



COMPACTAÇÃO DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS SILVIPASTORIS

Palavras-Chave: Carbono orgânico, densidade do solo, sistema silvipastoril, integração lavoura-pecuária.

Autores/as:

HELOISA DUARTE BARBUTTI – FEAGRI/UNICAMP

Prof./^a Dr./^a ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA (Orientador) – FEAGRI/UNICAMP

Doutorando DIEGO ALEXANDER AGUILERA ESTEBAN (Coorientador) – FEAGRI/UNICAMP

OSVALDO VIU SERRANO JUNIOR – FEAGRI/UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Em 2020, o Brasil dispõe do maior rebanho bovino do mundo, cerca de 14,3% do rebanho mundial. A pecuária ocupa 165,2 milhões de hectares de terras no Brasil, um crescente de 0,2% da área de pastagem utilizada no território nacional, com uma produtividade de 4,2 @ ha⁻¹ ano⁻¹ (ABIEC, 2021). Em face do cenário atual, grande parte do total de terras ocupadas por pastagens no Brasil, estão em algum estágio de degradação (DIAS FILHO, 2014; CALEGARIO et al., 2019). Embora a produtividade da pecuária tenha se desenvolvido nos últimos anos, outro problema deste setor decorrente da produção extensiva, é a baixa produtividade animal em áreas de pastagens já degradadas ou com pouca produtividade. Segundo ABIEC (2020), os dados de degradação de pastagens no Brasil são de 15,5 milhões de hectares. O principal motivo da degradação das pastagens é o manejo incorreto do pastejo, que condiciona uma taxa de animal maior do que a capacidade de suporte das pastagens.

Em vista disso, é de extrema necessidade que novos sistemas de produção, como os sistemas silvipastoris intensivos, sejam estudados. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interferência de diferentes sistemas silvipastoris com manejo rotacionado, na compactação do solo e no estoque de carbono no solo. Os sistemas foram instalados em 2018 na Fazenda Takaoka, no município de Iaras, estado de São Paulo, Brasil, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro sistemas de produção e quatro repetições. Os sistemas estudados são: SSPI Leucena – Sistema Silvipastoril Intensivo com a gramínea *Panicum maximum* em consórcio com *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham e renques de espécies arbóreas a cada 20 m; SSPI Tithonia – Sistema Silvipastoril Intensivo com gramínea *Panicum maximum* em consórcio com *Tithonia diversifolia* e renques de espécies arbóreas a cada 20 m; SSP – Sistema Silvipastoril com gramínea *Panicum maximum* e com renques de espécies arbóreas a cada 20 m; SR – Sistema de Pastejo Rotacionado a pleno sol com gramínea *Panicum maximum*. Em cada sistema foi avaliada a resistência do solo à penetração, a densidade do solo, macroporosidade e o estoque de carbono do solo.

Por conseguinte, a hipótese deste trabalho é que Sistemas Silvipastoris Intensivo com Leucena e Tithonia, minimizam a compactação do solo e aumentam o estoque de carbono, em relação ao Sistema Silvipastoril e ao Sistema Rotacionado a pleno sol, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média.

METODOLOGIA:

Localização da área de estudo, delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido no campo experimental localizado a Fazenda Takaoka, no município de Iaras-SP, Brasil, nas coordenadas geográficas de 22°52' de latitude sul e 49°09' de longitude oeste, com altitude aproximada de 641 m (Figura 1). O território do município faz parte do bioma natural do cerrado (IBGE, 2004). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa (SANTOS et al., 2018), com 82% de areia, 13% de argila e 5% de silte. Anterior ao estabelecimento do experimento a área estava ocupada por pastagem durante mais de 20 anos e, a partir de 2014 com cana-de-açúcar sob manejo convencional e convertida em 2016 para sistema orgânico de produção, sendo erradicada em junho de 2018. O delineamento experimental é o inteiramente casualizado, no qual foram implantados quatro sistemas de produção, com quatro repetições. Cada sistema possui 10,60 ha, sendo composto por 16 piquetes de 0,66 ha cada, totalizando 44 ha (Figura 1). Os sistemas foram rotacionados com novilhas da raça nelore.

