REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

IMPACTO DO TRÁFEGO DE MÁQUINAS EM LATOSSOLO SOB PRODUÇÃO DE FENO: TIFTON-85 E JIGGS

EFFECTS OF AGRICULTURAL MACHINERY TRAFFIC ON HAPLUSTOX UNDER HAY PRODUCTION WITH TIFTON-85 AND JIGGS

EFECTOS DEL TRÁFICO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA SOBRE UN LATOSOL BAJO PRODUCCIÓN DE HENO: TIFTON-85 Y JIGGS

Carla Eloize Carducci[1], Letícia Salvi Kohn[2], Wellinghton da Silva Guimarães Júnnyor[3], Jânio dos Santos Barbosa[4], Érika Andressa Silva[5]

e6106838
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i10.6838

PUBLICADO: 10/2025

RESUMO

O intenso tráfego de máquinas agrícolas e o pastejo animal, especialmente sob alta taxa de lotação, são as principais causas da compactação do solo. Nosso objetivo foi avaliar a resistência mecânica de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico sob as forrageiras Tifton-85 e Jiggs, utilizadas para pastejo e produção de feno, com e sem irrigação. Os tratamentos foram: 1) Tifton-85 irrigado, 2) Tifton-85 sequeiro, 3) Jiggs irrigado, 4) Jiggs sequeiro e 5) Mata Nativa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (5 tratamentos x 2 camadas x 2 posições), com três repetições. Coletou-se amostras de solo com estrutura preservada e alterada nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10m, na linha e entrelinha de tráfego das máquinas, para determinar alguns atributos físicos e químicos do solo. A produtividade de matéria seca e a composição nutricional foi avaliada. Dados das máquinas de produção do feno foram utilizados para simular as distribuições de tensão via software TASC. O Latossolo apresentou boa estabilidade a erosão, Índice de Floculação > 60%, e Densidade < 1,55 Mg m^{-3} e Carbono Orgânico > 5 g kg^{-1}. A maior produtividade e concentração de Fe^{2+}; BO_3^{3-} e Zn^{2+} ocorreu no Tifton-85 em sequeiro. Os tratores utilizados nas áreas irrigadas promoveram algum grau de compactação até a profundidade de 0,15 m. Sendo que a enfardadora (< 728 kPa) e calcareadora (< 337 kPa) aumentaram o risco de compactação entre as camadas de 0,20 a 0,40 m. A sistematização das operações mecanizadas mitiga os efeitos da compactação em área total.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência Mecânica. Bulbos de Tensão. Manejo de Pastagens. Relação Solo-Máquina.

ABSTRACT

Heavy traffic from agricultural machinery and animal grazing, especially under high stocking rates, are the main causes of soil compaction. Our goal was to evaluate the mechanical resistance of Haplustox under the grass: Tifton-85 and Jiggs, used for grazing and hay production, with and without irrigation. The treatments were: 1) irrigated Tifton-85, 2) rainfed Tifton-85, 3) irrigated Jiggs, 4) rainfed Jiggs, and 5) native forest. The experimental design was completely randomized in a

[1] UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados.
[2] Engenheira Agrônoma pela UFSC, Coordenadora de Desenvolvimento Técnico de Mercado Ubyfol.
[3] Graduação em Agronomia pelo Instituto Federal Goiano - IF Goiano e mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia pelo Instituto Federal Goiano - IF Goiano. Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical pelo Instituto Agronômico de Campinas - IAC e Pós-doutorado pelo Centro de Solos e Recursos Ambientais do IAC. Professor Adjunto do curso de Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia. UEMS.
[4] Engenheiro Florestal, pela UFSC. Doutor em Ciências Florestais pela UFRPE.
[5] Engenheira Agrônoma pela UFLA. Doutora em Ciência do Solo pela UFLA. Professora do IF Santa Catarina, campus Videira, SC.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

factorial arrangement (5 treatments x 2 layers x 2 positions), with three replicates. Soil samples undirstubed and disturbed structure were collected in the 0-0.05 and 0.05-0.10 m layers, in the row and between rows of machine traffic, to determine the soil physical and chemical attributes. Dry matter productivity and nutritional composition were evaluated. Data from hay production machinery were used to simulate stress distributions using TASC software. The Haplustox showed a good erosion stability, as Floculation Index > 60%, Soil Bulk Density < 1.55 Mg m^{-3} and Organic Carbon > 5 g kg^{-1}. The productivity and Fe^{2+}; BO_3^{3-} e Zn^{2+} content was higher on theTifton-85 in the rainfed system. The tractors used in irrigated areas caused some degree of compaction to 0.15 m depth. Higher pressures applied by the baler (<728kPa) and limer (<337kPa) between the layers of 0.20 to 0.40 m. The systematization of mechanized operations mitigates the compaction risk in the total area.

KEYWORDS: *Mechanical Resistance. Stress Bulbs. Pasture Management. Soil-Machine Relationship.*

RESUMEN
El intenso tráfico agrícola y el pastoreo de animales, especialmente con altas tasas de carga ganadera, pueden causar alguno riesgo de compactación del suelo. Nuestro objetivo fue evaluar la resistencia mecánica de un LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico bajo los forraje Tifton-85 y Jiggs, utilizados para pastoreo y producción de heno, con y sin riego. Los tratamientos fueron: 1) Tifton-85 regado, 2) Tifton-85 de secano, 3) Jiggs regado, 4) Jiggs de secano 5) Bosque nativo. El diseño experimental fue completamente aleatorio en un arreglo factorial (5 tratamientos x 2 profundidades x 2 posiciones), con tres repeticiones. Se recogieron muestras de suelo con estructura preservada y alterada en las profundidades de 0-0,05 y 0,05-0,10 m, en la línea y entre líneas de tráfico, para determinar los atributos físicos y químicos del suelo. Se evaluó la productividad de materia seca y la composición nutricional. Se utilizaron datos de la maquinaria de producción de heno para simular las distribuciones de tensión mediante el software TASC. El Latosol presentó adecuada estabilidad a la erosión como Floculación > 60%, Densidad <1,55 Mg m^{-3} y Carbono Orgánico > 5 g kg^{-1}. La productividad y concentración del Fe^{2+}; BO_3^{3-} e Zn^{2+} fueram superior en el Tifton-85 secano. Los tractores en las áreas irrigadas provocarón cierto grado de compactación hasta 0,15 m de profundidad. Con mayores presiones aplicadas por la empacadora (<728 kPa) y caladora (<337 kPa), hasta los estratos de 0,20 a 0,40 m. La sistematización de las operaciones mecanizadas minimizan los riesgos de compactación en toda la superficie.

PALABRAS CLAVE: *Resistencia Mecánica. Bulbos de Tensión. Manejo de Pastizales. Relación Suelo-Máquina.*

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por forragens conservadas, como feno e pré-secado, impulsiona a produção bovina especialmente em sistemas de produção de leite. Essas forragens representam uma alternativa estratégica para garantir a oferta de alimento de alta qualidade durante períodos de escassez, como a estação seca (Evangelista; Lima; Bernandes 2000; Costa *et al.,* 2024).

Dentre as espécies forrageiras mais utilizadas para esse fim, as gramíneas do gênero *Cynodon sp.* têm se destacado nas últimas duas décadas. Cultivares como Tifton-85 e Jiggs são amplamente empregadas na produção de feno e pré-secado devido ao seu elevado potencial produtivo, alto valor nutritivo, boa adaptação às condições climáticas tropicais e subtropicais, e alta aceitabilidade pelos animais (Amaral, 2019). A expansão contínua da área cultivada com essas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

forrageiras é esperada, visando não apenas o fornecimento de alimento de qualidade em períodos de baixa pluviosidade, mas também a recuperação de pastagens degradadas.

