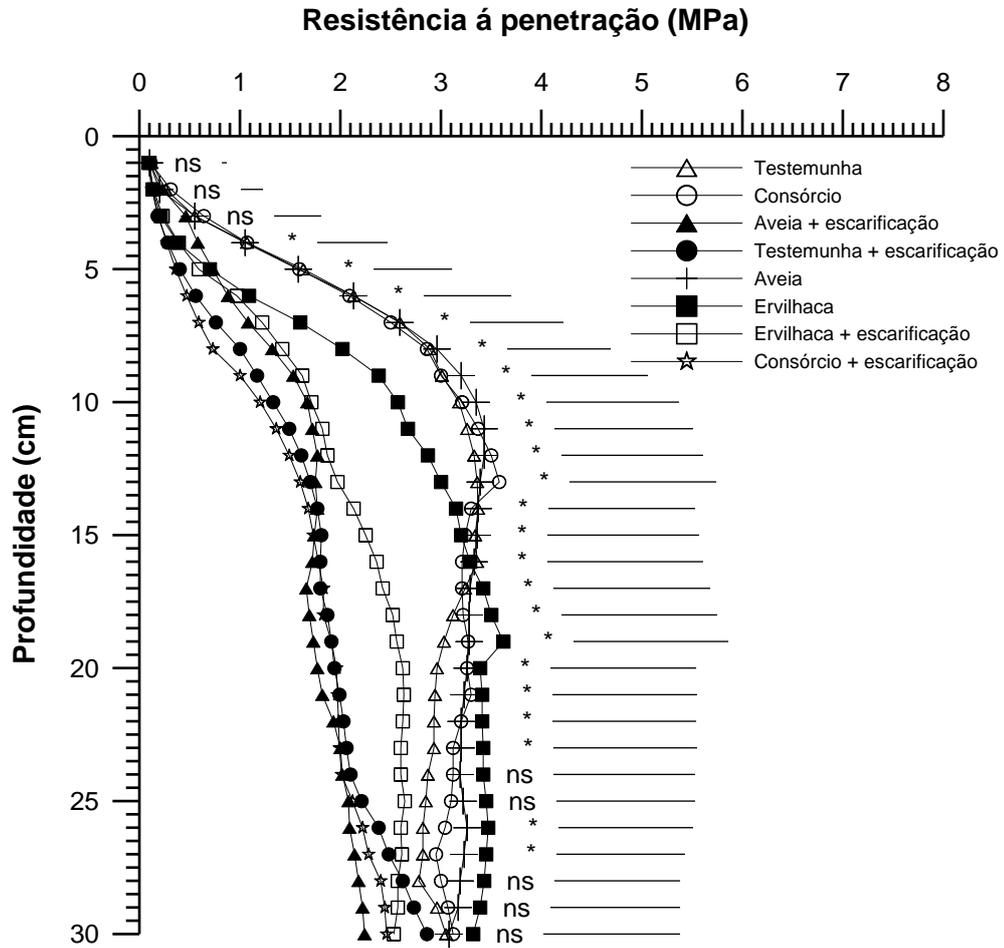
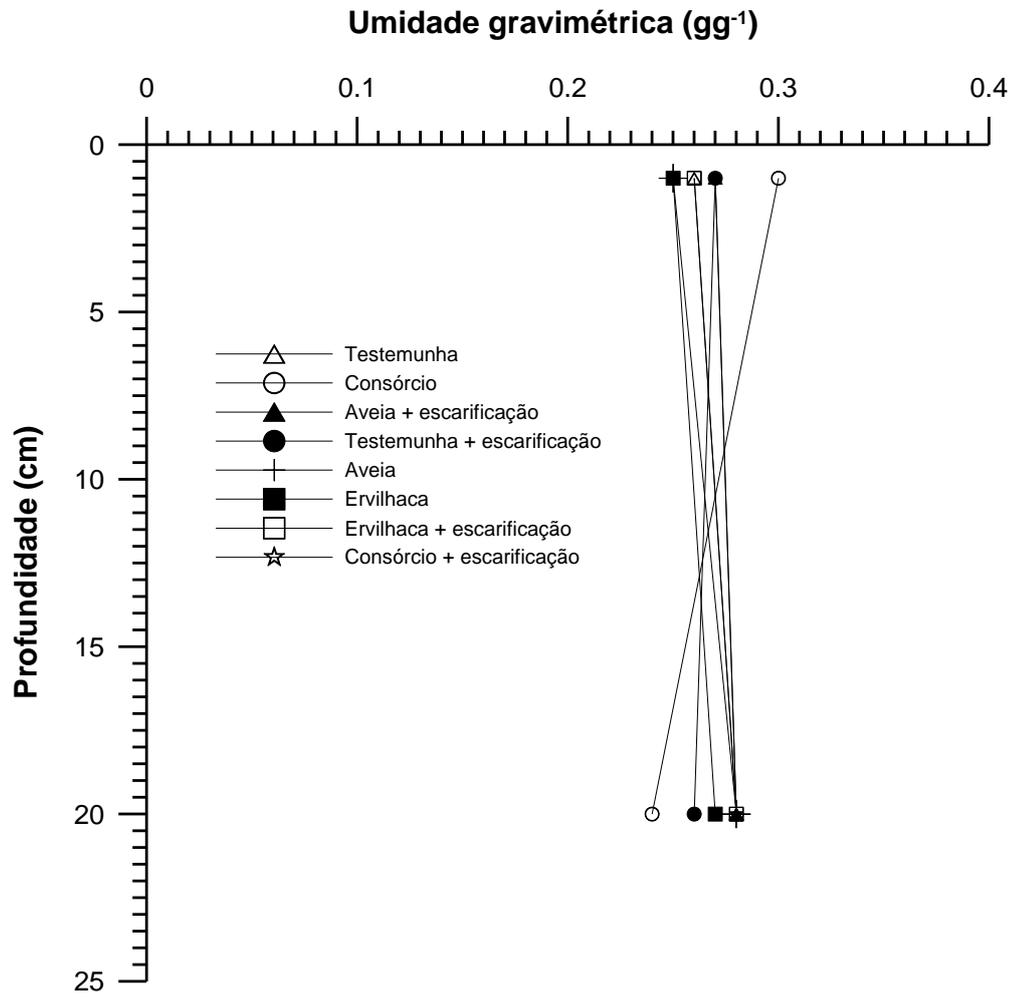


