

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CAMPUS OESTE – SEDE SÃO LUÍS DE MONTES BELOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL E FORRAGICULTURA
MESTRADO PROFISSIONAL

LARISSA DA LUZ SILVA

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

São Luís de Montes Belos
2023

LARISSA DA LUZ SILVA

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual de Goiás,
Campus Oeste São Luís de Montes
Belos, para obtenção do título de
Mestre em Produção Animal e
Forragicultura.

Área de Concentração: Zootecnia

Linha de Pesquisa: Produção e Avaliação de Forrageiras

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Aparecida Ribon

Co-orientadora: Profa. Dra. Clarice Backes

São Luís de Montes Belos
2023

LARISSA DA LUZ SILVA

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás, Campus Oeste São Luís de Montes Belos, para obtenção do título de Mestre em Produção Animal e Forragicultura.

Aprovado em:

Banca Examinadora



Prof. Dra. Adriana Aparecida Ribon

Orientadora



Prof. Dr. Alessandro José Marques Santos – UEG

Membro



Prof. Dr. João Tavares Filho – UEL

Membro

“Sem a direção dada por Deus, a conclusão desta pesquisa não seria possível. Por causa disso, dedico esta dissertação a Ele. Com muita gratidão no coração.”

AGRADECIMENTOS

Á Deus primeiramente pela oportunidade, por me conceder saúde, animo e entusiasmo, sem Ele a força não viria.

Á meu Esposo José Willker, a minha mãe Auxiliadora, á meu pai Antonio, á meu irmão Leandro, a minha sogra Silvani, meu sogro Remilton, á meus avós Lino, Maria e Dídima, á minhas cunhadas Adriana e Andressa, a meu cunhado Welison, as orações e palavras motivacionais de vocês foram essenciais para avançar neste objetivo.

Á minha orientadora Dra. Adriana Ribon, pela paciência e disponibilidade em cooperar na elaboração, desenvolvimento e conclusão deste estudo.

Á minha Co-orientadora Dra. Clarice Backes, pelo empenho, pela prontidão em me auxiliar, pelo profissionalismo e dedicação inspiradores que pretendo seguir, pois me alcançaram por seu procedimento e exemplo.

Á Universidade Estadual de Goiás pela oportunidade de retomar os estudos em pós-graduação, permitindo agregar conhecimento e aperfeiçoar minha capacidade acadêmica.

Á meus professores do PPGPAF, pelo conhecimento compartilhado, pela inspiração transmitida, e pelas experiências trocadas.

Á meus amigos de fé cristã, pelas orações, apoio e incentivo vocês são incríveis.

Á todos que me apoiaram, com palavras, atitudes de carinho e encorajamento contar com aqueles que torcem por você e te apoiam sem interesse não tem preço, obrigada.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para densidade do solo (Ds) com agrupamento profundidade de coleta.....	58
Tabela 2. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para densidade do solo (Ds) com os sistemas de manejos.59	
Tabela 3. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para macroporosidade com agrupamento profundidade de coleta.....	62
Tabela 4. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para microporosidade com agrupamento profundidade de coleta.....	65
Tabela 5. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para porosidade total com agrupamento profundidade de coleta.....	66
Tabela 6. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para porosidade total com os sistemas de manejos	67
Tabela 7. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para resistência do solo à penetração de raízes (RSP) com agrupamento profundidade de coleta.....	70
Tabela 8. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para umidade gravimétrica com agrupamento profundidade de coleta.....	72
Tabela 9. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para umidade gravimétrica com os sistemas de manejos. .	73
Tabela 10. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para agregados com agrupamento profundidade de coleta.75	
Tabela 11. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para agregados com os sistemas de manejos.....	76
Tabela 12. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para matéria orgânica do solo (MOS) com agrupamento profundidade de coleta.....	79
Tabela 13. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para matéria orgânica do solo (MOS) com os sistemas de manejos.....	79

Tabela 14. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para estoque de carbono no solo com agrupamento profundidade de coleta.....	82
Tabela 15. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para estoque de carbono no solo com os sistemas de manejos.....	83
Tabela 16. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para carbono orgânico total com agrupamento profundidade de coleta.....	85
Tabela 17. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para carbono orgânico total com os sistemas de manejos.	86
Tabela 18. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para produtividade de forrageira com os sistemas de manejos.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas do fluxograma para realização deste estudo.....	57
Figura 2. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: Floresta.....	59
Figura 3. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: ILP	60
Figura 4. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: ILPF	61
Figura 5. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem	61
Figura 6. Modelo de meta-análise para macroporosidade	62
Figura 7. Modelo de meta-análise para macroporosidade com sistema de manejo: ILP	63
Figura 8. Modelo de meta-análise para macroporosidade com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem	63
Figura 9. Modelo de meta-análise para microporosidade.....	64
Figura 10. Modelo de meta-análise para microporosidade com sistema de manejo: ILP	65
Figura 11. Modelo de meta-análise para microporosidade com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem	66
Figura 12. Modelo de meta-análise para porosidade total no grupo: Floresta.....	67
Figura 13. Modelo de meta-análise para porosidade total com sistema de manejo: ILP.....	68
Figura 14. Modelo de meta-análise para porosidade total com sistema de manejo: ILPF.....	68
Figura 15. Modelo de meta-análise para porosidade total com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.	69
Figura 16. Modelo de meta-análise para resistência do solo à penetração de raízes com sistema de manejo: sistema convencional de produção de pastagem.	70
Figura 17. Modelo de meta-análise para resistência do solo à penetração de raízes com sistema de manejo: Floresta.	71

Figura 18. Modelo de meta-análise para umidade gravimétrica geral.	72
Figura 19. Modelo de meta-análise para Umidade Gravimétrica com sistema de manejo: Floresta.....	73
Figura 20. Modelo de meta-análise para umidade gravimétrica com sistema de manejo: ILP.	74
Figura 21. Modelo de meta-análise para umidade gravimétrica com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.	74
Figura 22. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: Floresta.	76
Figura 23. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: ILP.	77
Figura 24. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: ILPF.....	77
Figura 25. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.	78
Figura 26. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: Floresta.	80
Figura 27. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: ILPF.....	81
Figura 28. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.	81
Figura 29. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo geral.	82
Figura 30. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo com Sistema de manejo: ILP.	83
Figura 31. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo com sistema de manejo: sistema convencional de produção de pastagem.	84
Figura 32. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total geral.	84
Figura 33. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com agrupamento profundidade de coleta.	85
Figura 34. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: ILP.	86

Figura 35. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem. 87

Figura 36. Modelo de meta-análise para produtividade de forrageira com sistema de manejo: ILP. 88

Figura 37. Modelo de meta-análise para produtividade de forrageira com sistema de manejo: ILPF. 89

Figura 38. Modelo de meta-análise para produtividade de forrageira com sistema de manejo: sistema convencional de produção de pastagem. 90

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
COT	Carbono orgânico total
DMP	Diâmetro médio ponderado
Ds	Densidade do solo
g	Grama
g g ⁻¹	Grama por grama
g kg ⁻¹	Grama por quilograma
l ²	l-quadrado
IC	Intervalo de confiança
ILP	integração-Lavoura-Pecuária
ILPF	integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Inf.	Inferior
kg dm ⁻³	Quilograma por decímetro cúbico
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
m ⁻³ m ⁻³	Metro cúbico por metro cúbico
MOS	Matéria orgânica do solo
MPa	Mega pascal
RSP	Resistência do solo à penetração
SAFs	Sistemas Agroflorestais
Sup.	Superior
UG	Umidade Gravimétrica

RESUMO

A utilização de sistemas de produção que viabilizem e potencializem a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é uma prática que permitirá atingir formas de manejo mais sustentáveis e sobretudo, menos danosas ao meio ambiente. A qualidade física do solo relaciona-se profundamente com a sustentabilidade dos sistemas agropecuários, deste modo sua avaliação necessita ser feita empregando indicadores que possibilitem reproduzir sua atuação conforme o uso e manejo do solo. Muitos atributos precisam ser mensurados para determinar como o manejo atua nas propriedades do solo, da mesma forma, como se relacionam com a planta, dos quais os indicadores físicos mais frequentemente usados são: composição granulométrica, densidade, porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração, infiltração, capacidade de retenção de água. Estudos sistemáticos permitem mensurar e aferir novas conclusões sobre manejos de produção de pastagens, através de resultados de pesquisas primárias. Objetivou-se com este estudo realizar uma revisão sistemática com meta-análise, com base nos diferentes manejos (ILPF, ILP e sistema convencional de produção de pastagem) adotados para a produção forrageira e analisar como esses usos do solo interferem em sua qualidade, assim como essas correlações refletem na produtividade da pastagem. Foi possível notar resultados positivos, para o emprego dos sistemas conservacionistas do solo para produção de pastagem, os quais contribuí favoravelmente para conservação, preservação e manutenção da qualidade física do solo, contudo notou-se desfechos positivos para o sistema convencional de produção de pastagem, sugerindo que: ou nos últimos dez anos a forma de produzir pastagem, sofreu alterações positivas, ou que os sistemas integrados de produção requer melhor acompanhamento técnico, que priorizem a melhor forma de execução deste sistema, pois acredita-se que seus resultados são positivos, promissores e incontestáveis.

Palavras-chave: Atributos. Evidência. Manejo. Pastagem. Produção.

SUMMARY

The use of production systems that enable and enhance the conservation of the physical, chemical and biological properties of the soil is a practice that will allow achieving more sustainable forms of management and, above all, less harmful to the environment. The physical quality of the soil is deeply related to the sustainability of agricultural systems, so its evaluation needs to be done using indicators that make it possible to reproduce its performance according to the use and management of the soil. Many attributes need to be measured to determine how management acts on soil properties, as well as how they relate to the plant, of which the most frequently used physical indicators are: granulometric composition, density, porosity, stability of aggregates, resistance to penetration, infiltration, water holding capacity. Systematic studies make it possible to measure and assess new conclusions about pasture production management, through the results of primary research. The aim of this study was to carry out a systematic review with meta-analysis, based on the different management practices (ILPF, ILP and conventional pasture production system) adopted for forage production and to analyze how these soil uses interfere with its quality, as well as how these correlations reflect on pasture productivity. It was possible to notice positive results for the use of soil conservation systems for pasture production, which favorably contributes to the conservation, preservation and maintenance of the physical quality of the soil, however, positive outcomes were noted for the conventional pasture production system, suggesting that: either in the last ten years the way of producing pasture has undergone positive changes, or that integrated production systems require better technical monitoring, which prioritize the best way of implementing this system, as it is believed that its results are positive, promising and indisputable.

Key-words: Attributes. Evidence. Management. Pasture. Production.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	15
Sistemas integrados de produção agrícola	16
Produtividade das pastagens.....	18
Qualidade física do solo	20
Densidade do solo	21
Resistência do solo à penetração e Umidade gravimétrica	23
Porosidade total	25
Agregados do solo.....	27
Matéria orgânica do solo	28
Estoque de Carbono	31
Carbono orgânico total.....	33
O carbono orgânico total (COT).....	33
Revisão Sistemática e Meta-análise	34
REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO 2- DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE*	53
Resumo	53
Abstract.....	53
Introdução.....	54
Resultados e Discussão	57
Conclusões	90
Referências Bibliográficas	91
CAPÍTULO 3- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

As formas de manejo empregadas sob o solo geram modificações em seus atributos físicos, químicos e biológicos, tornando acentuada a perda da qualidade e prejudicando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (NIERO et al., 2010).

O elevado índice de degradação dos solos tem induzido a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, as quais oportunizam aliar à produção agropecuária a preservação do solo, da água e da biodiversidade (GARCIA e ROSOLEM, 2010).

Neste contexto, a utilização de sistemas de produção que viabilizem e potencializem a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é uma prática que permitirá empregar formas de manejo mais sustentáveis e sobretudo, menos nocivas ao meio ambiente como um todo (SALES, et al., 2015).

Os sistemas conservacionistas de manejo do solo, como a integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), estão vinculados a produção sustentável de alimentos, uma vez que, apresenta resultados positivos no que diz respeito a viabilidade econômica, social e ambiental (ASSIS, et al., 2015).

Entretanto, práticas não conservacionistas do solo e superlotação de animais são atividades responsáveis por vários problemas, como compactação do solo acarretando redução dos macros e microporos resultando em menor drenagem da água no perfil do solo, diminuindo a circulação do oxigênio no solo (RUSELL e BISINGER, 2015).

A falta de emprego de práticas conservacionistas, manejo do solo e pastagens são as principais causas que aceleram a degradação das pastagens, bem como a ausência de orientação profissional adequada. (LAL, 2012). A adoção de uma única espécie de forrageira para formação de pastagem é outro ponto negativo, e colaborador para degradação do sistema produtivo agropecuário (DIAS-FILHO, 2012).

O monitoramento da qualidade do solo através dos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois indicam a que nível a qualidade física do solo se encontra. Diversos atributos físicos vêm sendo utilizados para determinar alterações

provocadas pelas diferentes práticas de manejo, como indicadores da qualidade do solo, entre eles a densidade do solo, a porosidade total e suas frações granulométricas, que estão diretamente associados à produtividade de culturas (SALES, et al., 2015).

Bonini et al. (2011) notaram o aumento dos níveis de matéria orgânica e a otimização da qualidade física do solo pela prática de manejo do sistema ILPF, em áreas agrícolas com teores ideais de fertilidade do solo, demonstrando o potencial desta prática de manejo em diminuir não só o efeito ambiental das atividades produtivas, quanto minimizar as emissões de gases do efeito estufa, potencializando o uso da água e nutrientes do solo. De acordo com Loss et al. (2012), nas áreas com sistemas integrados de cultivo a qualidade do solo é superior em relação às áreas com monocultivo.