A produção de feno e pré-secado envolve diversas operações mecanizadas, desde o plantio até o corte, revolvimento e enfardamento das forrageiras. A intensidade do uso de máquinas em todas as etapas desse processo, aliada à realização das operações em épocas de elevada precipitação e, consequentemente, maior teor de água no solo (geralmente de outubro a março, a depender da região) (Evangelista; Lima; Bernandes 2000), aumenta a suscetibilidade do solo à compactação. Embora a irrigação possa elevar a produtividade das forrageiras, também pode agravar o problema, uma vez que o impacto da carga das máquinas sobre a estrutura do solo tem sido frequentemente negligenciado em campos de feno irrigados (Pires *et al.,* 2012; Imhoff *et al.,* 2001). Esse cenário resulta em um ambiente edáfico desfavorável ao desenvolvimento das forrageiras.

A compactação do solo é definida como uma alteração estrutural que promove a reorganização das partículas e de seus agregados, resultando em aumento da densidade do solo e redução da porosidade total, especialmente da macroporosidade (Araujo Junior *et al.,* 2013; Guimarães Júnnyor *et al.,* 2015). Essa degradação da estrutura do solo é influenciada por múltiplos fatores, incluindo a textura do solo (Imhoff *et al.,* 2001), o teor de carbono orgânico (Zinn *et al.,* 2012), o conteúdo de água no solo durante as operações agrícolas (Carducci *et al.,* 2021; Calleja-Huerta; Munkholm; Lamandè, 2026), além da magnitude da carga aplicada pelas máquinas agrícolas, suas dimensões, a interação pneu-solo e a velocidade do tráfego (Guimarães Júnnyor *et al.*, 2019).

A preocupação com a compactação do solo induzida pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas em áreas de produção de feno e pré-secado tem crescido, corroborada por observações de campo e estudos que indicam um risco significativo de compactação (Giarola *et al.,* 2007; Pires *et al.,* 2012). Isso ressalta a urgência de desenvolver e implementar estratégias de manejo que previnam ou minimizem os efeitos negativos da compactação na estrutura do solo. Cargas elevadas nos eixos de máquinas e veículos de transporte, particularmente em solos úmidos e com alta intensidade de tráfego, aumentam a suscetibilidade à deformação irreversível e à compactação do solo em áreas agrícolas (Keller *et al.,* 2014; Araújo Junior *et al.,* 2013).

Nesse sentido, a avaliação da fertilidade física e química do solo requer a utilização de diversos atributos quantitativos que indiquem o nível de degradação ou preservação de sua estrutura, ou seja, o equilíbrio entre os fluxos de ar e água (Severiano et al. 2013; Imhoff et al. 2001; Giarola *et al.,* 2007; Carducci *et al.,* 2021). Complementarmente, modelos de compactação do solo podem ser empregados como ferramentas estratégicas para prevenir ou mitigar os efeitos da compactação decorrente do tráfego agrícola. Modelos pseudo-analíticos fundamentados pelas equações de Söhne (1953) e nas fórmulas de Fröhlich (1994) adaptadas da solução analítica de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Boussinesq (1885), permitem prever o efeito das máquinas agrícolas em diferentes condições de solo (Guimarães Júnnyor *et al.,* 2019). Ao integrar variáveis de campo e características dos maquinários, esses modelos são capazes de predizer a compactação e sugerir medidas preventivas, otimizando a relação solo-máquina.

Diante das alterações nos atributos físicos do solo causadas pela compactação, este estudo objetivou avaliar a compactação em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico sob o cultivo de Tifton-85 (*Cynodon* spp.) e Jiggs (*C. dactylon*) em transição do pastejo para a produção de feno e pré-secado, em áreas com e sem irrigação na região de Curitibanos-SC. Para isso foram geradas as seguintes hipóteses: (i) modelar as cargas dos maquinários e as tensões de contato média da relação solo-máquina aplicadas durante a colheita do feno estimam o grau de compactação; (ii) há maior risco de compactação do solo em maior profundidade nas linhas de tráfego; (iii) há o mesmo grau de compactação em ambas as cultivares; (iv) os pneus dianteiro e traseiro aplicam a mesma carga ao solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

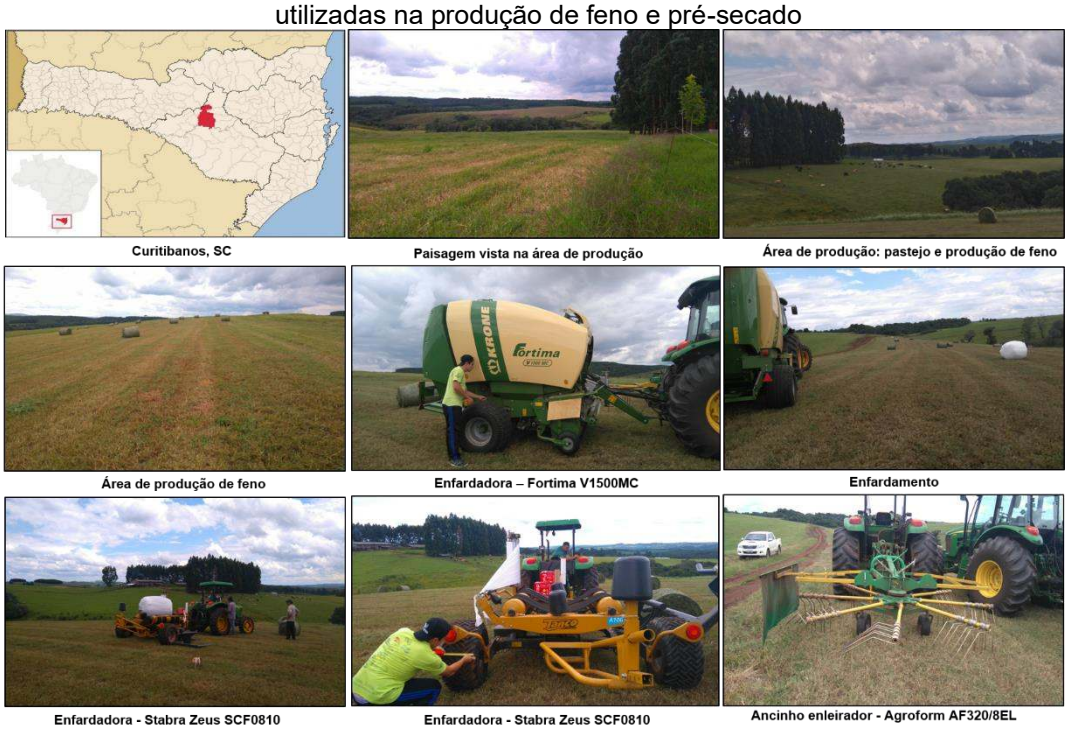
2.1. Descrição do Local e Desenho Experimental

O experimento foi conduzido em uma área comercial com 18ha localizada no município de Curitibanos, no Planalto Serrano Catarinense, Brasil (27º16’44”S de Latitude e 50º34’57”W de Longitude; altitude média de 987 m) (Figura 1). O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb) de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.,* 2013). O solo em estudo foi identificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Santos *et al.,* 2025), apresentando textura argilosa (Tabela 1). Anteriormente, a área era utilizada para pastejo extensivo de bovinos leiteiros por mais de 20 anos (raça Gersey e Holandesa) para produção de queijos (Queijaria Gemelli). Em 2015, o sistema de produção foi alterado para a produção de feno e pré-secado das gramíneas *Cynodon* cultivares Tifton- 85 e Jiggs, implementando um sistema de piquetes em condições de sequeiro e pastejo em piquetes irrigados.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 1. Localização da área comercial avaliada, Curitibanos, SC. Principais máquinas agrícolas utilizadas na produção de feno e pré-secado



Fonte: Raphael Lorenzeto de Abreu - Image:SantaCatarina MesoMicroMunicip.svg,. Imagens: Carla E. Carducci

Tabela 1. Caracterização física [1] do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico sob cultivo de Jiggs e Tifton-85, na camada de 0,00-0,10 m