Amostragem de solo para determinação de densidade do solo e estoque de carbono

Amostras de solo indeformadas (5 cm de diâmetro e altura) para determinação da densidade do solo e amostras deformadas de solo para determinação do carbono orgânico total foram realizadas em trincheiras com 1,0 m de largura e comprimento, e 0,6 m de profundidade. A escolha dos piquetes amostrados foi realizada de forma aleatória, dentro da área verde escura descrita na Figura 1, excluindo do sorteio a área de bordadura. A coleta de solo foi realizada no final do ciclo pecuário de um ano (maio de 2020).

Para os tratamentos SSPI Leucena e SSPI Tithonia foram abertas quatro trincheiras georreferenciadas, posicionadas entre a linha de Leucena ou Tithonia e na entrelinha das gramíneas. Para o tratamento SSP, as quatro trincheiras estavam posicionadas entre a entrelinha de gramíneas e a linha de espécies arbóreas ou faixa florestal (FF). E para o tratamento SR as quatro trincheiras ficaram na área ocupada pelas gramíneas. Foram realizadas amostragens de solo nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, nas linhas e entrelinhas de plantio. No total, para os sistemas SSPI Leucena, SSPI Tithonia e SSP foram realizadas quatro repetições, com quatro profundidades, nas linhas e entrelinhas e para o sistema SR, quatro repetições, com quatro profundidades, somente na área das gramíneas.

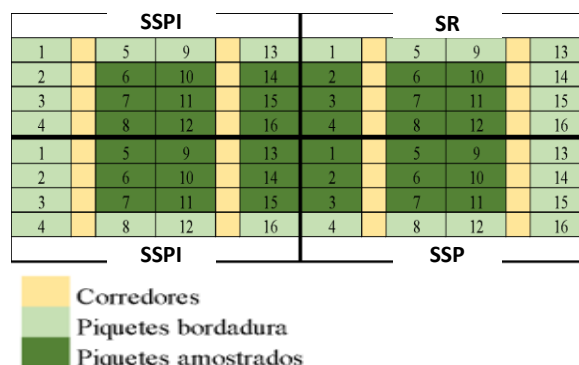


Figura 1- Croqui dos sistemas de produção pecuária avaliados com a numeração dos piquetes, a área amostrada em verde escuro na área experimental. O número indica a identificação do piquete.

Análises do solo

Densidade do solo (Ds): foi determinada pelo método do anel volumétrico e calculada pelo quociente entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra (TEIXEIRA et al., 2017).

Macroporosidade do solo (MaP): as amostras de solo indeformadas foram inicialmente saturadas por ascensão capilar, pesadas (peso saturado) e posteriormente submetidas à tensão de -6 kPa na mesa de tensão (60 cm de coluna de água). Após essa etapa, as amostras foram pesadas e levadas à estufa a 105 °C e, em seguida, pesadas novamente (peso seco). A MaP foi calculada como o conteúdo volumétrico de água drenada entre a saturação e a tensão de -6 KPa conforme Teixeira et al. (2017).

Resistência do solo à penetração (RP): foi determinada em campo nos mesmos locais onde foi feita a amostragem do solo, mediante uso de um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30°, área do cone de 1,29 cm², massa do êmbolo de 4 kg e altura de queda do êmbolo de 40 cm. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida como $RP = 0,56 + 0,689 \times (N/P) \times 10$, em que, RP é a resistência do solo à penetração em MPa, N é o número de impactos, P é a penetração do cone do penetrômetro no solo em cm conforme de Stolf et al. (2014). No local onde foi realizado o ensaio de resistência do solo à penetração foram coletadas amostras de solo indeformadas com uso de um trado para a determinação do teor de água no solo (U) pelo método gravimétrico.

Estoque de carbono orgânico do solo: a determinação dos teores de carbono orgânico total (C) foi realizada por combustão a seco usando um analisador elementar. Os estoques foram calculados com base em massa equivalente, de acordo com a metodologia proposta por Ellert e Bettany (1995) a partir de amostras deformadas, previamente secas ao ar, moídas e passadas pela peneira de 150 µm. O estoque de Carbono (EC) em cada uma das camadas amostradas foi determinado a partir da expressão $EC = (C \times Ds \times e) / 1000$, onde o EC, representa o carbono acumulado (Mg ha⁻¹); C, indica o teor de carbono na camada (%); Ds, a densidade do solo (Mg m⁻³); e, a espessura da camada em análise (m).

Para determinar se os sistemas de manejo induziram diferenças na densidade do solo, na resistência do solo à penetração e no estoque de carbono foi realizada uma análise de variância e quando significativa as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade. Na análise estatística realizada, foi utilizado o software estatístico SAS 3.8, versão livre.