No que diz respeito a produtividade da pastagem a biomassa produzida é resultado da oferta disponível de elementos do meio como radiação e a temperatura, que variam conforme disponibilidade elementos manejáveis, que são essencialmente água e nutrientes (BARUCH e GUENNI, 2007; KALLENBACH et al., 2006; PACIULLO et al., 2007; SOUSA, 2007).

Sabendo que o entendimento de como os manejos adotados para produção e condução das pastagens são essenciais para identificar as correlações com os atributos físicos solo, podendo deste modo mensurar e aferir novas conclusões a metodologia de revisão sistemática e meta-análise é uma técnica que pode auxiliar desta determinação, visto que trata-se de um procedimento rigoroso e sistemático que compõe ou considera resultados de estudos primários (MANCINI et al., 2014). A técnica de meta-análise emprega métodos estatísticos a uma revisão, a qual tem por finalidade extrair um resultado complementar aos dados preexistente, via união de resultados de diferentes trabalhos da mesma temática (ROEVER, 2020).

Sistemas integrados de produção agrícola

A prática de manejo de sistemas integrados de produção como a integração-Lavoura-Pecuária (ILP), teve início no Brasil nos anos 90, período em que estudos direcionados a física do solo, atestavam importantes problemas

ambientais oriundos do uso intensivo de máquinas (CORREA e REICHARDT, 1995).

Por definição, o manejo sob sistema de ILP se fundamenta pela alternância entre a produção de grãos e pastejo de animais em uma mesma área, esta forma de manejo oportuniza a diversificação da produção, levando a rotação de culturas e ciclagem de nutrientes (KUNZ et al., 2013).

Diante disso, o uso de forrageiras perenes em sistemas de produção agrícolas conduzidos de modo rotacionado pode gerar benefícios a qualidade física do solo (MARCHÃO et al., 2007), e desse modo, recuperar áreas de pastagens degradadas, justamente por oferecer maior contribuição de resíduos vegetais, elevado teor de água no solo e diversidade microbiológica (SANTOS et al., 2011).

A ILPF também é uma prática de produção agrícola sustentável, que integraliza atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais desenvolvidas em uma mesma área, sob cultivo consorciado em rotação ou sucessão, e busca efeitos coletivos entre os componentes do agroecossistema (BRASIL, 2012).

Conforme Brasil (2012) a ILPF e os Sistemas Agroflorestais (SAFs) operam como recuperadores de áreas degradadas, mantem e recompõe a cobertura florestal, promove incremento de emprego e renda, otimização das práticas agropecuárias, e o enquadramento das unidades produtivas a legislação ambiental.

Os benefícios da ILPF sobre diferentes atributos do solo têm sido mostrados em vários estudos (BONINI et al. 2011; LOSS et al., 2014; SILVA et al., 2016b).

Já os sistemas Silvipastoris (SSP) se fundamentam pela combinação de animais, árvores e pastagem, numa mesma área, no mesmo momento, conduzidos de forma integrada, com vistas a incrementar a produtividade por unidade área. Gera sustentabilidade do sistema através da ciclagem de nutrientes, conservação do solo e da água, e ainda permite a melhoria das características físicas, químicas e fomento da ação biológica na superfície do solo, e ainda promove aos animais conforto térmico (LEME et al., 2005).

Contudo, quando áreas são agrupadas no processo produtivo, os atributos físicos e químicos do solo sofrem alterações, cuja intensidade varia conforme as

condições climáticas, natureza do solo, uso e manejo aplicado, como o tráfego de máquinas, sendo este responsável pela compactação, modificando significativamente a qualidade estrutural do solo (OLIVEIRA et al., 2013).

Neste contexto, manter a qualidade do solo, ou mesmo obter benefícios através de sistemas de produção sustentáveis, torna-se essencial para aumentar a segurança alimentar e nutricional sem comprometer o equilíbrio entre as condições químicas, físicas e biológicas do solo (SANTOS et al., 2019; COSTA e DRESCHER, 2018).

Produtividade das pastagens

A produtividade das pastagens brasileiras é baixa, o que advém em certa medida do modo extrativista e pouco tecnificado da exploração em que se encontram os sistemas de produção atual. Sendo assim, a busca por pastagens adequadamente manejadas vem aumentando nos últimos anos, e conseqüentemente, a preservação e otimização da fertilidade do solo encontra-se como razão auxiliar a essa forma de atividade produtiva, as quais envolve custos. Esses custos, que são na realidade investimentos, objetivam o adequado manejo das pastagens que compreende o controle e pragas, aquisição de sementes e emprego de fertilizantes (VANALLI, 2010).

Aspectos relacionados ao ambiente e manejo apresentam significativa influencia sob a produção de forragem. Estão entre os aspectos ambientais, a luminosidade, temperatura e disponibilidade de água influenciando na formação e desenvolvimento das plantas. Assim sendo, modificações no ambiente sempre acarretará em alterações na oferta e qualidade da pastagem. Outro aspecto importante e limitador na produção e qualidade da pastagem é a adubação em especial a nitrogenada, sendo o nitrogênio o mais deficiente nos solos, com alta importância na produção das culturas forrageiras, sobretudo em gramíneas tropicais (CHAGAS et al., 2017).

Em estudo realizado por Silveira et al. (2012) com objetivo de determinar a produtividade das forrageiras de inverno utilizando adubação nitrogenada, com dosagem de 150 kg ha⁻¹, detectaram que o pastejo e adubação nitrogenada da cultura forrageira de inverno como a aveia, centeio e o azevém demonstraram

maior produtividade, sobretudo em áreas com maior pastejo e no período do inverno, e que a mesma contribui na produção de massa seca residual das plantas mencionadas, ao passo que os tratamentos que não receberam adubação nitrogenada a produção de massa seca e produtividade foi menor.

Costa et al. (2016) estudaram o processo de desenvolvimento e produtividade da forragem de *Trachypogon plumosus* sobre níveis de correção da fertilidade do solo e de idades de rebrota. De acordo com os autores, essa gramínea possui retorno positivo as ações de fertilidade do solo, tal como a idade de rebrota influencia negativamente na produtividade do capim. Eles também concluíram que práticas de correção e adubação do solo diminui o período de recuperação do mesmo, corroborando com Trindade et al. (2018) que detectaram o acréscimo de produção e qualidade do capim elefante conforme se realizava a adubação. Em vista disso o desenvolvimento das espécies de capim é reagente ao uso de melhores formas de manejo e empregos de insumos.

Em sistemas integrados a quantidade e qualidade da forragem é favorecida conforme seleção de espécie a ser implantada em uma área (SILVA et al., 2008). Neste sentido, o componente florestal pode gerar vantagens aos sistemas integrados pelo incremento no conteúdo de nitrogênio da gramínea forrageira sombreada oportunizando maiores ganhos por animal. Contudo o crescimento da pastagem pode ser limitado não somente pela condição elevada de sombreamento, mas ainda como em sistemas tradicionais pelo menor teor de umidade do solo e disponibilidade de nutrientes, essencialmente o nitrogênio (ALMEIDA et al., 2012).

O sombreamento acarreta alterações morfológicas nas plantas entres quais se destacam a parte área, comprimento, espessura e orientação da lâmina foliar, comprimento de colmo, número de folhas e relação folha/colmo (GARCIA et al., 2010).

Santos (2011) estudando sistemas de ILPF com dois arranjos espaciais 14 e 22 m e densidade de 357 e 227 árvores de eucalipto ha⁻¹, respectivamente, após 12 meses de instalação no primeiro ciclo de pastejo, não observaram redução na massa seca de pastagem com até 43% de sombreamento. Contudo Beling Neto (2012) na mesma área, experimental, após 24 meses de implantação, observou que os locais próximos as fileiras das árvores apresentaram menor

altura de dossel e disponibilidade de pastagem com menor valor nutritivo.

Souza et al. (2019) avaliando os tratamentos integração lavoura-pecuária (ILP); sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto (ILPF 1L); sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto (ILPF 3L); e plantio exclusivo de eucalipto (bosque) observaram que os tratamentos mostraram diferenças estatísticas para produção de forragem, sendo a maior produção verificada no tratamento ILP.

Reis et al. (2013), estudando a produção do capim marandu sob distintas porcentagens (0, 47, 53 e 66%) de sombreamento (por meio de tela de náilon), concluíram que a produção de capim respondeu negativamente ao sombreamento igualmente a qualidade e a quantidade de proteína na pastagem.

Qualidade física do solo

A qualidade do solo relaciona-se com a sustentabilidade dos sistemas agropecuários, deste modo sua avaliação necessita ser feita empregando indicadores que possibilitem reproduzir sua atuação conforme o uso e manejo do solo (PEREIRA et al., 2011).

Neste sentido, a avaliação da qualidade do solo é essencial selecionar os indicadores e modelos para determinar os impactos ambientais gerados (LEGAZ et al., 2017). Os parâmetros que indicam a qualidade do solo podem ser divididos em: atributos físicos (CRITTENDEN et al., 2015), químicos (CHERUBIN et al., 2015), biológicos (GARBUSU et al., 2011) e adicionalmente, os atributos visuais do solo (GUIMARÃES et al., 2013).

Conforme Araújo et al. (2012) as modificações na qualidade dos solos, em sua maioria são determinadas através da estimativa de indicadores, confrontando com valores desejáveis (Limite crítico ou *threshold level*) sob distintos intervalos de tempo, típicos para ecossistemas naturais, florestais, agrícolas e pecuários.

A determinação da qualidade do solo é algo complexo, necessitando ser alcançada em razão de inúmeros indicadores característicos denominados atributos, assim como suas correlações, intencionando retratar o acréscimo ou a redução da aptidão produtiva de um determinado tipo de solo (SANTOS, 2010).

Muitos atributos precisam ser mensurados para determinar como o manejo

atua nas propriedades do solo, da mesma forma como se relaciona com a planta (LOSS et al, 2017), dos quais os indicadores físicos mais frequentemente usados são: composição granulométrica, densidade, porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração, infiltração, capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2012). Estes indicadores dizem respeito a atributos mensuráveis do solo, que desempenham influência sobre a aptidão do solo em suportar a atividade agrícola ou outras funções ambientais, ressaltando atributos mais sensíveis as modificações pelo manejo de solo (NASCIMENTO et al., 2017).

O uso dos sistemas integrados de produção é tido como um caminho que oferta muitas vantagens na perspectiva de melhoria do estado condicional físico, químico e biológico do solo, elevando a ciclagem e a eficácia do uso de nutrientes, além da possibilidade de recuperação das áreas que apresentam pastagens em estado de degradação (ALVARENGA et al., 2010).

As vantagens da qualidade do solo oferecida pelos sistemas integrados estão associadas a cobertura e enriquecimento do solo, através do depósito de densa camada de material orgânico, marcada pela constante queda das folhas e ramos que auxiliam na ciclagem de nutrientes (BALBINO et al., 2011). Essa qualidade física do solo encontra-se vinculada a aptidão que o mesmo apresenta em proporcionar o desenvolvimento as plantas sem que aconteça sua degradação (LLANILLO et al., 2013).

Carvalho et al. (2016) e Sales et al. (2017) corroboram que os sistemas integrados de produção agrícola otimizam a qualidade física do solo, ao elevar a macroporosidade, em pastagem, e a microporosidade em todas as profundidades estudadas, e ainda reduzir a densidade do solo na camada superficial.

Bono et al. (2012) ao analisarem o solo sob sistema de ILP, monocultivo de grãos e pastagem, e observaram que o manejo integrado possui velocidade de infiltração básica e acrescida de água no solo mais semelhantes aos observados em mata nativa. Resultados semelhantes da avaliação de atributos físicos do solo em sistemas integrados concordam com estes pesquisadores (SALES et al., 2017; ASSIS et al., 2015; SILVA, G. F., et al., 2015).

Densidade do solo

A densidade (D_s) é um atributo físico de grande importância, conhecido ainda como densidade aparente. É associada a estrutura do solo, visto que, esta é uma função do arranjo e orientação do solo, bem como da quantidade e geometria dos espaços porosos. A textura do solo é outro atributo que se relacionada com a D_s , contudo ainda não há consenso sobre nível crítico, no qual o solo é tido como compactado. Os elevados níveis de densidade no solo afetam o desenvolvimento dos vegetais, gerando o aumento da resistência mecânica à penetração das raízes, limitando a translocação da água, nutrientes e gases (SANCHEZ et al., 2014).

Conforme Klein (2014) a definição de valores críticos de densidade do solo para o desenvolvimento das plantas é muito complexa, visto que é dependente da textura e teor de matéria orgânica, onde a densidade relativa, que é a relação entre a densidade do solo obtida pelo ensaio de Proctor, determinam um parâmetro capaz de padronizar e balizar os limites críticos.

Os valores críticos observados para solos arenosos que frequentemente tem sido relatado são entre 1,35 a 1,85 $Mg\ m^{-3}$, já para solos argilosos os valores encontrados estão na faixa de 1,30 a 1,40 $Mg\ m^{-3}$ (SALES et al., 2015; SILVA et al., 2011; REICHERT et al., 2009) e entre 1,40 a 1,50 $Mg\ m^{-3}$ para os solos franco-argilosos (REICHERT et al. 2007).

Estudo realizado por Silva et al. (2016a) afirmam que uma área de LATOSSOLO AMARELO de textura argilosa sob sistema de ILPF com a componente arbóreo Paricá (*Schizolobium amazonicum*), sob dois anos de cultivo não afetou negativamente a D_s , sendo os valores observados nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, foram de 1,05 $kg\ dm^{-3}$, 1,17 $kg\ dm^{-3}$, 1,25 $kg\ dm^{-3}$ e 1,21 $kg\ dm^{-3}$, respectivamente, a ponto de não tornar superior ao nível crítico de 1,40 a 1,80 $kg\ dm^{-3}$ sugerido por Reinert et al. (2009), e ainda observaram acréscimo de carbono orgânico do solo, quando correlacionado com mata nativa, sendo assim recomendado esta prática de manejo na recuperação de áreas degradadas.