Trat[2]	Argila	Silte	Areia	Dp[3]	Classificação	Classificação
	.....g kg^{-1}.....			g cm^{-3}	Textural	MAPA *
JI	456	119	425	2,77	Argiloso	Tipo 3
JS	609	63	328	2,73	Argiloso	Tipo 3
TI	559	32	409	2,68	Argiloso	Tipo 3
TS	603	46	351	2,68	Argiloso	Tipo 3
MN	485	48	467	2,76	Argiloso	Tipo 3

[1]Todas as análises foram determinadas conforme a metodologia descrita em Teixeira et al. (2017). [2]TS: Tifton-85 sequeiro; TI: Tifton-85 irrigado; JS: Jiggs sequeiro; JI: Jiggs irrigado; MN: vegetação nativa [3] Dp: Densidade de partícula. *Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento: site: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/segurorural/NotadeEsclarescimentoClassesdeSolosZARC22.05.2023.pdf

Para a caracterização da área experimental, foram realizadas análises do complexo sortivo e da matéria orgânica do solo (Tabela 2), seguindo a metodologia descrita por Teixeira *et al.*, (2017).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 2. Complexo sortivo e matéria orgânica do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico sob cultivo de Jiggs e Tifton-85, na camada de 0,00-0,10 m.

Trat.[1]	pH (H_2O)	K[2]	P[3]	Ca[4]	Mg[5]	H+Al	Al[6]	SB[7]	t[8]	T[9]	V[10]	MOS[11]	P-rem[12]
		..mgdm^{-3}..		.....cmol$_c$ dm^{-3}.....							%	g kg^{-1}	mg L^{-1}
JI	6,7	325	16,80	8,95	6,17	2,42	-	16,0	15,95	18,4	87	62	12,48
JS	7,1	608	43,68	9,46	6,38	1,84	-	17,4	17,40	19,2	90	71	19,58
TI	6,5	252	19,00	8,18	5,41	2,45	-	14,2	14,24	16,7	85	53	12,24
TS	6,6	505	29,49	7,98	4,94	2,37	-	14,2	14,22	16,6	86	65	19,34
MN	5,9	135	6,04	6,76	3,95	5,77	0,1	11,1	11,15	16,8	66	49	13,30

[1]JI: Jiggs irrigado; JS: Jiggs sequeiro; TS: Tifton-85 sequeiro; TI: Tifton-85 irrigado; MN: vegetação nativa. [2] K: potássio; [3] P: fósforo; [4] Ca: cálcio; [5] Mg: magnésio; [6] Al: alumínio; [7] SB: soma das bases; [8] t: acidez por alumínio; [9] T: capacidade de troca catiônica; [10] V: saturação por bases. Ca, Mg, P e K: determinado pelo extrator Resina; [11] MOS: matéria orgânica do solo; [12] P-rem: fósforo remanescente. pH em Cloreto de Cálcio 0,01 mol L^{-1}. H+Al: acidez potencial.

O experimento foi delineado em um esquema inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial (5 tratamentos x 2 profundidades x 2 posições de amostragem), com três repetições. Os tratamentos consistiram em: TI - área de Tifton-85 irrigado, TS - área de Tifton-85 sequeiro, JI - área de Jiggs irrigada, JS - área de Jiggs sequeiro e MN - área de Mata Nativa, utilizada como testemunha.

As áreas irrigadas eram submetidas a pastejo por 46 bovinos leiteiros, com uma taxa de lotação média de 3 animais ha^{-1} no inverno e 6 animais ha^{-1} no verão. Considerando o peso médio de um animal da raça Holandesa (≈500 kg) e que uma Unidade Animal (UA) equivale a 450 kg, a taxa de lotação obtida foi de 2,8 UA ha^{-1} ((46 animais * 500 kg) / 450 kg / 18 ha). A irrigação foi realizada por aspersores acionados 12 horas por dia em 18 hectares, totalizando aproximadamente 40 minutos de irrigação por hectare por dia.

2.2. Amostragem e Análises Físicas e Químicas do Solo e de Planta

Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas utilizando um amostrador de Uhland, em cilindros de aço inoxidável (0,05m de diâmetro e 0,05m de altura), nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m. Foram coletadas 60 amostras indeformadas (5 tratamentos x 2 profundidades x 2 locais de coleta x 3 repetições) sendo monitorada por dois anos. As amostras foram obtidas no centro da linha de tráfego e na entrelinha da forrageira, sendo acondicionadas em filmes plásticos para preservação até a análise. Adicionalmente, amostras deformadas foram coletadas nas mesmas profundidades e locais.

No laboratório, as amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm. Em seguida, foram determinadas a granulometria (dispersão química com NaOH 1 N) e a argila dispersa em água (ADA) pelo método da pipeta e agitação rápida. O índice de floculação (IF) foi calculado pela diferença entre a argila total e a ADA, já a densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O carbono orgânico total (CO) foi quantificado pelo método da oxidação por dicromato de potássio (método Walkley e Black) (Teixeira et al., 2017). O estoque de carbono (EstC) foi calculado pela equação: EstC = (COS x Ds x e) / 10; onde: EstC = estoque de C total (Mg ha^{-1}); COS = teor de C total (g kg^{-1}); Ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); e = espessura da camada de solo (cm) (Silva *et al.,* 2013).

As amostras com estrutura preservada foram preparadas, removendo o excesso de solo das arestas dos cilindros. Posteriormente, foram secas em estufa a 105ºC por 48 horas para a determinação da densidade global do solo (Ds) (Teixeira *et al.,* 2017).

Amostras das forrageiras foram coletadas para a determinação da matéria seca (MS) e análise nutricional foliar. Para isso, utilizou-se um quadro de 0,50m x 0,50m para a coleta. As amostras foram pesadas, secas em estufa a 60ºC por 72 horas e pesadas novamente para obtenção da massa seca. A análise nutricional foliar de rotina foi realizada no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

2.3. Simulação do Estresse no Solo e Caracterização das Máquinas

Para cada operação agrícola, foi simulado o tráfego individual de cada máquina utilizada no experimento. Informações detalhadas sobre as máquinas estão especificadas na Tabela 3. As medições da pressão de inflação dos pneus foram realizadas com um calibrador de pressão digital marca Vonder, com 5 medições para cada tipo de pneu.

Durante as simulações, foram consideradas as condições reais de umidade e resistência do solo à penetração no momento do tráfego, em cada operação agrícola.

As tensões verticais aplicadas ao solo durante o tráfego foram simuladas utilizando a ferramenta Tyres/Tracks and Soil Compaction - TASC V3.0 (Diserens; Batiatto 2014). Os resultados desta ferramenta abrangem aspectos básicos da interface solo-pneu, como a área de contato e a tensão de contato média, além da avaliação do risco de compactação severa do solo e a profundidade na qual essa compactação pode ocorrer. Na ferramenta TASC, a distribuição das tensões é baseada nas propostas de Boussinesq (1885) e adaptada por Fröhlich (1934) e Newmark, conforme os procedimentos descritos por Bastgen e Diserens (2009) e citados por Diserens e Batiatto (2014).

O TASC V3.0 calcula a distribuição das tensões para três categorias de estabilidade da superfície do solo (firme, semi-firme e solto) ou para valores individuais de resistência à penetração, conforme apresentado por Diserens e Batiatto (2014). Os dados técnicos de todas as máquinas utilizadas nos cálculos estão contidos na Tabela 3.

O risco de compactação para as máquinas utilizadas no experimento foi determinado a partir do limite do ponto de estabilidade, que corresponde à tensão máxima que deve ser suportada no solo parcialmente saturado, em pF 1.8 (equivalente à capacidade de campo, ≈ 6.31 kPa), abaixo

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

da profundidade máxima de preparo (0,10m). O risco de compactação foi analisado conforme os critérios definidos pelo modelo TASC (Diserens; Batiatto 2014).