RESULTADOS:

Resistência do solo à penetração (RP), teor de água no solo (U), densidade do solo (Ds) e Macroporosidade (MaP)

A RP variou entre 1,2 e 12,2 MPa (Tabela 1). Na camada de 0,00-0,05 m, a área de FF e SSPI Tithonia, apresentaram valores de RP (1,2 e 2,1 MPa) significativamente menor do que no SSP (4,1 MPa). Nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m a RP do sistema FF (1,7 e 2,9 MPa, respectivamente) foi significativamente menor que no SSP (5,1 e 9,6 MPa, respectivamente). A RP nas camadas 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos.

O teor de água no solo (U) no momento da avaliação da RP variou entre 0,05 e 0,10 kg kg⁻¹ sendo que valores significativamente menores foram obtidos no SSP para as três primeiras camadas do solo (0,05, 0,06 e 0,06 kg kg⁻¹), enquanto as últimas duas camadas (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) não apresentaram diferenças significativas entre os

tratamentos. De modo geral, o teor de água do solo diminuiu com aumento da profundidade em todos os tratamentos, com exceção do SSP.

A densidade do solo (Ds) variou entre 1,50 e 1,74 kg dm⁻³ (Tabela 1). A Ds nas camadas de solo de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,20-0,40 não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Diferenças significativas entre os tratamentos foram constatadas nas camadas 0,10-0,20 m e 0,40-0,60 m. A camada 0,10-0,20 m apresentou maiores valores de Ds nos tratamentos SSPI Tithonia, SSP e SR (1,72, 1,74 e 1,70 kg dm⁻³, respectivamente), e menores valores no SSPI Leucena e FF (1,61 e 1,60 kg dm⁻³, respectivamente). Na camada de 0,40-0,60 m, a Ds foi significativamente maior no SSPI Tithonia (1,59 kg dm⁻³) do que no SSP (1,47 kg dm⁻³).

A macroporosidade (MaP) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos apenas na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 1). Nessa camada, a MaP na FF foi significativamente maior (0,18 m³ m⁻³) do que o SSP (0,11 m³ m⁻³). Os tratamentos restantes não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 1 – Resistência do solo à penetração, teor de água no solo, densidade do solo e macroporosidade em diferentes camadas de um Latossolo Amarelo Distrófico sob sistemas silvipastoris em 2020, no município de Iaras, Estado de São Paulo, Brasil.

Camada (m)	SSPI Leucena	SSPI Tithonia	SSP	SR	FF	Média	SSPI Leucena	SSPI Tithonia	SSP	SR	FF	Média
Resistência do solo à penetração (MPa)							Densidade do solo (kg dm⁻³)					
0,00-0,05	2,4 ab	2,1 b	4,1 a	2,6 ab	1,2 b	2,5	1,53 a	1,50 a	1,51 a	1,53 a	1,50 a	1,51
0,05-0,10	3,5 ab	2,8 ab	5,1 a	3,2 ab	1,7 b	3,3	1,57 a	1,56 a	1,64 a	1,50 a	1,58 a	1,57
0,10-0,20	4,8 ab	4,8 ab	9,6 a	6,4 ab	2,9 b	5,7	1,61 b	1,72 a	1,74 a	1,70 a	1,60 b	1,67
0,20-0,40	7,2 a	8,8 a	12,2 a	12,2 a	3,9 a	8,9	1,63 a	1,68 a	1,66 a	1,65 a	1,62 a	1,65
0,40-0,60	8,0 a	5,6 a	8,9 a	9,0 a	5,4 a	7,4	1,50 ab	1,59 a	1,47 b	1,50 ab	1,50 ab	1,51
Média	5,2	4,8	8	6,7	3		1,57	1,61	1,6	1,57	1,58	
Teor de água no solo (kg kg⁻¹)							Macroporosidade (m³ m⁻³)					
0,00-0,05	0,10 a	0,09 a	0,05 b	0,09 a	0,09 a	0,08	0,17 a	0,17 a	0,20 a	0,17 a	0,18 a	0,18
0,05-0,10	0,09 a	0,09 a	0,06 b	0,09 a	0,09 a	0,08	0,16 a	0,17 a	0,17 a	0,20 a	0,17 a	0,17
0,10-0,20	0,09 a	0,08 ab	0,06 b	0,08 ab	0,08 ab	0,08	0,17 ab	0,12 ab	0,11 b	0,14 ab	0,18 a	0,14
0,20-0,40	0,08 a	0,07 a	0,06 a	0,06 a	0,08 a	0,07	0,14 a	0,13 a	0,14 a	0,16 a	0,18 a	0,15
0,40-0,60	0,06 a	0,06 a	0,06 a	0,05 a	0,07 a	0,07	0,22 a	0,17 a	0,22 a	0,21 a	0,22 a	0,21
Média	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08		0,17	0,15	0,17	0,17	0,19	