Enquanto que, Souza et al. (2019) ao avaliarem solo de textura média arenosa sob sistema de iLP, ILPF com 1 e 3 linhas de eucalipto e bosque com exclusivo plantio de eucalipto, identificaram que o sistema de ILPF com uma linha de eucalipto, sob distâncias de coletas de amostra de solo de: 0, 2, 4, 6, 8 e 10

metros, apresentaram densidade de $1,57 \text{ kg.dm}^{-3}$, $1,55 \text{ kg.dm}^{-3}$, $1,45 \text{ kg. dm}^{-3}$, $1,54 \text{ kg. dm}^{-3}$, $1,61 \text{ kg. dm}^{-3}$, e $1,65 \text{ kg. dm}^{-3}$ respectivamente, estes resultados se mostraram acima do considerado ideal por Kiehl (1979) para densidade do solo, sendo este na faixa de $1,25$ a $1,40 \text{ kg. dm}^{-3}$ para solos com textura média arenosa.

Resistência do solo à penetração e Umidade gravimétrica

A resistência do solo à penetração (RSP) é uma propriedade física do solo que revela o grau de compactação e, por consequência, a capacidade de penetração das raízes no solo (RIBON et al., 2003). Neste sentido, RSP constitui uma das variáveis mais consideradas na mensuração da compactação do solo (BOTTEGA et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2011; MION et al., 2012). Ressalta-se ainda, que a umidade do solo, teor de matéria orgânica e textura apresentam relação direta com a RSP (OLIVEIRA et al., 2015).

No que diz respeito a umidade do solo, esta mostra-se como um importante parâmetro na determinação da RSP, visto que há uma grande dependência dos resultados observados relacionando-se ao conteúdo de água presente no solo (RIBON et al., 2003). Neste sentido, a avaliação da umidade no momento da determinação da RSP é essencial para realizar adequadamente a análise dos resultados (BONINI e ALVES, 2012).

Para mensurar esta propriedade física utiliza-se a técnica de penetrometria. Essa metodologia faz uso de um instrumento conhecido por penetrômetro, que identifica a que profundidade as camadas de solo estão adensadas naturalmente ou compactadas devido ao inadequado manejo do solo (CARVALHO A. P. V., et al., 2012).

Estudos apresentam, valor crítico da resistência à penetração, de 2 MPa (TORMENA et al., 1999; IMHOFF et al., 2000; MORAES et al., 2014) inferindo no desenvolvimento radicular, e conseqüentemente no crescimento das plantas, em diferentes sistemas de manejo. Contudo, Lipiec e Hatano (2003) observaram que valores de RSP variando de 1 a $1,7 \text{ MPa}$ começam a limitar o crescimento do sistema radicular, e que valores entre 3 e 4 MPa causam paralisação do

crescimento das raízes. Canarache (1990) sugeriu que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas.

Dedecek e Gava (2005) consideram, por exemplo, RSP acima de 3 MPa como valor crítico para o sistema radicular do eucalipto, valor que corrobora com ensaios realizados com espécies florestais por Greacen e Sands (1980). Como se pode verificar, é notório uma grande amplitude de valores de resistência mecânica do solo à penetração os quais consideram críticos ao desenvolvimento de raízes; então, o valor de 2,0 MPa tem sido aceito como o limite crítico de resistência mecânica do solo à penetração (TAYLOR et al., 1966; NESMITH et al., 1987; TORMENA et al., 1999; IMHOFF et al. 2000; ARSHAD et al. 1996; MORAES et al., 2014).

Santos et al. (2015) ao estudarem a resistência do solo à penetração em diferentes tipos de cultura (Forragem, Girassol, Milho e Sorgo) e mata nativa nas condições do bioma cerrado, considerando como 2,0 MPa o limite crítico para a RSP, observaram que as camadas 0-10 até 30-40 cm apresentaram valores superiores ao limite crítico, portanto sendo considerado impeditivo ao sistema radicular das culturas avaliadas.

Schiavo e Colodro (2012) ao analisaram a RSP, em áreas de pastagem, cerrado e ILP, detectaram que o manejo integrado diminui os valores de RSP quando comparado as áreas de pastagem.

Contudo, Alves et al. (2017) estudando pastejo rotacionado, pastagem contínua, ILP, ILPF, e cerrado nativo, verificaram elevados valores de RSP em todos os tratamentos, que podem estar relacionados aos efeitos de manejos, e ainda às características pedogenéticas do solo.

Santana et al. (2018) observaram que as camadas superficiais do solo até a profundidade de 40 cm sob pastagem convencional apresentou valores de RSP abaixo do valor crítico de 2 MPa, quando comparado ao sistema de ILPF, isso é justificado pela maior umidade presente neste sistema de manejo, já que no sistema integrado essa propriedade física do solo, nessa camada, tende a ser menor devido ao consumo de água pelas plantas, resultados semelhantes foram encontrados avaliando sistema ILPF, atestando que quando há uma baixa umidade no solo a RSP é maior (LIMA et al., 2010). Bayat et al. (2017) afirmam

que, além da dependência de fatores intrínsecos do solo, como textura, estrutura, mineralogia, a RSP é diretamente influenciada pela umidade do solo.

Sendo assim, a umidade gravimétrica do solo é atributo de extrema importância, pois é capaz de influenciar outras propriedades. De acordo com Figueiredo et al. (2000) este é um agente controlador da compactação do solo, isto significa que há uma umidade ideal para o preparo do solo, que resulta em menor compactação deste.

Para Kiehl (1979) a umidade do solo também atua sobre a coleta de amostras para obtenção de densidade do solo, por exemplo, em solos muito secos a amostra pode destorroar facilmente ou em situação em que solo está muito úmido a amostra é capaz de gerar maior compactação do solo, levando os estudos ao erro.

Normalmente o manejo impróprio dos solos nos cultivos agrícolas acarretam resistência à penetração e densidade do solo, e desse modo a diminuição da porosidade e quantidade de água disponível às plantas (RIBON e TAVARES FILHO, 2008). Marchão et al. (2007) demonstraram que o atributo umidade possui relação inversamente proporcional aos valores de resistência à penetração obtidos em condições de campo.

Souza et al. (2020) ao estudarem áreas com integração lavoura-pecuária; sistema agrossilvipastoril com uma linha de eucalipto; sistema agrossilvipastoril com três linhas de eucalipto; e plantio exclusivo de eucalipto (bosque), observaram que a umidade do solo em sistema de ILPF com três linhas de eucalipto foi superior na camada de 0,05-0,10 m, e também os valores foram superiores para o atributo de resistência a penetração nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, este resultado difere do encontrado por Lima et al. (2010), que verificaram que quando há baixa umidade do solo a resistência a penetração é maior. Contudo, na camada superficial avaliada no tratamento bosque, onde a maior densidade de eucalipto comparado aos demais tratamentos, apresentou teor de umidade menor.

Porosidade total

Uma das propriedades físicas mais significativas a ser usada na avaliação da qualidade do solo é a porosidade total, devido à sua relação com a atividade microbiana e o armazenamento de CO₂ oriundo da atmosfera (KRAVCHENKO et al., 2019). Analisando a forma de condução da atividade produtiva é permitido avaliar as diversas alterações na estrutura do solo, fundamentalmente aquelas advindas da compactação, modificando diferentes características do sistema poroso, inferindo no tamanho, distribuição, continuidade, volume e geometria dos poros (LIMA et al., 2005).

Amaro Filho et al. (2008) definem a porosidade pelo total de espaços vazios do solo preenchido pelo ar e pela água. É um indicador de grande relevância para o entendimento das variáveis ambientais do solo no processo de condução e produção de vegetais. Oportuniza mensurar o volume de espaços vazios em relação ao volume total; permite mensurar a lâmina de água ideal para o manejo irrigado de uma área; é um importante indicador de avaliação da estrutura do solo; é utilizado nas pesquisas de avaliação da mecânica do solo; influencia na infiltração e retenção de água, e na temperatura do solo.

Os poros são discriminados em três grupos: os macroporos apresentam diâmetro maior que 100 micrômetros, e tem por função principal a aeração da matriz do solo e conduzir a água infiltrada durante esse processo; os mesoporos possuem diâmetro entre 30 a 100 micrômetros e sua principal funcionalidade é conduzir água durante o processo de redistribuição da mesma no solo, no momento em que se desocupam os macroporos; e os microporos apresentam diâmetro inferior a 30 micrômetros agindo no acúmulo de água, uma vez que a movimentação desta é muito lenta nestes poros (LIBARDI, 2005).

Ressalta-se que além de aspectos intrínsecos ao solo como matéria orgânica, mineralogia e textura, o manejo dado ao solo é capaz de influenciar na quantidade e distribuição do tamanho de poros (STRECK et al., 2004).

Vários pesquisadores indicam que valores de macroporosidade superiores a 0,10 m³ m⁻³ são fundamentais para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes (BAVER, 1949; VOMOCIL e FLOCKER, 1961; GRABLE e SIEMER, 1968; TAYLOR e ASHCROFT 1972; KIEHL, 1979; GUPTA e ALLMARAS, 1987; REICHERT et al., 2007; REICHERT et al., 2009).

Contudo, Van Lier (2001) observou que culturas que apresentam sistema radicular superficial (entorno de 10 cm) os valores de porosidade de aeração seriam ao redor de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, ao mesmo tempo que condições de maior profundidade do sistema radicular e alto consumo de O_2 , associados a climas tropicais, o requerimento de porosidade de aeração atingiria valores próximos de $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Para Carter (1990) a macroporosidade maior que $0,12$ a $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são adequados para a aeração do solo e para a produção de grãos.

Assis et al. (2015) estudando variações nos atributos do solo em áreas com ILPF com 1 e 3 linhas de eucalipto e área de pastagens, detectaram valores elevados de porosidade total ($0,54$ e $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente) e macroporosidade, e baixos valores de densidade do solo ($1,19 \text{ Mg m}^{-3}$) no sistema de ILPF com 1 linha de eucalipto quando comparado com à pastagem degradada ($1,47 \text{ Mg m}^{-3}$).

Silva et al. (2016b) em estudo de solos em área de vegetação da Amazônia legal com tratamentos de ILPF, monocultivo de eucalipto e mata nativa notaram que o monocultivo de eucalipto gerou impacto negativo à densidade do solo na profundidade de 10-20 e 20-30 cm ($1,36$ e $1,37 \text{ kg.dm}^{-3}$, respectivamente), porém não apresentou perda da porosidade total do solo.

Entretanto, Souza et al. (2019) ao avaliarem o solo sob sistema de ILP, ILPF com 1 e 3 linhas de eucalipto e bosque com exclusivo plantio de eucalipto observaram que a macroporosidade foi maior no tratamento bosque, camada 0,05-0,10m ($9,74 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e 0,10-0,20m ($8,72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sendo que para os demais tratamentos foi detectado macroporosidade abaixo do limite ideal, indicando que este atributo do solo foi influenciado pela forma de manejo adotada.

Agregados do solo

A agregação do solo relaciona-se diretamente com as propriedades físicas químicas e biológicas. Alterações em qualquer destas três características interferira na agregação, portanto o seu acompanhamento permitirá entender em qual situação o sistema solo se encontra (GIACOMETTI et al., 2013; JOUQUET et al., 2013; CRITTENDEN et al., 2015).

Tratando-se de pastagem, geralmente, formação dos agregados é considerada boa, com ênfase em macroagregados em razão da alta densidade de raízes que colaboram para formação de agregados de maior tamanho e mais estáveis (SALTON et al, 2008), tendo potencial de proporcionar uma agregação similar ou mesmo maior que a observada em áreas de solo sob floresta natural (CUNHA et al., 2018; BATTISTI et al., 2020), uma vez que a grande massa de raízes oferta exsudatos e incentivando a atividade microbiana que atuara na estabilidade dos agregados (COSTA et al., 2012).

Contudo, a ocupação inadequada das áreas agropecuárias com manejo equivocado, resulta em solos expostos ou em grande situação de degradação. Áreas agropecuárias colaboram para compactação do solo, quando comparada a área preservada sem intervenção humana, por exemplo, a floresta. Esta desigualdade pode ser justificada em razão da melhoria da qualidade do solo, a exemplo a agregação de partículas e diminuição da densidade do solo ofertada pela matéria orgânica, atuação microbiana e de raízes, que colaboram na construção de bioporos (SILVA, G. F., et al.; 2015).

Almeida et al. (2014) observaram que a estabilidade dos agregados pode ser utilizada como parâmetro para avaliar área de cerrado, pastagem, plantio direto com milho e monocultivo com eucalipto, os autores identificaram divergências e entre os manejos. Estas práticas interferem no tamanho e arranjo dos agregados do solo onde a conversão de cerrado natural para cultivo de milho coopera para a diminuição do tamanho do diâmetro médio geométrico dos agregados do solo.

A estabilidade dos agregados pode ser utilizada para atestar a interferência do sistema radicular das plantas sob a estrutura do solo. Em experimento realizado em casa de vegetação Brandão e Silva (2012) perceberam que *Urochloa ruzziensis* proporcionou a formação e estabilização dos agregados do solo quando comparado com vasos que não havia cultivado a gramínea, e que a correta quantidade de água disponível no solo colabora para o aumento dos valores de diâmetro médio ponderado dos agregados.

Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS), tem sido frequentemente utilizada como um indicador da qualidade do solo, devido à sua suscetibilidade a mudanças em relação às práticas de manejo do solo, e por se relacionar com a maioria dos atributos físicos, químicos e biológico dos solos. A MOS é um componente importante e se refere a todo material orgânico, presente no solo incluindo resíduos, fração leve, biomassa microbiana, substâncias orgânicas solúveis em água e matéria orgânica estabilizada, mais conhecido como húmus (STEVENSON, 1994).