A ferramenta TASC calcula o risco de compactação severa do solo e a profundidade até a qual o risco de compactação severa pode ocorrer. Para definir do risco de compactação considerou-se o estresse vertical (σz) no solo. Assim, se o σz na profundidade analisada (máximo preparo) for maior que o valor do estresse no ponto de estabilidade (estresse compressivo), existe o risco de compactação severa do solo. Por outro lado, se o estresse vertical (σz) estiver abaixo do ponto de estabilidade (estresse compressivo), o risco de compactação severa do solo é baixo a muito baixo, ou seja, o estresse não é classificado como prejudicial à estrutura do solo.

Quando há risco de compactação severa, os valores de profundidade representam a profundidade máxima do risco de compactação severa. Quando não há risco de compactação severa, os valores de profundidade indicam a profundidade em que há um risco de ocorrência de compactação.

Para calcular a tensão vertical de compressão em função da profundidade abaixo do pneu da máquina, é necessário um valor para a tensão de contato média na superfície (PCM). A PCM foi obtida pela razão entre a carga da roda (Tabela 3) e a área de contato da roda (AC). As áreas de contato dos pneus foram estimadas de acordo com os procedimentos propostos por Diserens e Batiatto (2014), para pneus de tração e trailers, respectivamente. A superfície de contato é influenciada pela resistência à penetração do solo, tipo de pneu, estrutura do pneu, dimensões do pneu (diâmetro e largura), pressão de inflação e carga da roda.

As operações agrícolas durante a produção de feno envolveram os seguintes equipamentos: enfardadora, enleiradora, cegadeira (corte), embaladora, tratores e caminhão (Tabela 4). Cada máquina realizou cerca de 10 operações por ano (4 no inverno e 6 no verão). Além disso, a cada corte, foram aplicados 100 kg ha^{-1} de ureia (aproximadamente 6 aplicações por ano), e a cada três meses, aplicaram-se 10 Mg ha-1 de esterco de galinha **(**4 aplicações). Outras operações mecanizadas na área foram realizadas para o manejo fitossanitário, conforme a ocorrência de agentes patogênicos.

Tabela 3. Dimensionamento das máquinas e implementos utilizados na produção de feno, sendo L.P.D = largura do pneu dianteiro, L.P.T = largura do pneu traseiro, D.P.D = diâmetro do pneu dianteiro, D.P.T = diâmetro do pneu traseiro

Máquina	Modelo	Bitola D.	Bitola T.	L.P.D	L.P.T	D.P.D	D.P.T	Peso
				.....cm.....				kg
Enfardadora	Stabra Zeus SCF0810	-	180	-	19	-	70	1600
Enfardadora	Fortima V1500MC	-	215	-	48	-	48	-
Ancinho Enleirador	Agroform AF320/8EL	-	85	-	16	-	35	320
Plastificadora	Tanco A100	-	235	-	39	-	75	960
Calcareadora	Master 7500D	168	168	29	29	72	72	-

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Trator	John Deere 5055E	168	171	24	39	99	134	3135
Trator	John Deere 5078E	175	172	36	60	123	155	4500
Trator	John Deere 6110E	185	180	36	58	116	158	6000

*O valor de bitola, largura e diâmetro dos pneus dianteiros não são descritos em máquinas que apresentam apenas um eixo. Bitola D.: Bitola pneu dianteiro; Bitola T.: Bitola pneu traseiro

Tabela 4. Dados técnicos das máquinas agrícolas utilizadas na produção dos fenos

Operação Mecanizada	Máquina	Carga Total (Mg)	Eixo	Pneu	Carga no Eixo (Mg)	Pressão de Inflação (kPa)
Enfardamento	Stabra Zeus SCF.0810	1,60	Traseiro	19x70	0,80	N/A
	Fortima V1500MC	1,46	Traseiro	15,0/55-17 10 PR	0,73	N/A
Enleiramento	Ancinho enleirador	0,32	Traseiro	16x35	0,16	N/A
Embalamento	Tanco A100	1,46	Traseiro	31x15,5-15	0,73	N/A
Calcareadora	Master 7500D	1,51	Traseiro	Aro 16"	0,755	358,50
Trator	John Deere 5055E	3,135	Dianteiro	12,4-24 R1 10PR	1,567	207-220
			Traseiro	18,4-30 R1 12PR	1,567	220-240
Trator	John Deere 5078E	4,50	Dianteiro	N/A	2,25	140-240
			Traseiro	N/A	2,25	140-240
Trator	John Deere 6110E	6,00	Dianteiro	N/A	3,00	140-240
			Traseiro	N/A	3,00	140-240

A carga total foi considerada quando as máquinas estavam carregadas

2.4. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a um nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Quando pertinente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), com o auxílio do programa estatístico Sisvar. As simulações das cargas aplicadas foram realizadas por meio do software TASC V3.0 (Diserens; Batiatto, 2014).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

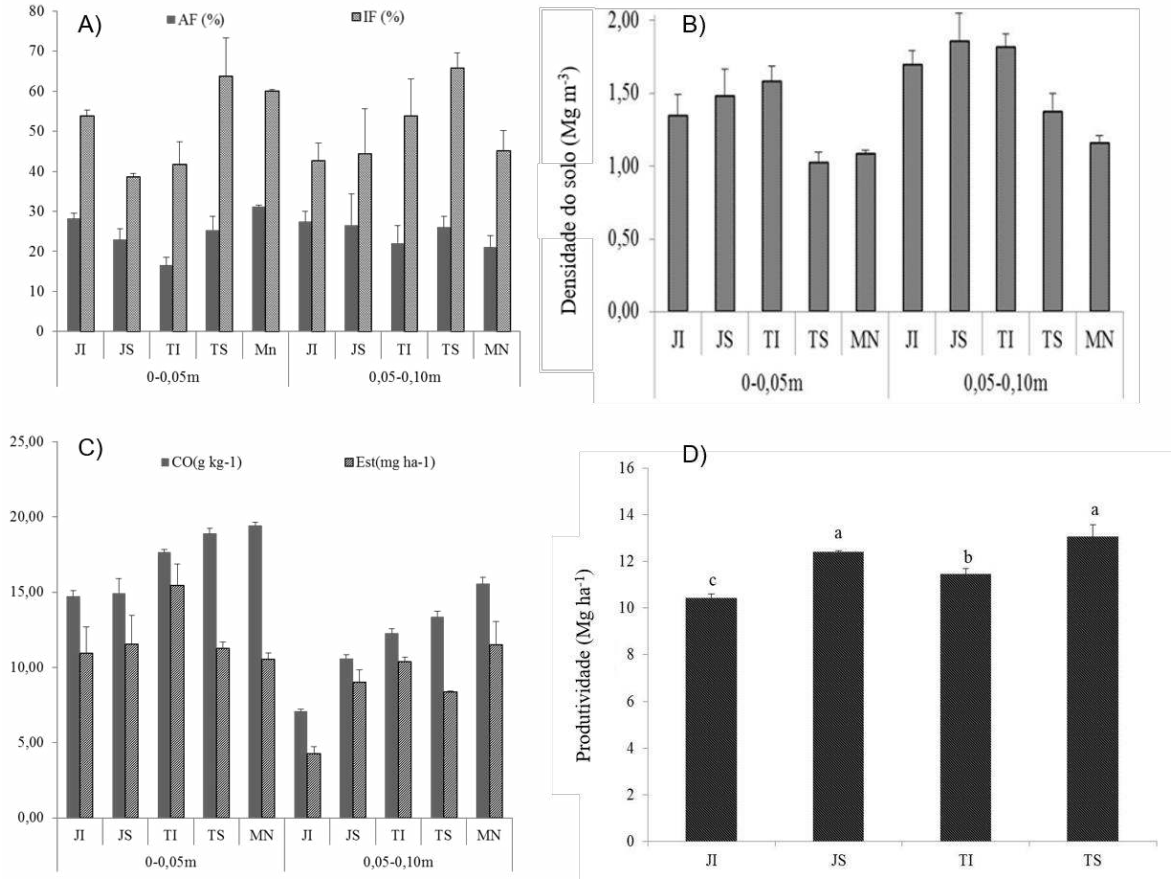
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Atributos do LATOSSOLO sob produção de feno

Os tratamentos Tifton-85 irrigado (TI), Tifton-85 sequeiro (TS) Jiggs sequeiro (JS) e Mata Nativa (MN), apresentaram valores semelhantes para ambos os indicadores de erodibilidade do solo, representadas pela argila floculada (AF) e pelo índice de floculação (IF) na camada de 0,05-0,10 m de profundidade (Figura 2A).