Gráfico 2 – Umidade gravimétrica do solo na data de amostragem da resistência à penetração



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

### 4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Dados referentes à densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade são expressos na Tabela 2.

Tabela 2- Propriedades físicas do solo sob diferentes tipos de plantas de cobertura e escarificação.

Tratamento	Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Microporos (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Macroporos (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
Camada de 0 -10 cm				
Testemunha	1,25ab	0,56ab	0,40abc	0,15abc
Consórcio	1,30a	0,54b	0,42a	0,12c
Aveia + escarificação	1,03b	0,63a	0,35c	0,29a
Testemunha + escarificação	1,06 ab	0,62ab	0,37abc	0,25abc
Aveia	1,25ab	0,55ab	0,41ab	0,14bc
Ervilhaca	1,15ab	0,59ab	0,39abc	0,20abc
Ervilhaca + escarificação	1,07ab	0,62ab	0,35bc	0,26ab
Consórcio + escarificação	1,16ab	0,59ab	0,37abc	0,21abc
CV (%)	9,55	6,64	6,35	28,84
Camada de 10 -20 cm				
Testemunha	1,37a	0,51a	0,44a	0,07a
Consórcio	1,36a	0,52a	0,45a	0,07a
Aveia + escarificação	1,28a	0,54a	0,43a	0,12a
Testemunha + escarificação	1,27a	0,56a	0,39a	0,15a
Aveia	1,27a	0,55a	0,43a	0,12a
Ervilhaca	1,38a	0,50a	0,39a	0,12a
Ervilhaca + escarificação	1,26a	0,55a	0,41a	0,15a
Consórcio + escarificação	1,29a	0,54a	0,41a	0,13a
CV (%)	8,72	7,74	10,41	56,86

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

#### 4.3.1 Densidade do solo

Observando os dados obtidos no experimento, expressos na Tabela 2, apenas os tratamentos consórcio e aveia + escarificação apresentaram diferença significativa entre si na camada de 0 – 10 cm. Já na camada de 10 – 20 cm, nenhum dos tratamentos apresentou diferença significativa entre si, o que se deve ao fato da concentração das raízes ocorrer principalmente na camada 0 – 10 e devido à estruturação do solo específica de cada uma das camadas de amostragem.