A MOS possui em média 58% de carbono (C) (STOCKMANN et al., 2013). A maioria deste carbono está presente em compostos biodegradáveis. Deste modo, as modificações no uso e manejo do solo irão promover a perda deste para atmosfera (TONUCCI et al., 2011).

Segundo Assmann et al. (2014), a quantidade de carbono orgânico do solo é influenciada por uma combinação de fatores que afetam a relação solo-planta-animal-atmosfera. Situações climáticas, como índice pluviométrico, distribuição de chuvas, bem como tipo de solo, quantidade e qualidade de resíduos de plantas e animais aportados no solo atuam na dinâmica da matéria orgânica.

Neste sentido, estudos afirmam que o maior e principal benefício da MOS é o sequestro de C, deste modo, o solo se incrementa a matéria orgânica e expõe grupos funcionais eletricamente carregados, que elevam a capacidade de troca catiônica (CTC) e reduz a absorção específica de fósforo (P), disponibiliza nutrientes e tem a habilidade de complexar íons de alumínio, diminuindo sua toxicidade e estabilizando a estrutura do solo (COSTA JUNIOR et al., 2012; BALDOTTO, et al., 2015).

Diante disso, sistemas que permitem alto acúmulo ou manutenção dos estoques de carbono orgânico do solo devem ser priorizados, visando sustentabilidade da produção agrícola, pecuária e florestal (TORRES et al., 2018).

Neste contexto, os sistemas integrados tem se destacado. Conforme Torres et al. (2014), os estoques de carbono do solo estão intrinsecamente relacionados à quantidade de material vegetal acumulado no solo. Estes pesquisadores afirmaram que os sistemas integrados de produção podem gerar aumentos no conteúdo de carbono orgânico do solo, visto que há uma maior diversificação e produção de resíduos vegetais. Outros estudos corroboram em

afirmar a capacidade dos sistemas de ILPF, em aumentar os teores de matéria orgânica do solo (ASSMANN et al., 2014; BALDOTTO et al., 2015; CALIL et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2017; COSER et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018; SACRAMENTO et al., 2013; SILVA et al., 2016a).

Sacramento et al. (2013) estudaram os estoques de carbono orgânico do solo sob sistema convencional, silvipastoril e agrossilvipastoril. A avaliação foi realizada sob condição semiárida em região de predominância da Caatinga, no estado do Ceará. O sistema agrossilvipastoril apresentava arranjo com linhas de Leucena, plantio de milho na estação chuvosa e criação de ovelhas no período de estiagem. Após treze anos de condução, o sistema agrossilvipastoril demonstrou melhor desempenho quanto ao armazenamento de carbono orgânico do solo, quando comparado aos sistemas convencional e silvipastoril. Foi detectado, no sistema convencional (cultivo de milho), diminuição de 58,87 Mg ha⁻¹ no estoque de carbono nas profundidades do solo de 0-60 cm, evidenciando a insustentabilidade deste sistema, para a região de estudo.

Segundo Silva A. R. et al. (2015) o sistema da ILPF possui papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, visto que, além de gerar acréscimos nos níveis de matéria orgânica preservam a estrutura do solo.

Silva et al. (2016b) detectaram otimização dos atributos físicos do solo como densidade e porosidade, assim como maior estoque de carbono orgânico do solo em sistema de ILPF com dois anos de idade, localizados do estado do Pará. Estes pesquisadores observaram maior acúmulo de carbono orgânico próximo aos renques de eucalipto, evidenciando a contribuição favorável do componente arbóreo no acréscimo de matéria orgânica do solo em ILPF.

De acordo Colil et al. (2016) o componente arbóreo eleva a deposição de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, uma vez que possuem sistema radicular profundo que facilitam a reabsorção de nutrientes lixiviados no perfil do solo. Estudo verificou absorção de nutrientes por eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) localizados a uma profundidade de 8 m, e a uma distância horizontal de até 5m (PINHEIRO et al., 2019), além de, diminuir a quantidade de lixiviação de cátions (BORDRON et al., 2018). Pinheiro et al. (2016) verificam profundidade de sistema radicular de eucalipto de 11,5 m, no segundo ano de cultivo no estado de São Paulo.

Sob sistema de ILPF com eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) apresentando cinco anos de idade, localizado no estado de Goiás, Silva et al. (2018) obtiveram 11,16 e 12,66 Mg ha⁻¹ de serapilheira acumulada em época chuvosa e seca, respectivamente, justificando o potencial de produção de resíduo orgânico pela espécie mencionada. Elevado acúmulo de resíduos vegetais sobre o solo favorecem a ciclagem de nutrientes e contribui para aumento dos teores de carbono orgânico do solo (CALIL et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2017).

Estudo realizado no estado de Minas Gerais, verificou que sistemas de ILPF promovem o aumento no aporte de carbono orgânico do solo, e ainda elevação da estabilidade da matéria orgânica do solo. Evidenciou-se, que a adoção dos sistemas integrados de produção, possibilita por meio da conservação do solo, a proteção da matéria orgânica. Ainda conforme o estudo, o sistema de ILPF oportuniza melhoria concomitante das características físicas, químicas e biológicas do solo, e este estudo conclui que os sistemas integrados de produção permitem obtenção de maiores níveis de matéria orgânica do solo, corroborando para seu armazenamento (BALDOTTO e BALDOTTO, 2018).

Lana et al. (2018) analisaram um sistema de integração de 20 anos de estabelecimento no estado de MG. A composição do sistema era constituída por *Eucalypto grandis*, com densidade de 150 árvores ha⁻¹, consorciado com *Urochloa brizantha*. Observou-se aumento do estoque de carbono no sistema integrado com eucalipto. Este resultado foi atribuído, as baixas taxas de mineralização, justificadas pela composição química da camada de serapilheira gerada pelo componente arbóreo (eucalipto). Adicionalmente, foi observado acréscimo da fertilidade do solo, com destaque para P, Ca, Mg, e K. O aumento da fertilidade do solo foi correlato aos acréscimos obtidos no conteúdo de matéria orgânica do solo, confirmando o uso e manejo sustentável, por meio do sistema estudado.

Deste modo, a determinação do teor de matéria orgânica do solo e seus constituintes torna-se uma ferramenta indispensável para a avaliação da qualidade do solo (ROLDFIELD, et al., 2018).

Estoque de Carbono

Os diferentes manejos modificam os processos biogeoquímicos do solo resultando em alteração no estoque de carbono, e também nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) para atmosfera. As alterações do teor de carbono estocado estão correlacionadas com as emissões líquidas desses gases (FERNANDES e FERNANDES, 2008; URQUIAGA et. al., 2010; LAL, 2016; FUJISAKIA et. al., 2018).

Sistemas conservacionistas do solo apresentam maiores chances de elevar o conteúdo de carbono orgânico do solo. Conceição et al. (2017) afirmam que o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta apresentou uma porcentagem de obtenção de ganho de carbono no solo de 7,8% em três anos de implantação, significando um acréscimo de 5,5 Mg ha⁻¹ na camada de 0-30 cm, quantia correspondente ao observado em vegetação nativa.

Chaves et al. (2013) comprovaram resultados positivos do sistema de ILPF em plantio direto, otimizando os atributos físicos e elevando do estoque no solo em área anteriormente destinada a pastagem em situação de degradação. Detectou-se que na camada de 0-20 cm o estoque de carbono do solo em área de vegetação natural foi de 45,13 Mg ha⁻¹, diminuindo 12 Mg ha⁻¹ no momento em que fora convertida em pastagem com mal manejo. Com a implantação do sistema integrado com plantio direto, lavoura fertilizada e manejo adequado da pastagem, o estoque de carbono chegou a 41,12 Mg ha⁻¹. Costa et al. (2015) identificaram resultados parecidos em Mata Atlântica, em solos com sistema de produção de ILPF apresentado incremento da fertilidade e acréscimo dos estoques de carbono no solo além da redução da compactação na área de instalação do experimento.

Tonucci et al. (2011) observaram que o sistema de ILP (*Eucalyptus* x *Urochloa brizantha* 'Marandu'), no bioma cerrado, foi satisfatório em estocar carbono na profundidade de 0-100 cm chegando a 426,5 Mg ha⁻¹, devido o acréscimo da diversificação de espécies e densidade de raízes, ofertando uma maior produção de biomassa vegetal.

Rosa et al. (2014) verificaram que a alteração do uso do solo sob pastagem degradada (58.47 Mg ha⁻¹) para pastagem melhorada (68.28 Mg ha⁻¹), na camada de 0-30 cm de profundidade proporcionou acréscimo dos estoques de carbono orgânico do solo. Sendo assim, a inserção de práticas sustentáveis de manejo

que propicie o estoque de carbono no sistema solo planta podem auxiliar a reduzir os efeitos nocivos ao meio ambiente (CARVALHO et al., 2010).

Carbono orgânico total

O carbono orgânico total (COT) é tido como um relevante componente do ciclo global do carbono (SELIM et al., 2016). Conforme Loum et al. (2014) o COT apresenta papel notável na qualidade do solo atuando no desenvolvimento das plantas, assim como nos atributos físicos e biológicos dos solos.

O COT em estoque no solo é por vezes influenciado pelo seu modo de uso, pois mudanças no manejo, especialmente a conversão de floresta naturais em áreas agrícolas ou de pastagem, geram modificações nos estoques de carbono do solo. Essas alterações advêm das práticas de manejo utilizadas e do tipo de uso do solo (AVZARADEL, 2011). Nas áreas agrícolas a liberação do CO₂ acontece com a queima dos resíduos vegetais e durante o revolvimento do solo, visto que com a elevada introdução de oxigênio, aumenta a mineralização e oxidação da matéria orgânica (ROSA et al., 2012).

Pastagens bem manejadas acumulam carbono já as degradadas perdem C na forma de CO₂ aumentando a degradação dos solos (JANTALIA et al., 2007; BAYER et al., 2010). Acompanhado do manejo, outros agentes ambientais e antrópicos podem atuar no acréscimo ou redução do estoque de C do solo, onde há mudança de vegetação natural em cultivos comerciais podem ser comprometidas, a exemplo, o tipo de solo, o tipo de rotação de culturas, situação climática, regularidade do cultivo e prática utilizada (CARVALHO et al., 2014).

Loss et al. (2014) observaram que houve habilidade de acréscimo e/ou conservação dos níveis de carbono orgânico total do solo em sistema silvipastoril no quinto ano de implantação, composto por eucalipto (*Eucalypto urograndis*) e capim colômbio (*Panicum maximum*), sob arranjo de 8 x 4. Verificou-se, ainda, altos valores de carbono orgânico particulado e carbono das frações húmicas. Conforme este estudo, a diversidade de plantas concedeu maior contribuição dos restos vegetais proporcionando aumento aos teores de matéria orgânica do solo.

Conceição et al. (2017) realizaram estudo na zona de transição Cerrado/Amazônia depois de três anos de implantação do sistema de ILPF, os

pesquisadores identificaram estoques de carbono orgânico do solo entre o sistema de ILPF, plantio direto, monocultivo de capim e de eucalipto. Foram verificados ganhos de 15, 13, 9 e 8% do teor de carbono para os sistemas de ILPF, monocultivo de pastagem, eucalipto e plantio direto, respectivamente. Os níveis de carbono orgânico total alternavam de 17,2 a 38,4 g kg⁻¹, os autores associaram o acréscimo dos teores de carbono orgânico solo em sistema de ILPF ao aumento de introdução de resíduos vegetais, beneficiada pela associação das árvores, pastagens e produção de grãos em uma mesma área. Este resultado, conforme a pesquisa, oportuniza elevada biomassa e atuação microbiana, e ainda auxiliar no sequestro de carbono e otimiza a ciclagem de nutrientes.

Assmann et al. (2014) analisaram o comportamento de diferentes intensidades de pastejo sob a matéria orgânica do solo em sistema de ILP com idade de nove anos. O sistema era composto por pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena sativa*), no período de inverno, e soja (*Glycine max*), no período de verão. Os pesquisadores verificaram diferentes níveis de produção de resíduos de plantas, advindas de pequenas e grandes intensidades de pastejo, que modificaram o aporte de carbono no solo. De acordo com o estudo, intensidades de pastejo que se encontravam entre 20 e 40 cm de altura aumentaram o conteúdo de carbono orgânico total e carbono orgânico lábil em teores similares aos identificados em sistema não pastejado. Para os autores, sistemas integrados corretamente manejados colaboram para o acréscimo dos estoques de carbono orgânico total e lábil do solo.

Revisão Sistemática e Meta-análise

A terminologia “revisão sistemática” teve origem em contraposição a expressão “revisão narrativa ou de literatura, comumente nominada de “revisão bibliográfica” (LUIZ, 2002).

As revisões narrativas são empregadas para retratar a história, a exposição de uma problemática, a argumentação temática teórica e, ainda para integralizar pesquisa de áreas autônomas. Contudo, as revisões narrativas não apresentam aplicação de técnicas quantitativas, que possui grande destaque em estudos específicos, onde o pesquisador necessita procurar outros estudos vinculados a

questão guia alvo de sua investigação (POCINHO, 2008). Outra falta de semelhança, diz respeito a exclusão de artigos. Em revisão sistemática é necessário descrever quais as razões levaram a não inclusão de determinado estudo, ao tempo que, em uma revisão bibliográfica isso é admitido (COGO, 2020).

A revisão sistemática constitui-se no emprego de uma sequência de parâmetros adotados para escolher estudos referentes há uma dada questão, colhidos de fontes abrangentes com técnicas transparentes de modo organizado, com o objetivo de responder, coletar e analisar informações dos estudos incluídos na revisão (LEWIS e CLARKE, 2001; POCINHO, 2008).