SSPI Leucena = Sistema Silvipastoril Intensivo com leucena; SSPI Tithonia = Sistema Silvipastoril Intensivo com tithonia; SSP = Sistema Silvipastoril; SR = Sistema de Pastejo Rotacionado; FF = Faixa Florestal. As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Carbono orgânico total (C) e estoque de carbono (EC)

O carbono orgânico total (C) do solo, variou entre 0,44 e 1,00 g kg⁻¹, contudo, não apresentou diferenças significativas entre tratamentos em nenhuma das camadas avaliadas (Tabela 2). Em todos os tratamentos foi constatada uma redução do carbono com aumento da profundidade.

O estoque de carbono no solo (EC) foi analisado nas mesmas camadas dos atributos físicos (0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m), e posteriormente, analisado em profundidades acumuladas (0,00-0,05 m, 0,0-0,40 m e 0,40-0,60 m), conforme a Tabela 2. O EC apresentou diferenças significativas entre os tratamentos somente na camada 0,40-0,60 m, sendo que no SSPI Tithonia o teor de EC (16,4 Mg ha⁻¹) foi significativamente maior do que no SR (13,7 Mg ha⁻¹). Os demais tratamentos não apresentaram diferenças entre si (Tabela 2). O estoque de carbono acumulado em profundidade não apresentou diferença significativa entre os sistemas avaliados.

Tabela 2 – Carbono orgânico do solo (C) e estoque de carbono (EC) em diferentes camadas de um Latossolo Amarelo Distrófico sob sistemas silvipastoris em 2020, no município de Iaras, Estado de São Paulo, Brasil.

Camada (m)	SSPI Leucena	SSPI Tithonia	SSP	SR	FF	SSPI Leucena	SSPI Tithonia	SSP	SR	FF
Carbono Orgânico Total (g kg⁻¹)						Estoque de Carbono (Mg ha⁻¹)				
0,00-0,05	0,96 a	0,95 a	0,96 a	0,95 a	1,00 a	6,26 a	6,16 a	6,25 a	6,16 a	5,85 a
0,05-0,10	0,92 a	0,93 a	0,79 a	0,98 a	0,82 a	6,36 a	6,41 a	5,46 a	6,74 a	5,63 a
0,10-0,20	0,69 a	0,66 a	0,65 a	0,71 a	0,66 a	11,6 a	11,1 a	10,9 a	11,8 a	11,1 a
0,20-0,40	0,52 a	0,52 a	0,51 a	0,47 a	0,52 a	17,9 a	18,0 a	17,7 a	16,3 a	18,2 a
0,40-0,60	0,47 a	0,52 a	0,48 a	0,44 a	0,48 a	14,7 ab	16,4 a	15,2 ab	13,7 b	15,0 ab
Média	0,71	0,72	0,68	0,71	0,70	11,37	11,64	11,11	10,95	11,16
Teor médio de carbono orgânico (g kg⁻¹)						Estoque de carbono (Mg ha⁻¹)				
0,00-0,05	0,94	0,92	0,93	0,93	0,93	6,26	6,23	6,25	6,15	5,84
0,00-0,40	0,75	0,75	0,75	0,77	0,72	42,11	41,73	40,32	41,06	40,83
0,00-0,60	0,69	0,70	0,70	0,70	0,67	56,82	58,18	55,54	54,74	55,81

SSPI Leucena = Sistema Silvipastoril Intensivo com leucena; SSPI Tithonia = Sistema Silvipastoril Intensivo com tithonia; SSP = Sistema Silvipastoril; SR = Sistema de Pastejo Rotacionado; FF = Faixa Florestal. As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

DISCUSSÕES:

A resistência do solo à penetração é um atributo que mede a resistência que o solo oferece à penetração de uma haste de aço, sendo muitas vezes comparado ao desenvolvimento das raízes. E, a densidade do solo é um indicador quantitativo relacionado a estrutura do solo, um aumento na densidade do solo resulta na diminuição da porosidade total, do arejamento e da condutividade hidráulica. Nos resultados obtidos, os maiores valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo foram obtidos nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m em todos os tratamentos (Tabela 1) e superaram os valores críticos de 2,0 MPa e 1,60 kg dm⁻³, respectivamente, para um solo arenoso de acordo com Reynolds et al. (2002). Os valores médios de resistência do solo à penetração para as camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m foram de 6,7 e 7,4 MPa, com correspondentes teores de água no solo de 0,08 e 0,09 kg¹ kg⁻¹. Os valores médios da densidade do solo diminuíram nas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,40-0,60 m e foi significativamente menor em relação às camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabela 1). Avaliando atributos físicos de solo Assis et al. (2019), observaram que a densidade do solo foi maior em pastagem degradada do que nos sistemas integrados de produção agropecuária.

A densidade do solo demonstra ser um dos principais indicadores da qualidade física do solo, para uma mesma classe de solo, sendo que maiores valores estão relacionados diretamente com a perda de estrutura, o que provoca a redução da macroporosidade (REICHARDT et al., 2003). A macroporosidade nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m apresentou menores valores médios (0,13 e 0,12 m³ m⁻³) quando comparada com as camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,40-0,60 m (0,17, 0,16 e 0,17 m³ m⁻³, respectivamente) (Tabela 1). Embora menores valores de macroporosidade foram obtidos nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, esse atributo do solo não foi comprometido, pois em todos os tratamentos os valores estão acima de 0,10 m³ m⁻³, sendo o valor mínimo crítico relatado na literatura como valor limitante para a correta aeração do solo, troca de gases e para o desenvolvimento do sistema radicular (BAVER et al., 1972; KOPI; DOUGLAS, 1991).

A partir dos resultados obtidos para os atributos físicos avaliados (densidade do solo, resistência do solo à penetração e macroporosidade), nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, verifica-se um estado de compactação geral na área de estudo para a camada de 0,10-0,40 m. Essa camada compactada pode ser atribuída à herança genética deste solo ou ao histórico de ocupação e manejo pelo cultivo de cana-de-açúcar na área. Segundo Reichardt et al. (2003), uma lotação animal de até 1.500 kg ha⁻¹ não foi capaz de provocar alterações na densidade do solo e na macroporosidade que provocasse restrição ao desenvolvimento radicular. Esse fato, pode explicar a ausência de aumento na densidade do solo e diminuição da macroporosidade nas camadas superficiais do solo nos sistemas de produção pecuária implantados na área experimental, pois a lotação anual média utilizada nesta pesquisa foi de 1.259,5 kg ha⁻¹, ou seja, menor que 1.500 kg ha⁻¹ relatado por Reichardt et al. (2003).

Entretanto, na faixa florestal (FF) houve mudança nos atributos físicos de densidade do solo, macroporosidade e resistência do solo à penetração (Tabela 1), resultando no menor valor médio de densidade do solo entre todos os tratamentos (1,56 kg dm⁻³). Em relação a macroporosidade, no tratamento FF também foi significativamente maior (0,17 m³ m⁻³) que no SSP e SR (0,14 e 0,15 m³ m⁻³, respectivamente). A resistência do solo à penetração na faixa florestal (2,9 MPa) também foi significativamente menor que a dos demais sistemas avaliados. As mudanças dos atributos físicos do solo na faixa florestal podem ser explicadas por uma subsolagem feita na linha de plantio das árvores em 2018, durante o estabelecimento do experimento. A literatura indica que os efeitos da descompactação do solo são temporários, que após a operação de subsolagem o solo volta a se rearranjar e compacta novamente (HAKANSSON; REEDER, 1994; BUSSCHER et al., 2002), o efeito de melhoria dos atributos densidade do solo, macroporosidade e resistência do solo à penetração na faixa florestal têm perdurado após dois anos de condução dos sistemas avaliados.

Maiores valores de Estoque de Carbono (EC) nas camadas mais profundas de solo (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) em relação às camadas mais superficiais (Tabela 2), são atribuídos à maior massa de solo usada no cálculo do EC, sendo que as duas camadas mais profundas, apresentam espessura de 0,20 m, enquanto que a espessura das camadas superficiais (0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) foi de 0,05 m, 0,05 m e 0,10 m respectivamente, portanto, quanto maior a espessura maior o EC (BAYER et al., 2000).