Figura 2. Atributos físicos, matéria orgânica e produtividade do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m cultivado com JI: Jiggs irrigado, JS: Jiggs sequeiro, TI: Tifton-85 irrigado, TS: Tifton-85 sequeiro e MN: Mata Nativa A) Valores médios de AF: argila floculada e IF: índice de Floculação. B) CO: Carbono orgânico (g kg^{-1}) e Est: estoque de carbono (Mg ha^{-1}) . C) Ds: Densidade do solo (Mg m^{-3}). D) Produtividade dos *Cynodons* spp. (Mg ha^{-1}).Barras de erro representam o erro padrão da média



O IF reflete a capacidade do solo em formar agregados estáveis, o que favorece a infiltração e, em consequência a permeabilidade de água ao longo do perfil do solo, bem como, favorece o crescimento vertical do sistema radicular.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Essa capacidade de agregação é diretamente influenciada pelo alto conteúdo de carbono orgânico (Zinn *et al.,* 2012; Silva *et al.,* 2013) encontrado em todos os tratamentos, especialmente para o TS e a testemunha, Mata Nativa (MN) (Figura 2C).

Os maiores estoques de carbono (Est) foram observados nos tratamentos TI em ambas as camadas avaliadas com valores superiores a 12 Mg ha^{-1} (Figura 2C). Esses valores são compatíveis com sistemas de manejo que empregam práticas de conservação do solo utilizados em culturas perenes. Boa parte da contribuição dos estoques de carbono no solo em profundidade são provenientes do rápido crescimento radicular das forrageiras, juntamente com a preservação destes nos coloides dos óxidos de ferro, ou seja, devido ao contato direto solo-raiz, há a liberação de ácidos orgânicos e polissacarídeos da decomposição, que são adsorvidos aos colóides oxídicos do solo em estudo, resultando na formação de complexos argilo-orgânicos de alto peso molecular, além da redução da atividade microbiana em maior profundidade (Zinn *et al.,* 2012; Silva *et al.,* 2013;).

Com relação aos valores de Ds, todos os tratamentos apresentaram valores superiores a 1,20 Mg m^{-3} (Figura 2B), especialmente em subsuperfície, destacando-se os tratamentos irrigados e JS. Isso pode ser atribuído ao corte das forrageiras realizado sempre entre 30 e 40 dias, muitas vezes o corte ocorre em condições inadequadas de umidade do solo. Cargas externas aplicadas ao solo, como as provenientes de operações de corte e pastejo animal excessivo, com maior conteúdo de água no solo, formam bulbos de tensão que se propagam em profundidade, alterando a estrutura e causando compactação em subsuperfície (Pires *et al.,* 2012; Severiano *et al.,* 2013; Keller *et al.,* 2014;). Esse efeito pode ser agravado pela falta de planejamento e tráfego sistemático dos maquinários na área de produção, o que favorece a compactação adicional do solo em área total (Araújo Júnior *et al.,* 2011; Imhoff *et al.,* 2001; Guimarães Júnnyor *et al.,* 2019).

Em relação à produção de matéria seca (MS), observou-se diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2D), com a condição de sequeiro apresentando maior produção em comparação com as áreas sob irrigação. Adicionalmente, no tratamento TS, verificou-se maior concentração de micronutrientes nas folhas, como Fe, B e Zn (Tabela 5).

É importante ressaltar que nos tratamentos TS e TI, foram obtidos os maiores teores de carbono orgânico (CO > 15 g kg^{-1}) (Figura 2C), o que pode influenciar a disponibilidade gradativa de nutrientes para a planta, conforme sua decomposição regulada pela proteção física no complexo organomineral (Tabela 2 e 5). A mineralização gradual desse material orgânico estocado no solo fornece, especialmente, os micronutrientes citados na Tabela 5, além de nitrogênio, fósforo e enxofre (Zinn *et al.*, 2012; Silva *et al.,* 2013).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 5. Concentração de nutrientes nas folhas dos *Cynodons* referentes aos tratamentos JI: Jiggs irrigado, JS: Jiggs sequeiro, TI: Tifton-85 irrigado e TS: Tifton-85 sequeiro

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
	.....g kg^{-1}.....						.....mg kg^{-1}.....				
JI	25,9	3,8	28,1	4,5	2,5	4,3	91,8	35,9	8,2	11,3	233,3
JS	23,0	3,2	22,8	6,0	2,8	6,1	117,9	38,1	8,2	9,9	244,1
TI	22,8	2,7	23,4	5,3	2,3	7,4	145,6	32,5	8,2	9,0	174,2
TS	23,5	3,3	23,4	5,7	2,8	4,8	113,1	37,8	16,0	9,2	558,3

Essa qualidade nutricional das folhas é devido a concentrações dos elementos químicos detectadas nas camadas avaliadas, como a soma de bases (SB > 11,1 $cmol_c\ dm^{-3}$), capacidade de troca catiônica (CTC > 16 $cmol_c\ dm^{-3}$) e saturação por bases (V% > 80%), além de valores consideráveis de CO (Tabela 2, Figura 2C). Pequenas diferenças na concentração de micronutrientes foram observadas nas folhas, somente para Fe e Mn. Contudo, houve um bom equilíbrio entre os nutrientes.

Esse resultado indica a construção da fertilidade do solo por meio das aplicações de esterco de frango (10 Mg ha^{-1} a cada três meses), ureia (225 kg ha^{-1} ano^{-1} parcelado: 100kg no verão, 75 kg na primavera e 50kg ha^{-1} no inverno) e a aplicação anual de calcário em área total, conforme a análise de solo. Esses fatores elevaram os nutrientes no solo e a exportação destes pelas plantas, o que contribui com a qualidade do feno e pré-secado produzidos na área.

Em contrapartida, altas concentrações de cálcio trocável (Ca^{2+}) (Tabela 2), pode promover a dispersão das partículas do solo, movimentando o potássio e magnésio em maior profundidade, o que é benéfico para o desenvolvimento das raízes das forrageiras (Evangelista; Lima; Bernandes 2000; Carducci *et al.,* 2022; Silva *et al.,* 2013;). Observou-se também ,altos valores de fósforo remanescente (P-rem), sugerindo que é economicamente viável para o produtor reduzir pela metade o número de aplicações anuais de adubo mineral e orgânico, além de tornar bienal as correções do solo com calcário, devido aos elevados valores de pH, que podem imobilizar a maioria dos micronutrientes para a planta (Costa *et al.,* 2024).