Metodologias estatísticas (meta-análise) podem ou não serem empregadas objetivando considerar e sumarizar as respostas dos estudos incluídos em uma revisão sistemática (POCINHO, 2008). Portanto, trata-se da busca esgotante que se conclui com o estado da arte da questão norteadora (COGO, 2020).

A meta-análise é um método estatístico capaz de ser utilizado para conciliar repostas provenientes de diferentes estudos primários (RODRIGUES e ZIEGELMANN, 2010; SANTOS e CUNHA, 2013; BREI et al., 2014) oportunizando aferir de modo definitivo suas combinações, constituindo um relevante aliado na tomada de decisão (COGO 2020). Acredita-se que a meta-análise foi utilizada inicialmente nas ciências sociais, em seguida, na medicina humana, e posteriormente na agricultura (LOVATTO et al., 2007).

Na agricultura, a meta-análise é fortemente utilizada, por exemplo, em estudos de melhoramento vegetal e zoneamentos agrícolas, onde informações coletadas de mapas oportuniza verificar a produtividade das culturas, assim como pesquisas relacionadas ao estoque de carbono no solo (LI et al. 2012; MAILLARD et al. 2014; LUO et al. 2010; DON et al. 2011), densidades amostrais de atributos do solo (MUNIZ, 2020), manejo do solo e produtividade de grãos (PEIXOTO et al., 2020), e adubação nitrogenada em pastagens (BERNARDI et al., 2018) entre outros.

O aumento dos estudos utilizando a técnica de meta-análise é viável e pode se tornar rotina na área das ciências agrárias, Carvalho S.P. et al., (2012) atestam que, com a utilização desta metodologia, evita-se gastos desnecessários, além do mais eleva-se a efetividade das pesquisas, sendo um forte aliado na

tomada de decisão em relação as melhores atitudes a serem consideradas, a indicar as áreas que não apresentam indicio suficiente que ateste êxito de alguma intervenção ou onde há equívocos metodológicos dos estudos disponibilizados, norteando para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F.; MACHADO, H. A.; MARTINS, F. P.; QUEIROZ, I. D. S.; TEIXEIRA, W. G.; MIKHAEL, J. E. G.; BORGES, E. N. Correlação do tamanho e da distribuição dos agregados em Latossolos Amarelo da região do Triângulo Mineiro com diferentes ambientes. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, 2014.

ALMEIDA, R.G.; BARBOSA, R.A.; ZIMMER. A.H; KICHEL, A.N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: **BUNGENSTAB**, D.J. 2º Ed. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. Brasília, 2012. p.88-94.

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. Inovações tecnológicas nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta-iLPF. In: **Simpósio internacional de produção de gado de corte**, Viçosa, 2012. p. 267-276.

ALVARENGA, R. C.; SILVA, V. P. DA; GONTIJO NETO, M. M; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, v.31, p.59-67, 2010. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/869278>.

ALVES, A. R.; RIBON, A. A., BACKES, C.; FERNANDES, K. L.; SANTOS, A. J.; BARROS, L. R. Indicadores físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso em sistemas de integração na região do cerrado. **Revista ESPACIOS**, v. 38, n. 16, 2017. Doi: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n16/17381603.html>.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Física do Solo: **Conceitos e Aplicações**. Fortaleza. Imprensa Universitária, 2008. 290 p.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012. Doi: <https://doi.org/10.5777/paet.v5i1.1658>.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaspepub49.c7>.

ASSIS, P. C.; STONE, L. F., MEDEIROS; J. C., MADARI; B. E., OLIVEIRA; J. D. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4,

p. 309-316, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>.

ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A.P.; ANDRADE, S.E.V.G.; CECAGNO, D.; CARLOS, F.S.; CARVALHO, P.C.F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, ecosystems e environment**, v.190, p.52-59, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.003>.

AVZARADEL, A. C. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. **Mudança do Clima no Brasil**, p. 77, 2011.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária- floresta**. Brasília: Embrapa,130p., 2011.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. de O.; BALDOTTO L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>.

BALDOTTO, M.A.; BALDOTTO, L.E.B. Relationships between soil quality indicators, redox properties, and bioactivity of humic substances of soils under integrated farming, livestock, and forestry. **Revista Ceres**, v. 65, p.373-380, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865040010>.

BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass Brachiaria. **Tropical Grasslands**, v.41, p.269-276, 2007.

BATTISTI, L. F. Z.; SCHMITT FILHO, A. L.; LOSS, A.; FARLEY, J. Atributos físicos do solo em um sistema silvipastoril com núcleos arbóreos no estado de Santa Catarina. **Holos**, v. 6, n. 36, 2020. Doi: <https://doi.org/10.15628/holos.2020.9473>.

BAVER, L. D.; FARWOETH; R. B.; Soil structure, effects in the growth of sugar beets. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.5, p.45-48, 1972. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1941.036159950005000C0008x>.

BAYAT, H.; SHEKLABADI, M.; MORADHASELI, M.; EBRAHIMI, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. **Geoderma**, v.303, p.150-164, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.003>.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.86, p.237–245, 2006. Doi:10.1016/J.STILL.2005.02.023.
BEHLING NETO, A. **Caracterização da forragem de capim-Piatã e do microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com dois arranjos de árvores de eucalipto**. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência

Animal) Universidade Federal do Mato Grosso –Cuiabá.

BERNARDI, A.; SILVA, A. W. L.; BARETTA, D. Estudo metanalítico da resposta de gramíneas perenes de verão à adubação nitrogenada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 545-553, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9501>.

BONINI, C. S.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 329-336, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400001>.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C. Estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1263-1270, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400019>.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A.; NANNI, M.R.; GOMES, E.P.; MÜLLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1845-1853, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600019>.

BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J. P.; JOURDAN, C.; Nouvellona, Y.; ABREU-JUNIOR, C.H.; TRIVELINE, P.C.O.; GONÇALVES, J.L.M.; PLASSARD, C; BOUILLET, J.P. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young Eucalyptus grandis trees. **Forest Ecology and Management**, v. 431, p.6-16, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.018>.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Agrária**, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i2a882>.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000700009>.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) /Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012.173 p. ISBN 978-85-7991-062-0.

BREI, V. C.; VIEIRA, V. A.; MATOS, A. C. Meta-análise em marketing. **Brazilian Journal of Marketing**, v. 13, n. 2, 2014. Doi: 10.5585/remark.v13i2.2681.

CALIL, F.N.; LIMA, N.L.; SILVA, R.T.; MORAES, M.D.; BARBOSA, P.V.G.; LIMA, P.A.F.; BRANDÃO, D.C.; SILVA-NETO, C.M.; CARVALHO, H.C.S.; NASCIMENTO, A.D.R. Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p.3701-3709, 2016. Doi: 10.5897/AJAR2016.11369.

CANARACHE, A. Generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, p. 56-70, 1990. Doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90021-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90021-5).

CARTER, M. R. Relationship of strength properties to bulk density and macroporosity and cultivated loamy sand to loam soils. **Soil and Tillage Research**, v. 15, p. 257-268, 1990. Doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90082-O](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90082-O).

CARVALHO, A. P.V; DIAS, H. C. T; PAIVA, H. N; TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 06, p. 1091-1098, nov./dez. 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600010>.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STOCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1131-1139, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900012>.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, L.M.N.; MELLO, C.R. de; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-289, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>.

CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; FRAZÃO, L.A.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Croppasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.183, p.167–175, 2014. DOI:10.1016/J.AGEE.2013.11.014.

CARVALHO, S.P.; CUSTÓDIO, T.N.; BALIZA, D.P.; REZENDE, T. Meta-análise para estimativas de herdabilidade de caracteres vegetativos e reprodutivos de *Coffea arabica* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1291-1298, 2012. Doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n4p1291>.

CHAGAS P. H. M.; GOUVEIA G. C. C.; COSTA G. G. S.; BARBOSA W. F. S. ALVES A. C. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 76-80, 2017. Doi: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1301>.

CHAVES, S. D. F.; MARTORANO, L.; de CAMARGO, P. B.; EL-HUSNY, J. C.; FERNANDES, P.; VALENTE, M. **Estoque de carbono no solo em área de pastagem convencional e sistema agrossilvipastoril em Paragominas**. 2013. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/979582>>. Acesso em: 20 set. 2022.

COGO, F.D. **Revisão sistemática e meta-análise**. Belo Horizonte: Universidade Estadual de Minas Gerais, 2020. 61p.

CONCEIÇÃO, M.C.; MATOS, E.D.S.; BIDONE, E.D.; RODRIGUES, R.; CORDEIRO, R.C. Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. **Agricultural Sciences**, v. 8, p.904-913, 2017. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1078539>.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.107-114, 1995. Doi: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4281>.

COSER, T.R.; FIGUEIREDO, C.C.; JOVANOVIC, B.; MOREIRA, T.N.; LEITE, G.G.; CABRAL FILHO, S.L.S.; KATOA, E.; MALAQUIAS, J.V.; MARCHÃO, R.L. Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. **Agricultural systems**, v. 166, p.184-195, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.030>.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. D. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B. D.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1311– 1321, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025>.

COSTA, L. M.; DRESCHER, M. S. Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of clayey oxisol. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 5, p. 443- 449, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865050009>.

COSTA, N. D. L.; MORAES, A. D.; CARVALHO, P. C. D. F.; MONTEIRO, A. L. G.; MOTTA, A. C. V.; OLIVEIRA, R. A. D. Dinâmica de crescimento e produtividade de forragem de *Trachypogon plumosus* sob níveis de correção da fertilidade do solo e idades de rebrota. **Ciência Animal Brasileira**, [s.l.], v. 17, n. 2, p.175-184, jun. 2016. Doi: [dx.doi.org/10.1590/1089-6891v17i218715](https://doi.org/10.1590/1089-6891v17i218715).

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>.

CRITTENDEN, S. J.; POOT, N.; HEINEN, M.; BALEN, D. J. M.; PULLEMAN, M. M. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. **Soil e Tillage Research**, v. 154, p. 136-144, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.018>.

CUNHA NETO, F. V. D.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. D. S.; ABEL, E. L. D. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba-MG. - MG. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13–24, 2018. Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509831569>.

DA CONCEIÇÃO, M. C.; MATOS, E. D. S.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. D. A. R.; CORDEIRO, R. C. Changes in soil carbon stocks under integrated croplivestock-forest system in the Brazilian **Amazon region**. **Agricultural Sciences**, v. 8, p. 904-913, 2017. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1078539>.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T. D.; OLIVEIRA, M. S. D. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8351>.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000300005>.

DIAS-FILHO, M.B. **Uso de pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: passado, presente e futuro**. p.1-44, v.1, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042092/1/DOCUMENTOS418.pdf>. Acesso em: 13 set 2022.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>.

dos SANTOS, M. H. F., RIBON, A. A., LOURENÇO, F., DA SILVA, O. C. C., DE OLIVEIRA, C. L., & DA SILVA, A. A. Estimativa da compactação através da resistência do solo a penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 27, p. 49-62, 2015.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98578/1/COT95.pdf> Acesso em: 19 set. 2022.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um LATOSSOLO VERMELHO sob sistemas de manejo e

cerrado nativo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.3, p.24-30, 2008. Doi: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/7750>.

FUJISAKI, K.; CHAPUIS-LARDY, L.; ALBRECHT, A.; RAZAFIMBELO, T.; CHOTTE, JL; CHEVALLIER, T. Data synthesis of carbon distribution in particle size fractions of tropical soils: Implications for soil carbon storage potential in croplands. **Geoderma** v.313, n.1, p.41–51, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.010>.

GARBISU, C.; ALKORTA, I.; EPELDE, L. Assessment of soil quality using microbial properties and attributes of ecological relevance. **Applied Soil Ecology**, v. 49, p. 1- 4, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.04.018>.

GARCIA, R.; TONUCCI, R.G.; GOBBI, K.F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: **OLIVEIRA NETO, S.N. VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR; ASSIS, J.B. (Ed.). Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta**, Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 189p.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1489-1498, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200021>.

GIACOMETTI, C.; DEMYANB, M. S.; CAVANIA, L.; MARZADORIA, C.; CIAVATTA, C.; KANDELER, E. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 32-48, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.002>.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, n. 2, p. 180-186, 1968. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x>.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of Forest soils. A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, n.2, p.163-89, 1980. Doi: <https://doi.org/10.1071/SR9800163>.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; GAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soil of contrasting texture and management. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 92-99, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.01.020>.

GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, v.6, p.65-100, 1987.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistência no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000700025>.

JANTALIA, C.P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.R.J.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v.95, p.97–109, 2007. Doi:10.1016/J.STILL.2006.11.005.

JOUQUET, P.; MARON, P. A.; NOWAK, V.; DUC, T. T. Utilization of microbial abundance and diversity as indicators of the origin of soil aggregates produced by earthworms. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 57, p. 950-952, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.08.026>.

KALLENBACH, R.L.; KERLEY, R.L.; BISHOP-HURLEY, G.J. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine-Walnut silvopasture. **Agroforestry Systems**, v.66, p.43-53, 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V.A. **Física do Solo**. 3 ed. Passo Fundo: UPF, 2014. 240p.

KRAVCHENKO, A. N., A. K.; GUBER, B. S.; RASAVI, J.; KOESTEL, M. Y.; QUIGLEY, G. P.; ROBERTSON, A. Y. K. Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization. **Nature Communications**, n.10, p.3121, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11057-4>.

KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; R. M. L.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo Argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1699-1708, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600026>.

LAL, R. **Climate Change and Soil Degradation Mitigation by Sustainable Management of Soils and Other Natural Resources**. 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40003-012-0031-9>. Acesso em: 13 set 2022.

LAL, R. Feeding 11 billion on 0.5 billion hectare of area under cereal crops. **Food Energy Security**.V.5, n.4, p.239–251, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1002/fes3.99>.