Em estudos desenvolvidos por Reichert, Reinert e Braida (2003) foi observado que em solos argilosos a densidade crítica ocorre no intervalo de 1,4 a 1,6 g cm<sup>-3</sup>, característica essa, a qual após a realização do experimento, ambos os

tratamentos demonstraram densidades contidas abaixo do limite crítico em ambas as profundidades analisadas.

#### **4.3.2 Porosidade total**

De acordo com Malavolta (2006), aproximadamente 50% do volume do solo deve ser constituído por espaços vazios igualmente ocupados por água e ar, sendo estes considerados os poros. As amostragens de solo foram realizadas utilizando anéis metálicos de volume médio de 116 cm<sup>3</sup>, o que assume que a porosidade total ideal para o solo em que foi realizado o experimento se mantivesse em valores em torno de 0,58 cm<sup>3</sup>.

Na camada de 0 – 10 cm, a maioria dos tratamentos não apresentou diferença significativa, sendo que o tratamento consórcio obteve a menor porosidade total, não tendo diferença significativa quando comparado à testemunha. Tal valor também se demonstrou abaixo do valor ideal de porosidade total. Já o tratamento aveia + escarificação alcançou a maior média de porosidade total, possuindo diferença significativa para o tratamento testemunha.

Considerando a camada de solo de 10 – 20, nenhuma das médias entre os tratamentos possuíram diferenças significativas entre si quando comparadas à testemunha. Assume-se que, também, todos os valores de porosidade total nessa camada de amostragem se demonstraram abaixo do valor ideal.

#### **4.3.3 Microporosidade**

A microporosidade na camada de 0 – 10 cm demonstrou-se em bons parâmetros em ambos os tratamentos, sendo que a Testemunha não possui diferença significativa quando comparados aos demais tratamentos. Quando analisada, na camada de 10 – 20 cm não houve diferença significativa entre ambos os tratamentos, sendo que a microporosidade manteve-se também em bons níveis.

#### **4.3.4 Macroporosidade**

Segundo descrito por Alvarenga *et al.* (2007), valores abaixo de 0,15 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> são considerados como limitantes para a ideal taxa de infiltração de água no solo.

Observando a camada de 0 – 10 cm do solo, ocorrem maiores valores de macroporosidade nos tratamentos em que foi realizada a escarificação. Embora, considerando tal fato, os mesmos tratamentos não diferem significativamente de tratamentos em que não foi realizada a escarificação, inclusive da testemunha. Observa-se que, também, o tratamento Aveia + escarificação obteve o maior volume de Macroporos, sendo praticamente o dobro do mínimo exigido para tal solo.

Já para a camada de 10 – 20 cm do solo, ambos os tratamentos não possuem diferença significativa entre si. Observa-se que todos os tratamentos apresentam valores de macroporosidade iguais ou abaixo dos considerados críticos por Alvarenga *et al.* (2007).

A presença de maiores volumes de macroporos em áreas escarificadas na camada de 0 - 10 cm se dão, possivelmente, devido à utilização do escarificador associado às plantas de cobertura, que encontraram um solo com menor grau de compactação que propiciou melhor desenvolvimento do sistema radicular na camada mais superficial do solo. Na camada de 10 – 20 cm, estão expressos valores semelhantes aos obtidos ao analisar a testemunha na profundidade de 0 – 10 cm. Tais valores, considerados críticos para infiltração de água no solo, se devem também ao fato do tráfego intensivo de máquinas agrícolas, que associados à falta de cuidado em relação ao teor de umidade do solo resultam no selamento de parte dos poros das camadas mais superficiais do solo.

## 5- CONCLUSÕES

Plantas de cobertura durante o período hibernar mostram-se como uma alternativa para produção de forragem em áreas que ficam ociosas durante o mesmo período. Quando bem manejadas, e em condições ideais de ambiente, proporcionam considerada produção de biomassa vegetal.