3.2. Relação Solo-Máquina: Bulbos de Tensão

As pressões máximas aplicadas pelos máquinas em cada pneu (dianteiro e traseiro) e sua profundidade de ação estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7, onde foi possível verificar que a magnitude das pressões aplicadas e sua distribuição ao longo das camadas avaliadas variaram de acordo com as condições avaliadas: parâmetros das máquinas e do solo. Nos tratamentos com irrigação, os bulbos de tensão foram calculados apenas para os tratores e a calcareadora, uma vez que essas áreas não são destinadas à produção de feno, mas sim ao pastejo do gado leiteiro.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 6. Tensão aplicada e profundidade de ação para cada máquina agrícola utilizada na produção do feno da cultivar Jiggs

Máquinas	Jiggs Sequeiro				Jiggs Irrigado			
	Pneu Dianteiro		Pneu Traseiro		Pneu Dianteiro		Pneu Traseiro	
	Tensão	Prof.(1)	Tensão	Prof.	Tensão	Prof.	Tensão	Prof.
	kPa	M	kPa	m	kPa	m	kPa	m
Enfardadora ZeusSCF0810	489 49	0 0,24						
Enfardadora V1500MC	657 43	0 0,39						
Ancinho Enleirador AF320	175 13	0 0,21						
Plastificadora A100	119 29	0 0,21						
Calcareadora 7500	337 46	0 0,36			337 54	0 0,33		
Trator 5055F	132 25	0 0,24	115 44	0 0,24	133 25	0 0,24	115 52	0 0,21
Trator 5078E	94 25	0 0,27	117 46	0 0,27	94 30	0 0,24	117 53	0 0,24
Trator 6110E	83 26	0 0,3	96 45	0 0,3	83 30	0 0,27	96 50	0 0,27

(1)Prof.: profundidade, 0 = superfície.

De forma geral, a carga dos maquinários agrícolas e a dimensão dos pneus contribuíram para a magnitude da tensão aplicada (Guimarães Júnnyor *et al.,* 2019). Nesse sentido, os pneus dianteiros dos maquinários (Tabela 7) utilizados na produção de feno aplicaram maiores tensão na superfície do solo na maioria dos tratamentos (Tabelas 6 e 7).

Tabela 7. Tensão aplicada e profundidade de ação para cada máquina agrícola utilizada na produção do feno da cultivar Tifton-85

Máquinas	Tifton-85 Sequeiro				Tifton-85 Irrigado			
	Pneu Dianteiro		Pneu Traseiro		Pneu Dianteiro		Pneu Traseiro	
	Tensão	Prof.(1)	Tensão	Prof.	Tensão	Prof.	Tensão	Prof.
	kPa	M	kPa	m	kPa	m	kPa	m
Enfardadora Zeus SCF0810	728 49	0 0,24						
Enfardadora V1500MC	424 46	0 0,39						
Ancinho Enleirador AF320	240 13	0 0,21						

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Plastificadora A100	119 29	0 0,21						
Calcareadora 7500	337 46	0 0,36			337 54	0 0,33		
Trator 5055F	132 25	0 0,24	115 44	0 0,24	133 25	0 0,24	115 52	0 0,21
Trator 5078E	94 25	0 0,27	117 46	0 0,27	94 64	0 0,2	117 64	0 0,2
Trator 6110E	83 26	0 0,3	96 45	0 0,3	83 33	0 0,25	96 54	0 0,25

(1)Prof.: profundidade, 0 = superfície

Tanto no tratamento TS quanto no JS, as maiores cargas aplicadas foram ocasionadas pela enfardadora SCF0810 (728 kPa), enfardadora V1500 (424 kPa) e calcareadora (337 kPa) na superfície do solo. Essas tensões foram transmitidas até 0,39 m de profundidade, porém com leve decréscimo da tensão aplicada (46 a 49 kPa) (Tabelas 6 e 7).

É na superfície do solo que ocorre o maior contato do pneu e o efeito integral da vibração do maquinário, o que pode exceder a máxima capacidade de suporte de carga do LATOSSOLO em estudo. Embora os valores de tensão máxima aplicada em LATOSSOLOS ainda sejam escassos, modelos de capacidade de suporte de carga indicam que cargas externas de 160kPa, em solos argilosos com a pressão matricial de 6 a 10kPa, podem induzir algum grau de compactação, caso esse, da classe de solos em estudo (Severiano *et al.,* 2013; Carducci *et al.,* 2021).

No entanto, a transmissão vertical da carga aplicada pelos maquinários reduziu em profundidade formando bulbos de tensão menores (Figura 3; Tabela 6 e 7). Vale lembrar que as profundidades de tensão avaliadas, concentram uma grande quantidade de carbono (Figura 2) e raízes que podem absorver esse impacto das cargas externas aplicadas (Zinn *et al.,* 2012; Silva *et al.,* 2013). De acordo com Keller *et al.,* (2014), em solos de regiões de clima temperado, as tensões máximas podem facilmente ultrapassar os primeiros 0,50 m de profundidade, devido à maior dimensão dos maquinários e à presença de argilas de alta atividade, que favorecem a coesão das partículas, diferentemente das condições de solo e clima deste estudo que apesar de estar em clima Cfb (úmido) o solo apresenta maior conteúdo de óxidos de ferro em sua composição, sendo mais resistentes a deformação (Severiano *et al.,* 2013; Carducci *et al.,* 2021; Carducci *et al.,* 2022).

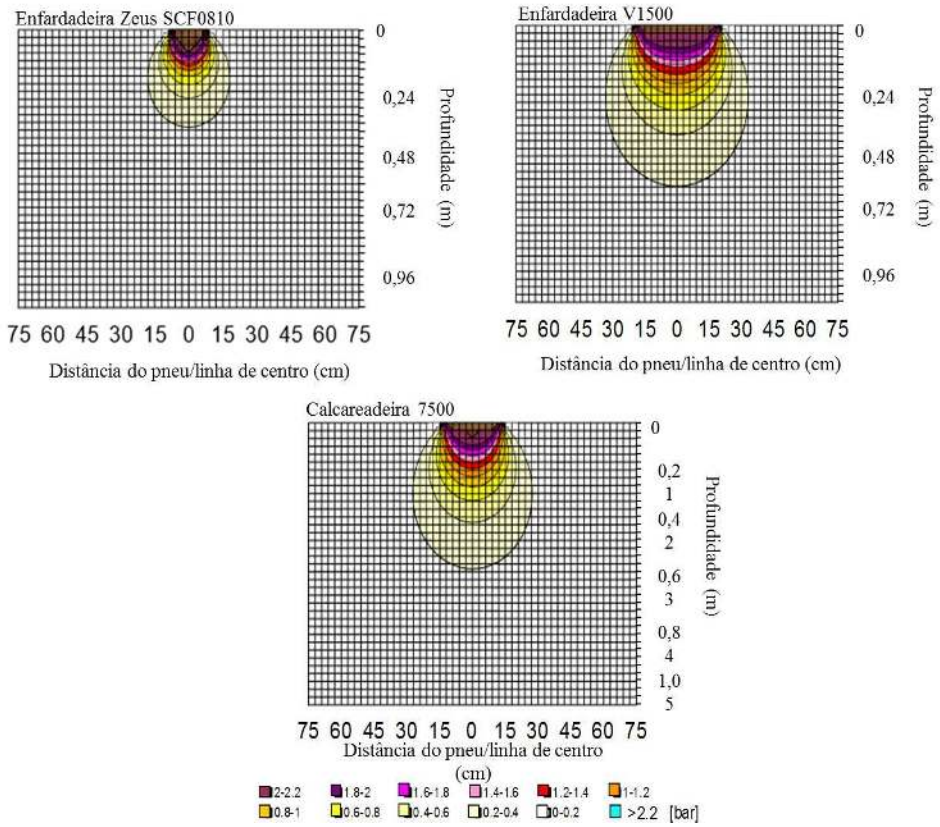
A simulação da carga aplicada por cada máquina nos tratamentos foi realizada de acordo com os critérios do programa TASC, que utiliza os teores de argila e silte, juntamente com os parâmetros das máquinas. Assim, tanto na área de JS quanto no TS, o solo foi considerado muito argiloso (Tabela 1), o que padronizou essa variável para o cálculo das tensões máximas. Sendo assim, apesar de aplicar uma das maiores cargas ao solo, as enfardadoras, no momento de enfardar o feno, estão em movimento, distribuindo a carga aplicada na área de produção (Figura 3). Fato observado também por Araújo Junior *et al.,* (2011), ao avaliarem o manejo de herbicidas em cultivo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

cafeeiro onde os autores verificaram que o conjunto trator + pulverizador, (promovem o maior grau de compactação) chegam a transmitir a carga aplicada até 0,12 m de profundidade.