LANA, Â.M.Q.; LANA, R.M.Q.; LEMES, E.M.; REIS, G.L.; MOREIRA, G.H.F.A. Influence of native or exotic trees on soil fertility in decades of silvopastoral system at the Brazilian savannah biome. **Agroforestry systems**, v. 92, p.415-424, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9998-8>.

LEME, T.M.S.P.; PIRES, M. de F.A.; VERNEQUE, R. da S.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em

pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p.668-675, 2005.

LEWIS, S.; CLARKE, M. Mike. Forest plots: trying to see the wood and the trees. **Bmj**, v. 322, n. 7300, p. 1479-1480, 2001.

LI, D.; NIU, S.; LUO, Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. **New Phytologist**, v. 195, p.172– 181, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04150.x>.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 329 p.
LIMA, C. G. D. R.; CARVALHO, M. D. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G. D.; QUEIROZ, H. A. D. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100017>.

LIMA, H. V de; SILVA, A. P. de; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K. T. Comportamento físico de um Argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29 n.1. pág. 33- 40jan/fev. 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100004>.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v.116, p.107-136, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1).

LLANILLO, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; FILHO, J. T. Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.524–530, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500009>.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v.55, p.260-268, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.066>.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014. Doi: <http://200.129.150.26/index.php/ajaes/article/view/477/264>.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ D, VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Soil physical attributes in onion cultivation under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v.11, n.1, p.1-9, 2017. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>.

LOUM, M.; VIAU, V.; NICOLAS, H.; WALTER, C. Retrospective and dynamics of soil carbon sequestration in Sahelian agrosystems in Senegal. **Journal of Arid**

Environments, v. 100-101, p. 100-105, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.10.007>.

LOVATTO, P. A.; LEHNEN, C. R.; ANDRETTA, I.; CARVALHO, A. D.; HAUSCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 285-294, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000026>.

LUIZ, A. J. B. Meta-análise: definição, aplicações e sinergia com dados espaciais. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 3, p. 407-428, 2002.

LUO, Z.; WANG, E.; SUN, O. J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 139, n. 1-2, p. 224-231, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.08.006>.

MAILLARD, É.; ANGERS, D. A. Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 20, n. 2, p. 666-679, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12438>.

MANCINI, M. C.; CARDOSO, J. R.; SAMPAIO, R. F.; COSTA, L.; CABRAL, C.; COSTA, L. O. Tutorial for writing systematic reviews for the Brazilian Journal of Physical Therapy (BJPT). **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 18, n. 6, p. 471–480, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0077>.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600015>.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2057>.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical Limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>.

MUNIZ, Y. S. **Modelos e parâmetros dos variogramas em diferentes compartimentos da pedodiversidade: uma revisão sistemática com meta-análise**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/192369> . Acesso em 27 set 2022.

NASCIMENTO, V. N., ALMEIDA, G. L. P., BATISTA, P. H. D., & COUTINHO, A. S. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à

colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 3, p. 169-175, 2017. Doi: <https://doi.org/10.17523/bia.v74n3p169>.

NESMITH, D. S.; RADCLIFFE, D. E.; HARGROVE, W. L.; CLARK, R. L.; TOLLNER, E. W. Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans on an Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 1, p. 183-186, 1987. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100010038x>.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA, I. C. D. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo Viçosa**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400025>.

OLIVEIRA, B., CARVALHO, M. A., LANGE, A., DALLACORT, R., & SILVA, V. Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015. Doi: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_255.

OLIVEIRA, J.M.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.T.M.; ASSIS, P.C.R.; SILVEIRA, A.L.R.; LIMA, M.L.; WRUCK, F.J.; MEDEIROS, J.C.; MACHADO, P.L.O.A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional environmental change**, v. 18, p.105-116, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1146-0>.

OLIVEIRA, P. R; CENTURION, J. F; CENTURION, M. A. P. C; ROSSETI, K. V. FERRAUDO, A. S; FRANCO, H. B. J; PEREIRA, F. S; BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37 p.604-612, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300006>.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. D.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

PEIXOTO, D. S.; DA SILVA, L. D. C. M.; DE MELO, L. B. B.; AZEVEDO, R. P.; ARAÚJO, B. C. L.; DE CARVALHO, T. S.; SILVA, B. M. Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis. **Science of the total environment**, v. 745, p. 140887, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140887>.

PEREIRA, F.S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA, F.S.; OLIVEIRA, P.S.; CENTURION, J.F.; FALQUETO, R.J.; MARTINS, A.L.S. Qualidade física de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 87-95, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100008>.

PINHEIRO, R.C.; BOUILLET, J.P.; BORDRON, B.; ALÓ, L.L.; COSTA, V.E.; ALVARES, C.A.; KAREL MEERSCHKE, V.D.; STAPE, J.L.; GUERRIN, I.A.;

LACLAU, J.P. Distance from the trunk and depth of uptake of labelled nitrate for dominant and suppressed trees in Brazilian Eucalyptus plantations: Consequences for fertilization practices. **Forest Ecology and Management**, V. 447, p.95-104, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.011>.

PINHEIRO, R.C.; DEUS JR, J.C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; ALÓ, L.L.; GUERRINI, I.A.; JOURDAN, C.; LACLAU, J.P. A fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedlings and clones in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 366, p.143-152, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.012>.

POCINHO, M. **Lições de metanálise**. Unpublished manuscript, 2008.

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.310-309, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, p. 49-134, 2007.

REIS, G.L.; LANA, A. M. Q.; EMERENCIANO NETO, J. V.; LEMOS FILHO, J. P.; BORGES, I.; LONGO, R. M. Produção e composição bromatológica do capim-marandu sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. **Revista Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, 2013.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; DA CRUZ CENTURION, M. A. P.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 13-17, 2003. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i1.2147>.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da Resistência Mecânica à Penetração de um LATOSSOLO VERMELHO sob Cultura Perene no Norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1817-1825, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500003>.

RODRIGUES, C. L.; ZIEGELMANN, P. K. Meta-análise: um guia prático. **Revista HCPA**, v. 30, n. 4, p. 435-447, 2010.

ROEVER, L. Guia Prático de Revisão Sistemática e Metanálise. Rio de Janeiro: Theime Revinter Publicações Ltda, 2020. *Ebook*.

ROLDFIELD, E. E.; WOOD, S. A.; BRADFORD, M. A. Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. **Plant and Soil**, Genève, v. 423, n.1-2, p. 363-373, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3513-5>.

ROSA, R.; EYII SANO, R. R.; ROSENDO, J.S. **Estoque de Carbono em Solos sob Pastagens Cultivadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2014. 19p.

ROSA, R.; SANO, E.E.; ROSENDO, J.S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 26, p. 2, p. 333-351, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>.

RUSSELL, J.R.; BISINGER, J.J. Grazing System Effects on Soil Compaction in Southern Iowa Pastures. **Animal Industry Report**, v. 12, n. 1, p. 1-5, 2015. Doi: https://doi.org/10.31274/ans_air-180814-1308.

SACRAMENTO, J.A.A.S.D.; ARAÚJO, A.C.D.M.; ESCOBAR, M.E.O.; XAVIER, F.A.D.S.; CAVALCANTE, A.C.R.; OLIVEIRA, T.S.D. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.784-795, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300025>.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Efeito do componente florestal em sistema ILPF nos atributos físicos e carbono orgânico de um Latossolo Amarelo. **Anais... IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo "Solos no Espaço e Tempo: Trajetórias e Tendências"**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 2017.

SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R. Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo. IN: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 19., 2015, Belém. **Anais... Pará: Embrapa Amazônia Oriental**, 2015. 18p. p.14. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1022627>.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L.; Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Magistra**, Bahia, v. 26, n. 3, p. 262-271, 2014. Doi: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/462>.

SANTANA, J.; LIMA, E.; KOMATSU, R.; SILVA, W.; RIBEIRO, M. I. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 27, 2018. Doi: [10.18677/EnciBio_2018A26](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A26).

SANTOS, E.; CUNHA, M. Interpretação crítica dos resultados estatísticos de uma meta-análise: estratégias metodológicas. **Millenium-Journal of Education, Technologies, and Health**, n. 44, p. 85-98-85-98, 2013.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1339-1348, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000030>.

SANTOS, K. F.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; WOLSCHICK, N. H.; MOTA, J. M. Teores e estoque de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no planalto sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 2, p. 222-229, 2019. Doi: <https://doi.org/10.5965/223811711812019222>.

SANTOS, L.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; GONSALES, J. R. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. **Revista Ceres**, v. 62, n.1, p. 107-116, 2015.

SANTOS, V. B. **Atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do Piauí**. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 2010.

SANTOS, V.A.C. **Características morfogênicas, estruturais e produtivas do capim-Piatã em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no cerrado**. 2011. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) –Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 406-412, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052012005000035>.

SELIM, H.M.; NEWMAN, A.; ZHANF, L.; ARCENEUX, A.; TUBUNA, B.; GASTON, L.A. Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. **Soil and Tillage Research**, v.155, p.401-411, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.010>.

SILVA, A. R.; SALES, A.; ALBERTO, C.; VELOSO, C.; MAKLOUF, J. Efeito do cultivo de paricá em sistemas integração lavoura-pecuária-floresta sobre as propriedades físicas e teor de matéria orgânica de um Latossolo Amarelo. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.10, n.1, p.53-61, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5965/223811711812019222>.

SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Agropecuária Técnica**, v. 37

p.96-104, 2016. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1052980>.

SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C.; CARVALHO, E. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica de um latossolo amarelo sob sistemas integração lavoura pecuária-floresta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, p.144-157, 2015. Doi: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1018716>.

SILVA, B. P. P. C. da; SOARES, L. M.; SOUSA JUNIOR, A. N. J. I.; BARBOSA, I. C. C. Avaliação estrutural do solo em uma área de soja através de um diagnóstico rápido. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS, 3., 2017, Natal. **Anais**. Natal, 2017. p. 1 - 6.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, NM.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000028>.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A.P.; SOUZA, J.M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró. v. 28, n. 3, p. 25–35, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc>.

SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; PIAZZETTA, H. V. L.; LANG, C. R.; CARVALHO, P. C. F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1323-1332, jul./ago. 2012. Doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n4p1323.

SOUZA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S.; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizanthacv*. Marandu em um sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1029-1037, 2007.

SOUZA, J. F. D.; BONINI, C. D. S. B.; MATEUS, G. P.; DE SOUZA, C. T.; PERUSSO, R. L. S.; PEDRO, F. G.; OLIVERIO, G. L. Compactação do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária floresta após cinco anos de implantação e uso. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 3, p. 348-353, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5965/223811711932020348>.

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; SOUZA, C. T.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C., MATEUS, G. P.; PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de Capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, p.51-64, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2019v13n1p51-64>.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORDA, J. W.; FIELDA, D. J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNYA, B.; MCBRATNEYA, A. B.; COURCELLES, V. R.; SINGHA, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRDE, M.; BROOKES, P. C.; CHENUG, C.; JASTROWH, J. D.; LAL, R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 164:80-99, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004. Doi: 10.1590/S0103-84782004000300016.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**: the physics of irrigated on nonirrigated soils. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

TONUCCI, R. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F. S. Soil carbon storage in silvopasture and related land use systems in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, p. 833-841, 2011. Doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0162>.

TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P. D.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 286-292, 1999.

TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; OLIVEIRA NETO, S.N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E.B.B.M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p.235-244, 2014. Doi: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/16996>.

TORRES, J.L.R.; ASSIS, R.L.; LOSS, A. Evolução entre os sistemas de produção agropecuária no Cerrado: convencional, Barreirão, Santa Fé e Integração Lavoura-Pecuária. **Informe Agropecuário**, v. 39 p.7-17, 2018.

TRINDADE, P. C.; LANA, R. P.; VELOSO, C. M.; PEREIRA, D. S. Desempenho agrônômico e qualidade da silagem do capim elefante com adubação orgânica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 8, n. 2, p. 62-70, 2018. Doi: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/23156>.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; LAL BODDEY, R. M. Variações nos estoques de Carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos em regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. **Informações Agronômicas**. v.1, n.130, p.12-21, 2010.

VAN LIER, J. Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 233-238, 2001. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100025>.

VANALLI, L. G. G. Produtividade e qualidade de 4 forrageiras em função de doses de nitrogênio. 2010. Disponível em: <http://btd.unoeste.br:8080/tede/handle/tede/535>. Acesso em 26 set 2022.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKE R, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the ASAE**, v.4, p.242-246, 1961.

CAPÍTULO 2- DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE*

Highlights

A densidade do solo esteve abaixo do valor crítico em todos os sistemas de manejo do solo encontrados. O sistema convencional de produção de pastagem apresentou maior média de produção de forragem. A produtividade da pastagem em ILPF apresenta decréscimo devido ao sombreamento.