Considerando a mesma espessura das camadas do solo analisado para o cálculo de EC nas camadas profundas e superficiais, o EC seria maior nas camadas superficiais. Sendo que os teores de carbono médios (C) nas camadas superficiais foram significativamente maiores em relação às camadas mais profundas, 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (0,96, 0,89 e 0,67 g kg⁻¹, respectivamente) e 0,20-0,40 e 0,40-0,60 (0,51 e 0,48 g kg⁻¹, respectivamente) (Tabela 2). Esses resultados corroboram os obtidos por Freitas et al. (2018) ao encontrarem também maiores teores de carbono orgânico total nas camadas superficiais com diminuição conforme aumenta a profundidade.

Diversos fatores interferem na dinâmica do carbono no solo, como: desenho do sistema de produção e manejo, condições de solo e clima, tempo de permanência do sistema na área (CARVALHO et al., 2010). No caso dos Sistemas Silvopastoris Intensivos (SSPI com leucena e tithonia), o próprio consórcio entre gramíneas e arbustos e/ou gramíneas e arbustos leguminosos, como é o caso do SSPI com leucena, em manejo rotacionado, podem ter tido impacto positivo no incremento médio de carbono destes sistemas.

Neste estudo, embora existiram algumas diferenças nos atributos avaliados entre os sistemas, estas não foram tão expressivas quanto era esperado, isto pode ser devido ao manejo rotacionado de pastejo nos diferentes tratamentos.

De acordo com Albuquerque et al. (2001) quando a carga animal é manejada adequadamente, as alterações nos atributos físicos são minimizadas e não causam qualquer dano à pastagem ou culturas subsequentes. Não obstante, espera-se que conforme aumento do tempo de implantação destes sistemas, o componente florestal e os consórcios dos sistemas silvipastoris possam refletir ainda mais as vantagens na melhoria da qualidade física do solo.

CONCLUSÕES:

Os sistemas silvipastoris em consórcio de gramíneas com forrageiras arbustivas, SSPI com leucena e tithonia e faixa florestal, em comparação com o sistema produtivo de gramínea sem consórcio, apresentaram menores valores a densidade de solo e resistência do solo à penetração, entretanto, maiores valores em relação a macroporosidade.

O trabalho de subsolagem relacionado ao plantio de árvores na faixa florestal melhorou expressivamente os atributos físicos do solo obtendo redução da densidade do solo e da resistência do solo à penetração e incremento da macroporosidade. Os sistemas de produção pecuária estudados não apresentaram diferença significativa no armazenamento de carbono, o que pode ser devido ao curto tempo de implementação do experimento, portanto, recomenda-se que estudos a longo prazo sejam conduzidos.

BIBLIOGRAFIA

- ABIEC. Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report. **Perfil da Pecuária no Brasil**. <<http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>>. Acesso em: 05 de ago. 2021.
- ABIEC. Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carne. **Perfil da Pecuária Brasileira**. 2020, 50 p.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.717-723, 2001.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v.12, n.1, p.57-70, 2019.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. New York: John Wiley & Sons, 1972. 498 p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C., MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.54, n.1-2, p.101-109, 2000.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J.R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v.68, n.1, p.49-57, 2002.
- CALEGARIO, A. T.; PEREIRA, L. F.; PEREIRA, S. B.; SILVA, L. N. O.; ARAÚJO, U. L.; FERNADES FILHO, E. I. Mapping and characterization of intensity in land use by pasture using remote sensing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.5, p.352-358, 2019.
- CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.110, n.1, p.175-186, 2010.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402).
- FREITAS, L.; OLIVEIRA I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de Lasossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v.28, n.1, p.228-239, 2018.
- HAKANSSON, I.; REEDER, R.C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. **Soil Tillage Research**, v.29, n.2-3, p.277-304, 1994.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil, escala 1:5:000.000**. 3 Ed., 2004.
- KOPI, A. J.; DOUGLAS, J. T. A rapid, inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. **Soil use and management**, v.7, n.1, p.52-56, 1991.
- REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; BASANTA, M. V.; CAVALCANTE, L. F.; TERUEL, D. A.; BACCHI, SANTOS, O. O.; TOMINAGA, T. T.; CERRI, C. C.; TRIVELIN, P. C. O. **Management of crop residues for sustainable crop production**. IAEA-TECDOC, v.1354, p.149-169, 2003.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, n.1-2, p.131-146, 2002.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2018. 353 p.
- STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.3, p.774-782, 2014.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª Edição Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.