Figura 3. Bulbo de tensão gerados pelas enfardadoras e calcareadora na área de Jiggs Sequeiro. 1bar =100kPa

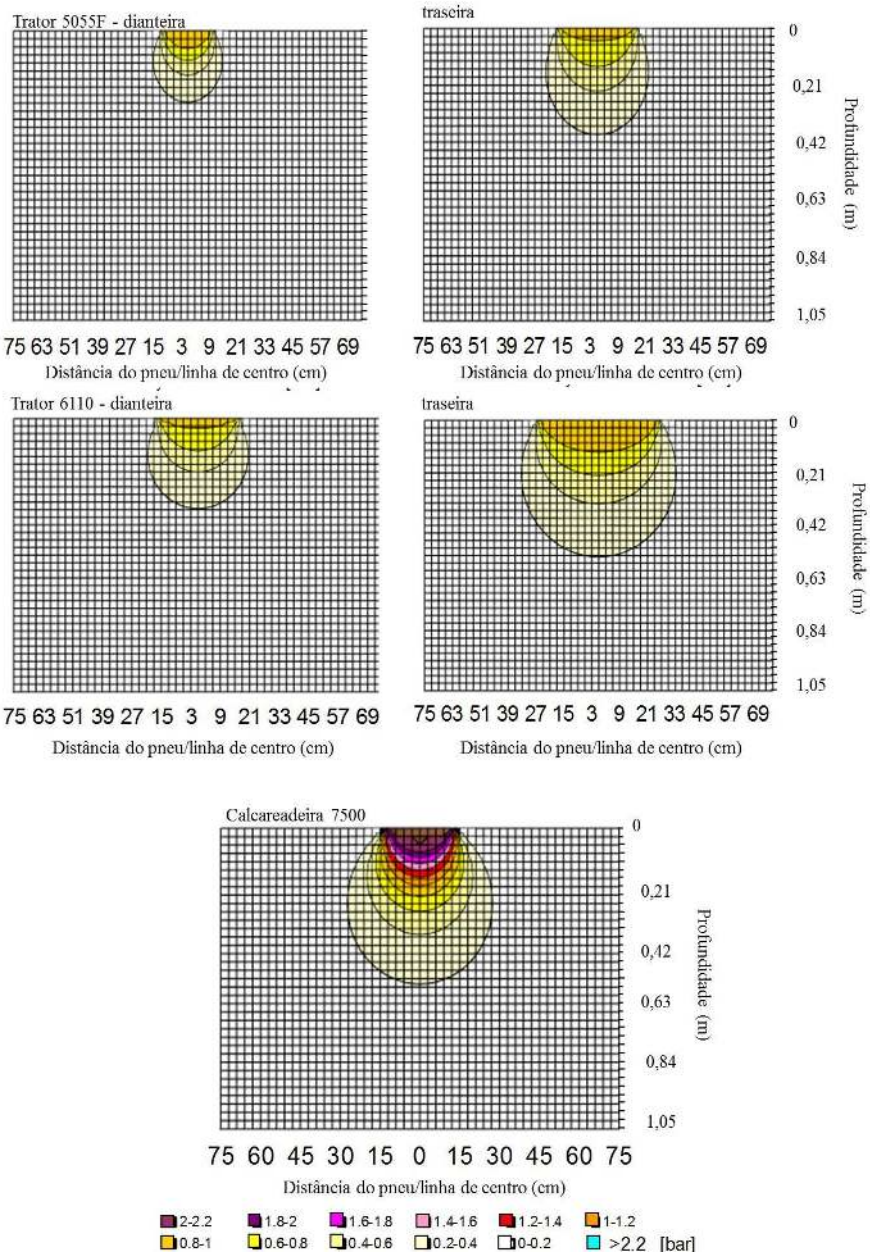


Em relação aos tratores utilizados em ambos os tratamentos, as cargas variaram em média de 133 a 55 kPa até a profundidade de 0,20m, podendo ocasionar algum risco de compactação, especialmente nas áreas irrigadas (JI e TI). Nos tratores, a maior carga é aplicada pelos pneus traseiros, devido à distribuição de cargas em função da tração durante as operações agrícolas. A exemplo do modelo 5055F (3.135 kg), de menor porte, que apresentou risco de compactação severa até 0,27 m de profundidade, atingindo tensões máximas médias no pneu traseiro de 133 kPa na superfície do solo e 50kPa abaixo de 0,15 m (Figura 4, Tabelas 6 e 7) devido à menor área de contato pneu-solo, o que favorece o maior grau de compactação (Keller *et al.,* 2014; Guimarães Júnnyor *et al.,* 2019).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 4. Bulbo de tensão gerados pelos tratores e calcareadora nas áreas irrigadas. 1bar =100kPa



Nas áreas com irrigação destinadas ao pastejo, foram simulados os bulbos de tensão para os tratores e para a calcareadora (Figura 4), que apresentaram algum risco de compactação. Embora as máquinas destinadas à produção de feno não sejam utilizadas nessas áreas, os elevados valores de Ds e a menor produtividade do feno (Figura 2B e D) podem ser ocasionados pelo pastejo intensivo da área em condição de alto conteúdo de água. Tanto o tráfego dos tratores quanto a carga animal (2,8 UA ha^{-1}) podem aplicar tensões de 380kPa por animal na superfície do

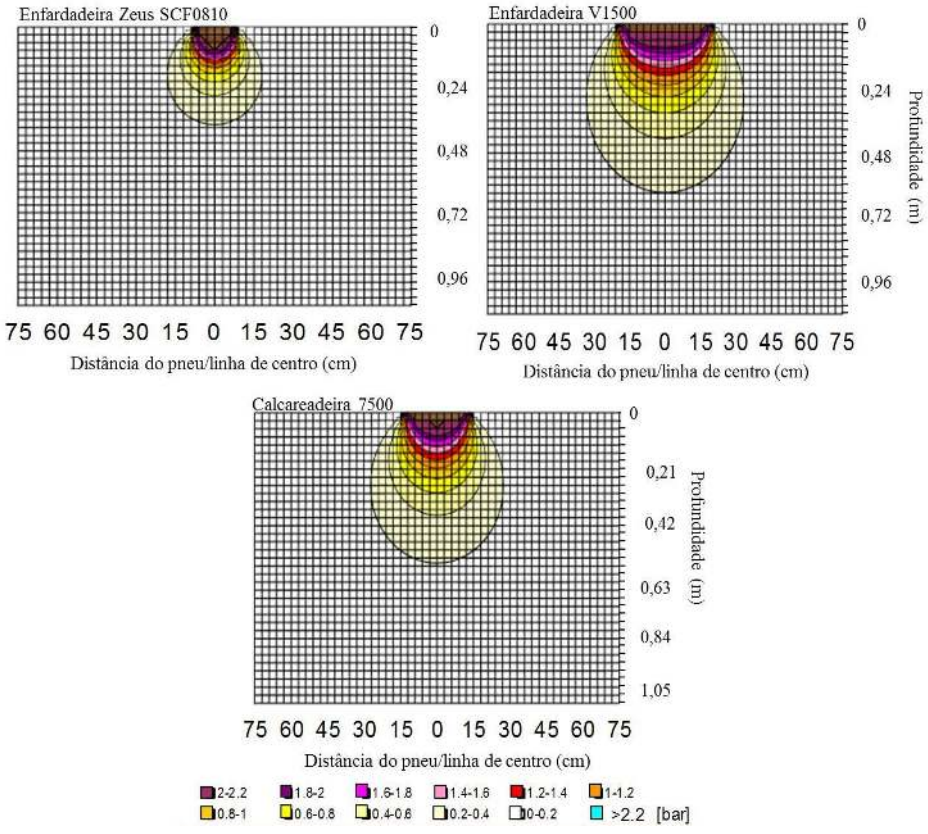
ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

solo, como observado por Pires *et al.,* (2012), que constataram alterações na capacidade de suporte de carga do solo em áreas de pastagem irrigada após o pisoteio animal, indicando um efeito compressivo na camada superficial do solo.