Resumo

Objetivou-se com este estudo realizar uma revisão sistemática com meta-análise, para entender as relações entre os manejos (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF, integração lavoura-pecuária - ILP, e sistema convencional de produção de pastagem), qualidade física do solo e produção de pastagem. A coleta foi realizada nas seguintes plataformas eletrônicas: Scopus, Web of Science e Cab Direct. Os estudos que apresentavam no mínimo um dos parâmetros de composição desta pesquisa foi integralizado a amostra. São eles: densidade do solo (Ds); macroporosidade; microporosidade; porosidade total; resistência do solo a penetração (RSP); umidade gravimétrica; agregados do solo; matéria orgânica do solo (MOS); estoque de carbono no solo; carbono orgânico total (COT); e produção de forragem. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o pacote “meta” no ambiente R 4.0.4. Os sistemas de manejo (ILPF, ILP e sistema convencional de produção de pastagem) encontrados para o parâmetro densidade do solo e porosidade total para produção de pastagem estiveram abaixo do valor crítico geral (1,40 e 1,80 kg dm⁻³) admitido para estas variáveis. A umidade gravimétrica demonstrou diferença estatística para o sistema de ILP em comparação aos demais sistemas encontrados. Os resultados metanalítico para agregado do solo evidenciou a maior média de efeito do modelo para o sistema convencional de produção de pastagem com 2,48 g, seguindo dos sistemas ILPF, ILP. A variável matéria orgânica do solo demonstrou, que o sistema convencional de produção de pastagem esteve próximo (27,75 kg ha⁻¹) a média do sistema floresta nativa (28,29 kg ha⁻¹). Contudo, a variável estoque de carbono no solo o sistema o sistema de ILP (17,09 kg ha⁻¹) apresentou maior média de efeito do modelo, o mesmo desfecho foi observado para o parâmetro carbono orgânico total, onde o sistema de ILP apresentou média de efeito do modelo de 25,68 kg ha⁻¹ e o sistema convencional de produção de pastagem 20,42 kg ha⁻¹. Quanto a produtividade de forragem a meta-análise demonstrou que o sistema convencional de produção de pastagem apresentou maior média de efeito do modelo de 7869,17 kg ha⁻¹, quando comparado aos demais sistemas encontrados para este parâmetro, sendo eles: ILP (6082,45 kg ha⁻¹) e ILPF (4172,00 kg ha⁻¹).

Palavras-chave: Atributos. Evidência. Manejo. Pastagem. Produção.

Abstract

The objective of this study was to carry out a systematic review with meta-analysis, to understand the relationships between management (crop-livestock-forest integration - ILPF, crop-livestock integration - ILP, and conventional pasture production system), physical quality soil and pasture production. Data collection was performed on the following electronic platforms: Scopus, Web of Science and Cab Direct. Studies that presented at least one of the composition parameters of this research were included in the sample. They are: soil density (Ds); macroporosity; microporosity; total porosity; soil resistance to penetration (RSP); gravimetric humidity; soil aggregates; soil organic matter (MOS); carbon stock in the soil; total organic carbon (COT); and forage production. All analyzes were performed using the “meta” package in the R 4.0.4 environment. The management systems (ILPF, ILP and conventional pasture production system) found for the soil density and total porosity sensor for pasture production are below the overall critical value (1,40 and 1,80 kg dm⁻³) supported for these variables. The gravimetric humidity demonstrates statistical difference for the ILP system compared to the other systems found. The meta-analytical results for soil aggregate showed the highest mean effect of the model for the conventional pasture production system with 2,48 g, followed by the ILPF, ILP systems. The soil organic variable tested, which the conventional pasture production system was close (27,75 kg ha⁻¹) to the average of the native forest system (28,29 kg ha⁻¹). However, the variable soil carbon stock the system the ILP system (17,09 kg ha⁻¹) showed a higher mean effect of the model, the same result was observed for the total organic carbon parameter, where the ILP system showed a mean effect of the model of 25,68 kg ha⁻¹ and the conventional pasture production system 20,42 kg ha⁻¹. As for forage productivity, the meta-analysis showed that the

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

conventional pasture production system had the highest average effect of the 7869,17 kg ha⁻¹ model, when compared to the other systems found for this parameter, namely: ILP (6082,45 kg ha⁻¹) and ILPF (4172,00 kg ha⁻¹).

Key words: Attributes. Evidence. Management. Pasture. Production

Introdução

Os sistemas de manejo integrado do solo têm por propósito oportunizar condições ideais de desenvolvimento e recuperação das pastagens. Identificado o processo de degradação deve se levantar os fatores associados, a fim de determinar quais os mecanismos serão empregados para recuperação da capacidade produtiva das pastagens (Edvan, 2018).

Com o passar dos anos, pastagens manejadas indevidamente resultaram em perda da produtividade. Super pastejo, falta de adubação e a inserção equivocada das espécies forrageiras, estão como os principais fatores que contribui para degradação dos pastos. A degradação de solos onde estão estabelecidas as pastagens ocorrem de forma contínua, iniciando as alterações com a perda de vigor e produtividade, sendo a degradação física do solo uma das últimas etapas deste processo (Burgrever, et al., 2019).

Entre as variáveis físicas do solo, que são empregadas para determinar a degradação das pastagens estão: densidade do solo (Almeida et al., 2021; Ribeiro et al., 2021) o sistema poroso (Lima et al., 2013; Sousa et al., 2022), a resistência do solo a penetração de raízes (Fernandes et al. 2018; Silva et al., 2020) e os aspectos referente a água no solo (Aquino et al., 2014; Furquim et al., 2020).

O entendimento dos danos gerados pelos diferentes sistemas de manejo do solo são fundamentais para otimizar a qualidade física do mesmo, visto que as pastagens apresentam graves problemas advindos de manejos inadequados. Em vista disso, a qualidade física do solo pode ser determinada por seus atributos, atuando assim como indicadores de sua qualidade (Soares et al., 2016).

Além das alterações físicas do solo, o manejo pode acarretar modificações relacionadas ao estoque de carbono, conforme o manejo adotado tende a aumentar ou diminuir o carbono acumulado, sendo assim as alterações e uso do solo precisariam ser acompanhadas de forma a dar maior atenção há aspectos relacionados a viabilidade e sustentabilidade dos sistemas agropecuários de produção (Soares et al., 2018).

Segundo Sales et al. (2016) o carbono no solo é acumulável por meio da restauração dos solos degradados via práticas de manejos conservacionistas, assim como manutenção da matéria orgânica, rotação de culturas empregando culturas de cobertura, manejo integrativo de nutrientes, uso da água e melhor absorção dos nutrientes, pastagens bem manejadas incluindo espécies arbóreas, pastejo monitorado de animais e a utilização equilibrada dos fatores de produção.

A matéria orgânica é mais um atributo do solo que pode indicar sua qualidade, visto que contribuí de forma positiva para a formação e adaptação do vegetal inferindo nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Calil et al., 2016).

Através do estoque de carbono orgânico total e das frações de carbono da matéria orgânica do solo é possível determinar o índice de manejo de carbono (IMC) permitindo avaliar de forma concomitante o reflexo dos sistemas de manejos na qualidade e quantidade da matéria orgânica, cooperando para determinar a qualidade do solo (Nanzer et al., 2019).

O sistema de manejo e o cultivo intensivo incidem em todos os atributos do solo, gerando modificações destes e interferindo negativamente na aptidão produtiva do solo. Aspectos relacionados ao tipo de vegetação também corroboram para sua ineficiência produtiva, as gramíneas, por exemplo, são mais competentes em manter a estabilidade dos agregados do que as plantas oleaginosas, isso porque o sistema radicular é mais extenso e se renova continuamente (Zanatta et al., 2019).

Assim sendo, o entendimento detalhado do solo se faz necessário, com a aplicação de novas técnicas, levantamentos e extrações de informações já publicadas, buscando diminuir o tempo e utilização de recursos para o desenvolvimento de novas pesquisas (Omuto et al., 2013). Desta forma torna-se possível utilizar pesquisas, assim como os dados gerados por estas, para obter ou fortalecer novas conclusões, através destes dados legados.

Sendo assim, observa-se grande interesse por parte dos cientistas, em realizar uma síntese dos resultados disponíveis nas mais diferentes bases de dados. A conciliação dos diversos resultados de estudos já existentes sobre uma determinada temática é capaz de sanar equívocos e obter novas conclusões, isto quando usa-se técnicas de estáticas adequadas, por exemplo a meta-análise (Donato & Donato, 2019).

Meta-análise pode ser definida como o exame de um grande compilado de resultados oriundos de estudos individuais, porém relacionados, tendo a finalidade de complementar o que já foi encontrado. Trata-se de uma metodologia estatística aplicada a uma revisão da qual objetiva-se extrair conhecimento complementar através de informações preexistentes, mediante a união de resultados de múltiplos estudos (Roever, 2020).

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo realizar uma revisão sistemática com meta-análise, para entender as relações entre os manejos (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF, integração lavoura-pecuária - ILP, e sistema convencional de produção de pastagem), qualidade física do solo e produção de pastagem.

Material e Métodos

O estudo contou com artigos científicos de diferentes países, sendo este um dos critérios para a escolha dos estudos, para realização da meta-análise. Para a realização deste estudo, foram analisados os metadados obtidos em revistas indexadas, de acesso livre, sendo que o tipo de publicação analisada foi restrita, exclusivamente, a artigos científicos, visto que estes apresentam uma confiabilidade de dados maior, pois são submetidos a revisão de pares. Os artigos que contemplavam os critérios de seleção foram adicionados a amostra, esta restringiu-se a busca dos últimos 10 anos.

A coleta foi realizada nas seguintes plataformas eletrônicas: Scopus, Web of Science e Cab Direct, foram selecionados artigos na língua inglesa, portuguesa e espanhola. Os critérios utilizados para seleção das amostras estão descritos a seguir:

1. Apresentar a palavra-chave pesquisada. Com intuito de obter a maior quantidade e qualidade possível de artigos, a busca foi realizada pelas seguintes combinações e palavras-chave a saber: “Production System”, “soil management”, “pasture management”, e quality, attribute, indicator, sendo inseridas nas bases de buscas das seguintes formas: (“Production System” OR “soil management” OR “pasture management”) AND (quality OR attribute OR indicator).

2. Apresentar os parâmetros previamente estabelecidos: Densidade do solo (Ds); Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade total; Resistência do solo a Penetração (RSP); Umidade gravimétrica; Agregados do solo; Matéria Orgânica do Solo (MOS); Estoque de carbono no solo; Carbono orgânico total (COT); Produção de forragem, Sistema de manejo de produção de pastagens, forrageiras utilizadas e tipo de solo. Os estudos que apresentavam no mínimo um destes elementos quantitativos, de importância a composição desta pesquisa, foram integralizados a amostra.

Foram coletados 3390 artigos já desconsiderando as duplicatas identificadas, destes 308 artigos foram selecionados para a leitura dos resumos. Após esta etapa (validação dos artigos incluídos) selecionou-se 65 artigos, que apresentavam as características pré-estabelecidas para validação de sua inclusão a amostra total (Roever, 2020).

Os dados coletados foram inseridos em uma planilha do Microsoft® Excel® 2016. A alimentação desta tabela se deu por meio da coleta e inserção dos dados identificados nos artigos incluídos. As informações foram sistematizadas em dois grupos: sendo o primeiro com as informações gerais de cada artigo como: autores e ano, revista, objetivo, localização geográfica, cidade e estado, precipitação anual, tipo de solo, textura, tamanho da área experimental, delineamento estatístico, número de repetição, forrageira utilizada e sistema de manejo empregado para produção de pastagem. Sendo o segundo grupo informações de ordem quantitativas dos parâmetros físicos do solo, matéria orgânica, estoque de carbono, carbono orgânico total e produtividade das culturas forrageiras.

As etapas de coleta e seleção dos artigos elegíveis podem ser melhor compreendidas na Figura 1 do fluxograma PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyse) (Donato & Donato 2019).

Após a coleta dos dados quantitativos, foi realizado o cálculo do desvio padrão para os parâmetros que não o apresentavam, porém demonstravam outra fonte de variação como: mediana, mínimo e máximo, foi utilizada a metodologia proposta por Balduzzi (2019) para estimar o desvio padrão e assim possibilitar o uso destes dados. Além disso, foi obtido agrupamento de acordo com as profundidades do solo onde o estudo foi realizado, e os sistemas de manejos. Cada estudo apresentava diferentes unidades de medida, então, utilizando-se de referências indicadas para cada variável aceita internacionalmente, foi possível transformar as unidades, para que se tornassem comparáveis entre si.

Foi elaborado os gráficos específicos de meta-análises, chamado forestplot, o qual apresenta os efeitos individuais de cada estudo com seus respectivos intervalos de confiança. Para avaliar a presença heterogeneidade, a mesma foi realizada com o teste de I^2 , considerando significativa quando $p < 0,05$. Este teste permite avaliar se as diferenças observadas entre os estudos são maiores que o esperado se as mesmas ocorressem apenas ao acaso. A hipótese alternativa do teste de heterogeneidade é que a variabilidade/heterogeneidade é significativa.

A meta-análise foi realizada em geral e conforme os agrupamentos por sistemas de manejo e profundidade do solo. Os resultados foram apresentados por agrupamento realizado, intervalo de confiança de 95%, resultado do I-quadrado e seu p-valor e p-valor do teste de viés. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o pacote “meta” (Balduzzi, 2019) no ambiente R 4.0.4 (R Core Team, 2021).