A utilização da escarificação demonstrou-se como boa opção para a redução da resistência do solo à penetração, pois auxilia no rompimento da camada superficial do solo e melhora o desenvolvimento do sistema radicular das plantas na mesma camada. Pode-se considerar utilizá-la tanto no período hibernar, em que a mesma deve-se associar com plantas de cobertura para evitar problemas de erosão, como também utilizá-la durante o período vegetativo do tifton, em que ele fará a cobertura vegetal sobre o solo, juntamente ao fato de que o rompimento dos estolões proporciona novos pontos de brotações na cultura, ajudando no crescimento de brotações jovens de melhor digestibilidade.

Para a densidade do solo e porosidade total, as parcelas escarificadas apresentaram as menores médias em ambas as camadas, embora, nenhum tratamento apresentou diferença significativa entre si quando comparados com a testemunha. Ambos os tratamentos apresentaram volumes aceitáveis de tais propriedades físicas quando comparados às bibliografias consultadas.

A macroporosidade teve um leve aumento nas parcelas escarificadas, quando comparados com a testemunha, mas não houve diferença significativa.

Quanto à microporosidade, em nenhum tratamento houve diferença significativa quando comparados à testemunha, em ambas as profundidades.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Berivaldo Gomes de; VIANA, João Herbert Moreira; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu. Densidade do Solo. *In*: TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. Cap 7. p. 65-76.

ALMEIDA, Berivaldo Gomes de; FREITAS, Pedro Luiz de; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; VIANA, João Herbert Moreira; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu. Porosidade. *In*: TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. Cap 9. p. 82-95.

ALVARENGA, R. C.; CLEMENTE, E. P.; CASTRO, A. A. D. N.; FREITAS, G. C.; BRÁS, J. L. Densidade e porosidade de um latossolo vermelho típico, submetido a diferentes usos e manejos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007, Gramado. **Resumos expandidos**. Porto Alegre: UFRGS. 2007.

ARGENTON Jeferson; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; BAYER, Cimélio; WILDNER, Leandro do Prado. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Junho 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300013> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/VK48bCcnBcTgnTzdw8STWG/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul.2021.

ARSHAD, Charlie; LOWERY, Birl; GROSSMAN, Bob. Physical Tests for Monitoring Soil Quality. *In*: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for Assessing Soil Quality**. Soil Science Society of America. Publicação Especial 49, Madison, WI, 123-142.

BERTOLLO, Gilvan Moisés; SCHLOSSER, José Fernando; BERTINATTO, Rovian Bertinatto. Vantagens do sistema de tráfego controlado de máquinas agrícolas. *Revista Cultivar Máquinas*. 2021. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/vantagens-do-sistema-de-trafego-controlado-de-maquinas-agricolas>. Acesso em 12/04/2022.

BOLLER, Walter. Máquinas para a colheita e conservação de forragens. *In*: FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos.; FONTANELI, Roberto Serena (eds.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. cap. 14. p. 367-434.

BONATO, Rodrigo Giacomini. **Qualidade operacional da fenação: análise do processo de produção**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Mestrado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

BRANDT, André Anibal **Carregamento estático e dinâmico e sua relação com tensão, deformação e fluxos no solo**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

CAMARGO, Artur Chinelato de; NOVO, André Luiz Monteiro. **Manejo intensivo de pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2009.

CANTERI, Marcelo; ALTHAUS, Rômulo; VIRGENS FILHO, Jorim das; GIGLIOTI, Éder; GODOY, Cláudia. SASM-AGRO – Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v.1, n.2, p.18-24, 2001.

COSTA, Karine Nunes da; RIBEIRO, Jeferson Cocite; MOLINETE, Marcos Luis; CAVAZANNA, Jefferson Felipe; POGGERE, Julia Maria; PAULA, Adalberto Luiz de; PAULA, Fabiana Luiza Matielo de; MENEZES, Luís Fernando Glasenapp de. Produção de forragem e componentes estruturais de pastagem de inverno sobressemeada em estrela africana consorciada e irrigada. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 55, CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 28, 2018, Paraná. **Relatório**. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

FARIA JÚNIOR, Wilson Gonçalves. de. **Valor nutricional de silagens do capim-tifton 85 em diferentes idades**. 2012. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Roberto Serena; MARIANI, Franciele; PIVOTTO, Amauri César; SIGNOR, Letícia Ré; ZANELLA, Débora. Gramíneas forrageiras perenes de verão. *In*: FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos.; FONTANELI, Roberto Serena (eds). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. cap. 8. p. 247-295.

FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Roberto Serena. Morfologia de gramíneas forrageiras. *In*: FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Roberto Serena (eds). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. cap. 2. p. 51-59.

FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Roberto Serena; OLIVEIRA, Janete Taborda de.; LEHMEN, Rosilene Inês; DREON, Geizon. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. *In*: FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos; FONTANELI, Roberto Serena (eds). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. cap. 4. p. 127-172.

FREDDI, Onã da Silva; FERRAUDO, Antonio Sergio; CENTURION, José Frederico. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Jaboticabal, Junho 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KJs7xZJt66sKvWgchCGNpdf/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul.2021.

GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo; TORMENA, Cássio Antônio; DUTRA, Adriano Cassol. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Outubro 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cQTW7SG6T3YyBsc8LxvZh4d/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul.2021.

GIRARDELLO, Vitor; AMADO, Telmo; MISIEWICZ, Paula; SMITH, Emilly. Tráfego controlado de máquinas agrícolas: a experiência inglesa e perspectivas de adoção no Sul do Brasil. *Revista Plantio Direto*. 2013. v.137/138.

KOPP, Maurício Marini. Construindo um ideótipo de gramínea para produção de feno. **Embrapa Pecuária Sul**. Bagé, p. 249-257, 2013.

MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. **Compactação do Solo e Crescimento de Plantas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. *In*: SILVA, Jeovane Nascimento; SCAPINELLI, Alex; DEINA, Filipe Rafaeli; VALADÃO JÚNIOR, Daniel Dias; ASSIS, Wellyton Santos de; FERREIRA, Daniel Paulo. **Alterações físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico submetido à compactação induzida**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia). Curso de Agronomia, Instituto Federal do Mato Grosso, Campo Novo do Parecis, 2015.

**Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016.

MILAGRES, Raquel Santana; MACHADO, Túlio de Almeida; VIEIRA, Luciano Baião; Fernandes, Haroldo Carlos. Avaliação dos atributos físicos do solo em áreas inclinadas com sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agrícola**. Rio Largo, 2018. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v16i3.4203>. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/4203/4811>. Acesso em: 21 jul.2021.

NICOLOSO, Rodrigo da Silveira; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; SCHNEIDER, Sérgio; LANZANOVA, Mastrângello Enívar; GIRARDELLO, Vitor Cauduro; Bragagnolo. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2018. v. 32, p. 1723-1734.

REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José; BRAIDA, João Alfredo. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e ambiente**. Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

RODRIGUES, Osmar; FONTANELI, Renato Serena; COSTENARO, Edson Roberto; MARCHESE, José Abramo; SCORTTGANHA, Amábile Novaes; SACCARDO,

Eduardo; PIASECKI, Cristiano. Bases fisiológicas para o manejo de forrageiras. *In*: FONTANELI, Renato Serena; SANTOS, Henrique Pereira dos.; FONTANELI, Roberto Serena (eds.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. cap. 3. p. 59-125.

SÁ, Marcos Aurélio Carolino de; SANTOS JUNIOR, João de Deus Gomes dos. **Compactação do Solo: consequências para o crescimento vegetal**. Palatina: Embrapa Cerrados, 2005.

SALMAN, Ana Karina Dias; SOARES, João Paulo Guimarães; CANESIN, Roberta Carrilho. Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens. EMBRAPA. **Circular técnico**, n. 84, p. 1-6, 2006.

TOKURA, Luciene Kazue; NÓBREGA, Lúcia Helena Pereira. **Potencial alelopático de cultivos de cobertura vegetal no desenvolvimento de plântulas de milho**. Paraná: Universidade Estadual de Maringá, 2005.

UHDE, Leonir Terezinha; LONDERO, Ana Lúcia; RUPOLLO, Carlos Zandoná; FERNANDES, Sandra Beatriz Vicenzi; MAIXNER, Adriano Rudi; SILVA, Gustavo Martins da. Pastagem de Tifton 85 consorciado com forrageiras de inverno pastejadas e submetidas à fenação no período estival: índice de fertilidade e recomendações de calagem e adubação. *In*: JORNADA DE PESQUISA – SALÃO DO CONHECIMENTO, 17, 2012, Ijuí. **Relatório**. Ijuí: Unijuí, 2012.