Na área de TS, mesmo com os melhores valores de produtividade e qualidade nutricional da forrageira (Figura 2D; Tabela 5), as máquinas de produção de feno apresentaram alto risco de compactação abaixo de 0,24m de profundidade, onde as tensões máximas variaram de 176kPa (enfardadora SCF0810) a 43kPa (Calcareadora) (Figura 5, Tabela 7). Pressões semelhantes foram encontradas para a área de Jiggs sequeiro (JS), visto que ambos os solos são muito argilosos. O programa TASC, no entanto, realiza um julgamento subjetivo do risco de compactação, pois não considera o comportamento compressivo dos solos sob diferentes sistemas de manejo (Diserens; Batiatto, 2014).

Figura 5. Bulbo de tensão gerados pelas enfardadoras e calcareadora na área de Tifton-85 Sequeiro. 1bar =100kPa



Os bulbos de tensão variaram de acordo com cada máquina, sua relação entre o peso e a distribuição nos pneus, o tipo de operação, bem como, com as características da superfície do solo (Figuras 3, 4 e 5). Sendo assim, todas as máquinas transmitiram tensões verticais abaixo de 0,20 m profundidade, ou seja, ocorreu deformação da estrutura do solo, confirmada pela elevação dos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

valores de densidade do solo, que podem ser valores restritivos ao desenvolvimento radicular (Carducci *et al.,* 2021). Além disso pode ocorrer a redução da infiltração de água e do potencial produtivo das forrageiras, mesmo com valores adequados de fertilidade do solo e, consequentemente aumentar o risco de erosão (Pires *et al.,* 2012; Severiano *et al.,* 2013). Portanto, as operações mecanizadas devem ser realizadas com cautela, principalmente em relação às áreas irrigadas.

4. CONSIDERAÇÕES

Nas áreas de produção de feno, áreas de sequeiro, apesar de apresentar boa estabilização da estrutura do solo, evidenciada pelos índices de susceptibilidade a erosão avaliados, foram registrados altos valores de densidade do solo em todos os tratamentos.

Os bulbos de tensão gerados pelas máquinas agrícolas atingiram profundidades superiores a 0,24m, especialmente as enfardadoras e calcareadora avaliadas nos tratamentos de sequeiro, sugerindo algum grau de compactação,

A produtividade do feno Tifton-85 em sistema de sequeiro foi superior aos demais tratamentos, apresentando também melhor concentração de micronutrientes na planta, especialmente ferro, boro e zinco. Os tratores utilizados nas áreas irrigadas (TI e JI) promoveram alterações estruturais até a profundidade de 0,15 m.

Para mitigar os problemas de compactação, é importante realizar a sistematização das operações mecanizadas, de modo que o tráfego dos maquinários ocorra sempre no mesmo local.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, J. L. G.; SPAROVEK, G Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507

AMARAL, M. A. C. M. Desempenho produtivo de Cynodon spp. cv. Tifton 85 sob diferentes condições de manejo da irrigação. **Revista GEAMA**, v. 5, p. 30-37, 2019. ISSN: 2447-0740.

ARAUJO JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 115-131, 2011. Doi:10.1590/S0100-06832011000100011

BASTGEN, H. M.; DISERENS, E. q-Value for calculation of pressure propagation in arable soils taking topsoil stability into account. **Soil Tillage Res**., v. 102, p.138–143, 2009.

BOUSSINESQ, J. **Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques**. Paris: Gauthier-Villars, 1885.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CALLEJA-HUERTA, A.; MUNKHOLM, L.J.; LAMANDÈ, M. A new model framework for infield spatialization of traffic induced soil compaction. **Soil & Tillage Research**, v. 255, p.106775, 2026. Doi: 10.1016/j.still.2025.106775

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C; ZEVIANI, W. M; LAUREANO, H. A.; BARBOSA, S. M.; SEVERIANO, E. C.; CURI, N. Preconsolidation stress of gibbsitic and kaolinitic Oxisols under a multipractice conservationist coffee system. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, p.1049-1068, 2021. Doi: 10.5433/1679-0359.2021v42n3p1049

CARDUCCI, C. E.; PINTO, L. C.; BARBOSA, S. M.; ZINN, Y. L.; HECK, T. J. Micromorfologia e tomografia de raios-x: porosidade de um Latossolo gibbsítico sob sistema multi-práticas de manejo cafeeiro. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar,** v. 3, n. 6, e361520, 2022. Doi: 10.47820/recima21.v3i6.1520

COSTA, I. S.; SILVA, C. A. D.; SANTANA, E. P.; GOUVEIA, A. J.; SOUZA, A. P.; SILVA, D. F.; BROMERSCHENKEL, I. Tipos de pastagens para equinos. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, p. 964–987. 2024. https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n4p964-987

DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G. A review of soil compaction models. **Soil & Tillage Research**, v. 67, p.149- 161, 2002. Doi: 10.1016/S0167-1987(02)00030-2

DISERENS, E.; BATIATTO, A. **Soil Compaction, Soil Shearing and Fuel Consumption**: TASC - A Practical Tool for Desision-Making in Farming and Forestry. [S. l.]: Agroscope. 2014. Disponível em: https://www.tasc-application.ch/en/tasc-downloads/

EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A.; BERNARDES, T. F. Avaliação de algumas características da silagem de gramínea estrela roxa (Cynodon nlemfuensis Vanderyst). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 941-946, 2000. Doi:10.1590/S1516-35982000000400001

FRÖHLICH, O. K. **Druckverteilung im Baugrunde**. Verlag, Wien: Springer, 1934. 178 p.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 863-873, 2007. Doi: 10.1590/S0100-06832007000500004.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; DISERENS, E.; DE MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. S. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Sci. Total Environ**, v. 681, p.424–434, 2019. Doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.009

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R.; MARTINS, B. R. R.; Custódio, G. D. Sweet sorghum performance affected by soil compaction and sowing time as a second crop in the Brazilian Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p.1744–1754, 2015. Doi: https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150121

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 11-18. 2001. Doi: 10.1590/S0100-06832001000100002

KELLER, T.; BERLI, M.; RUIZ, S.; LAMANDÉ, M.; ARVIDSSON, J.; SCHJΦNNING, P.; SELVADURAI, A. P. S. Transmission of vertical soil stress under agricultural tyres: Comparing measurements with simulations. **Soil & Tillage Research**, v. 140, p. 106-117, 2014. Doi: 10.1016/j.still.2014.03.001

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

PETH, S.; HORN, R.; FAZEKAS, O.; RICHARDS, B.G. Heavy soil loading its consequence for soil structure, strength, deformation of arable soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 169, p. 775-783, 2006. Doi: 10.1002/jpln.200620112

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 635-642, 2012. Doi: 10.1590/S0100-06832012000200032

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 396 p.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E.N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-Tifton 85. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient**., v. 14, p. 39-45, 2010. Doi: 10.1590/S1415-43662010000100006

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; CURI, N.; COSTA, K. A. P.; CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, p. 193-2O2, 2013. Doi: 10.1071/SR12366

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, J. C. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Oxisol under Coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 25-32, 2013. Doi: https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2013.012

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017. 574 p.

ZINN, Y. L.; GUERRA, A. R.; SILVA, A. C.; MARQUES, J. J.; DE OLIVEIRA, G. C.; CURI, N. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões sul e serra do espinhaço meridional, Minas Gerais: Modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1395-1406, 2007. Doi:10.1590/S0100-06832012000500003

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.