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

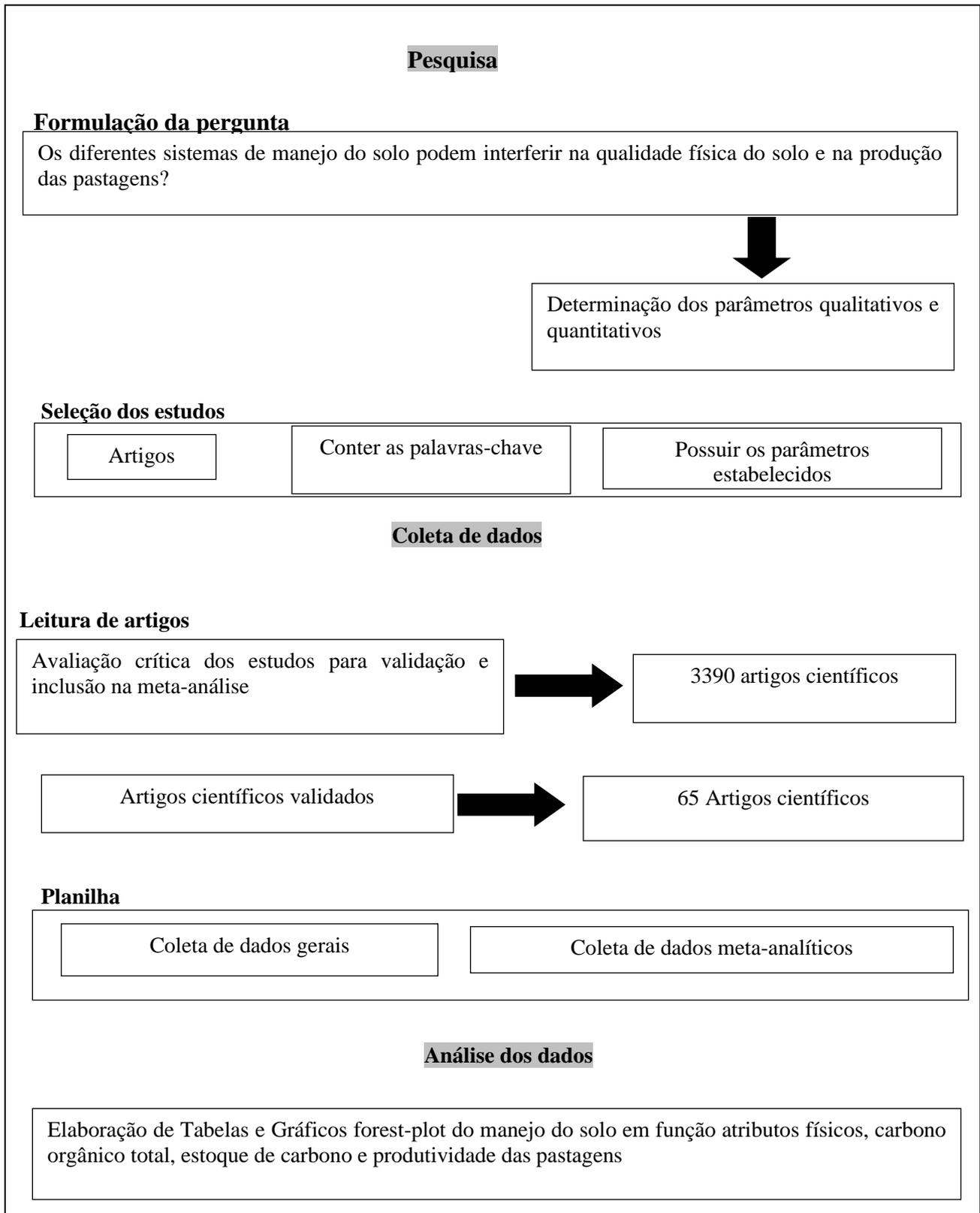


Figura 1. Etapas do fluxograma para realização deste estudo.

Resultados e Discussão

Os estudos incluídos somaram 65, foram identificados 6 países diferentes, o maior número de artigos incluídos, tiveram seus estudos realizados no Brasil, totalizando 59 artigos, sendo 1214 o total de grupos avaliados em toda esta pesquisa (Anexo A).

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

Os países identificados neste estudo foram: África do sul, Bélgica, Brasil, Colômbia e Estados Unidos. Mais de 13 formas de manejos do solo foram observadas, as mais frequentes para produção de pastagem foram: Integração Lavoura-Pecuária ILP (30,07% dos estudos incluídos), Sistema convencional de produção de pastagem (27,43% dos estudos incluídos) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – ILPF (9,72 % dos estudos incluídos). O grupo controle foi diversificado, tendo ocorrência de pastagem nativa, floresta nativa e Cerrado totalizando 8,82% dos estudos incluídos. As profundidades de amostragem do solo verificadas variavam de 0,00 a 1,00 m, onde a maior frequência de amostragem observada foi na profundidade de 0,10-0,20 m com 396 grupos avaliados, sendo a menor quantidade de amostragem realizadas nas profundidades de 0,70-1,00 m.

Densidade do solo – (Ds)

A densidade do solo apresentou efeito de modelo $1,24 \text{ kg dm}^{-3}$, sendo o intervalo de confiança do limite inferior $1,19 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,28 \text{ kg dm}^{-3}$ o limite superior, este desfecho indica que o valor encontrado está abaixo do valor crítico para Ds, visto que os valores gerais desse atributo foram descritos recomendando variações entre $1,40$ e $1,80 \text{ kg dm}^{-3}$ (Kiehl, 1979; Reichert et al., 2003), onde $I^2=98,7\%$ demonstrou alta heterogeneidade, foram identificados 85 grupos para esse parâmetro.

O desfecho da Ds do agrupamento em profundidade, estão apresentados na Tabela 1, as médias dos efeitos variaram de $1,14$ a $1,46 \text{ kg dm}^{-3}$, observou-se que houve diferença estatística entre os intervalos de confiança a 95%, para esta variável, sobretudo para a profundidade de $0,30-0,40 \text{ m}$ apresentado a maior média das profundidades identificadas ($1,46 \text{ kg dm}^{-3}$). Conforme Pequeno (2013) o aumento da Ds em profundidade tem que ver com a situação de adensamento natural do solo, gerando pressões causadas pelas camadas superiores sobre as subjacentes. Pode ser ainda, por deslocamento de materiais finos dos horizontes superficiais para os mais profundos, os quais resultam em menor espaços dos poros, acarretando este fenômeno. Contudo, o valor encontrado está dentro do nível crítico admitido (Sales et al. 2015; Silva et al., 2011). O intervalo de confiança a 95% variou com limite inferior de $1,01 \text{ kg dm}^{-3}$ e o limite superior de $1,91 \text{ kg dm}^{-3}$, onde heterogeneidade dos dados mostrou-se, na maioria das profundidades alta, com exceção da profundidade de $0,30-0,40 \text{ m}$.

Tabela 1. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para densidade do solo (Ds) com agrupamento profundidade de coleta.

Densidade do Solo (Ds)	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade*	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade: 0,00-0,05	1,14	1,06	1,22	$I^2 =98,8\%$ $p<0,001$	5	23
Profundidade: 0,05-0,10	1,24	1,16	1,32	$I^2 =94,8\%$ $p<0,001$	6	25
Profundidade: 0,10-0,20	1,29	1,19	1,39	$I^2 =99,2\%$ $p<0,001$	5	22
Profundidade: 0,20-0,30	1,33	1,24	1,43	$I^2 =95,6\%$ $p<0,001$	3	12
Profundidade: 0,30-0,40	1,46	1,01	1,91	$I^2 =0,00\%$ $p=0,990$	1	3

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p<0,05$.

Os manejos de solo identificados para variável densidade do solo foram: integração Lavoura-Pecuária (ILP), integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), sistema convencional de produção de pastagem e o sistema referência floresta, sendo que os modelos de efeito dos sistemas de produção de pastagem dos artigos incluídos neste estudo, variaram com médias de $1,20$ a $1,37 \text{ kg dm}^{-3}$ (Tabela 2), os

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

intervalos de confiança demonstram que os sistemas encontrados diferiram estatisticamente, sendo que a maior média (quando comparado aos demais sistemas identificados) de efeito do modelo foi no sistema de ILP (1,34 kg dm⁻³), dentro do limite crítico geral aceito para esta variável, contudo este resultado pode ser justificado pelo sistema de pastejo, advindo do pisoteio animal ao longo dos anos. Para Custódio et al. (2015) os valores críticos de densidade do solo em pastagens resultam em restrições do crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, da infiltração e transporte de água, assim como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera.

O intervalo de confiança a 95% possui limite inferior de 1,16 kg dm⁻³ e limite superior de 1,52 kg dm⁻³, onde a heterogeneidade mostra-se alta nos sistemas de ILP, sistema convencional de produção de pastagem e grupo floresta, e nula para sistema ILPF.

Tabela 2. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I²) para densidade do solo (Ds) com os sistemas de manejos.

Densidade do Solo (Ds)	Efeitos do modelo	IC 95%		I ² e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Floresta	1,37	1,21	1,52	I ² =84,4% p<0,01	2	5
ILP	1,34	1,22	1,46	I ² =99,3% p<0,001	3	17
ILPF	1,20	1,16	1,23	I ² =0,00% p=0,55	1	12
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	1,32	1,24	1,40	I ² =97,4% p<0,01	6	26

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I²: I-quadrado; N: número; *teste de I², significativo quando p<0,05. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

O desfecho para variável Ds do grupo controle (floresta nativa), apresentou média do efeito do modelo de 1,37 kg dm⁻³, [1,21;1,52], onde 1,21 kg dm⁻³ é o limite inferior do intervalo de confiança a 95%, e 1,52 kg dm⁻³ é o limite superior (Figura 2), resultando em diferença estatística quando comparada aos demais sistemas, acima do limite crítico geral deste parâmetro, desfecho este, contrário aos observados pelos pesquisadores Castro et al. (2012); Martini et al. (2014); e Martinkoski et al. (2017) os quais constataram densidade do solo menor no sistema floresta nativa, quando comparado aos demais tratamentos, contudo estes autores verificaram, que com o aumento em profundidade a densidade do solo tende também a aumentar. A heterogeneidade deste sistema foi alta (I²=84,4%).

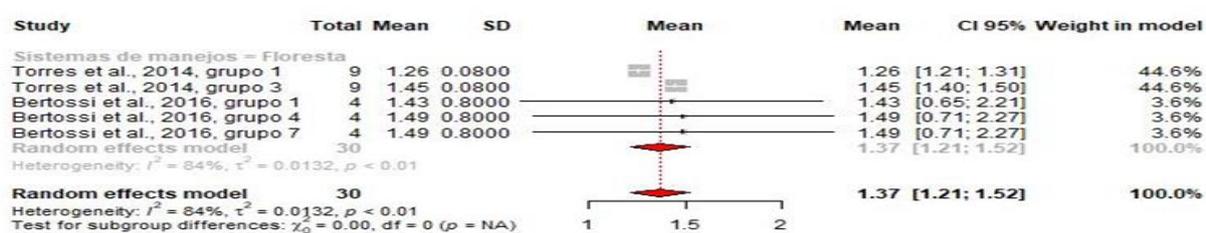


Figura 2. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: Floresta

Conforme Figura 3, o desfecho da variável densidade do solo, para o sistema de ILP, apresentou a segunda maior média de efeito do modelo de 1,34 kg dm⁻³ [1,22;1,46], onde 1,22 kg dm⁻³ é o limite do intervalo de confiança inferior a 95%, e 1,46 kg dm⁻³ é o limite do intervalo superior. Esse resultado pode ser explicado pela pressão exercida pelas máquinas e equipamentos utilizados no ciclo agrícola, que se soma ao

pisoteio dos animais no ciclo pecuário (Martinkoski et al., 2017). Carvalho et al. (2015) observaram que os sistemas integrados lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta não foram capazes de elevar a qualidade do solo ao nível obtido pela vegetação nativa adjacente, assim como os demais tratamentos adotados. Observou-se que os valores de densidade obtidos nos sistemas integrados foram superiores aos observados na monocultura de eucalipto e pastagens extensivas, exceto para a camada superficial (0,00-0,05 m) em que o pastoreio extensivo apresentou a média semelhante aos sistemas integrados. A heterogeneidade evidenciou-se alta ($I^2 = 99\%$).

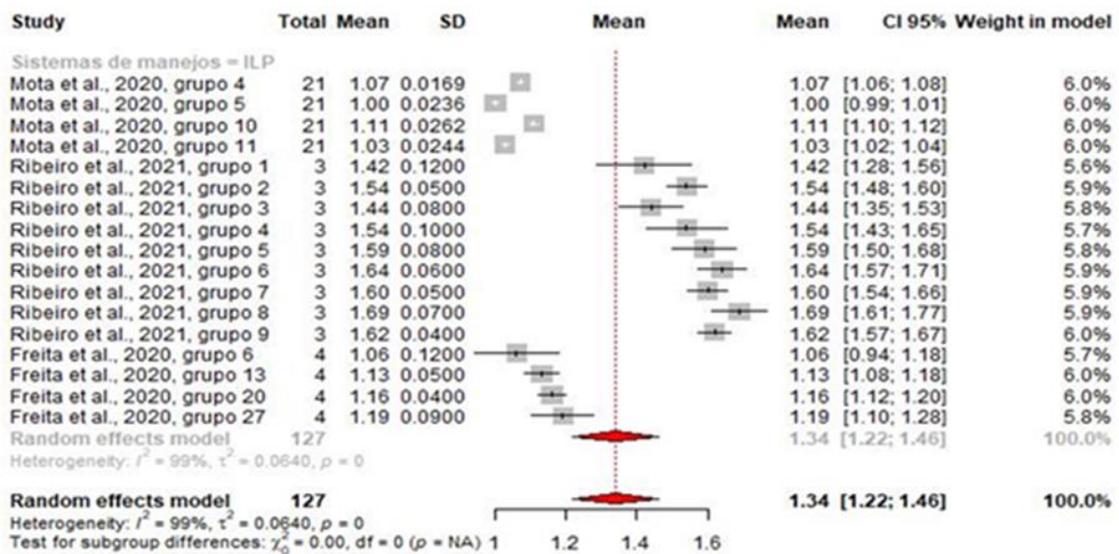


Figura 3. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: ILP

Conforme Figura 4, o desfecho da variável Ds, para o sistema de manejo de ILPF demonstrou alta heterogeneidade ($I^2=100\%$), onde efeito do modelo apresentou menor média quando comparado aos demais sistemas identificados, sendo está de $1,20 \text{ kg dm}^{-3}$ [1,16;1,23], onde $1,16 \text{ kg dm}^{-3}$ é o limite do intervalo de confiança inferior e $1,23 \text{ kg dm}^{-3}$ é o limite do intervalo superior. Para Pezzoni et al. (2012) há uma correlação significativa entre a matéria orgânica proveniente da camada de serapilheira e a menor densidade em sistema integrados com floresta, o que se deve principalmente ao seu efeito de amortecimento promovendo a dispersão de parte da energia aplicada, além da capacidade de estabelecer conexões entre as partículas do solo, aumentando a coesão e promovendo maior agregação, o que acaba afetando indiretamente outros atributos físicos do solo.

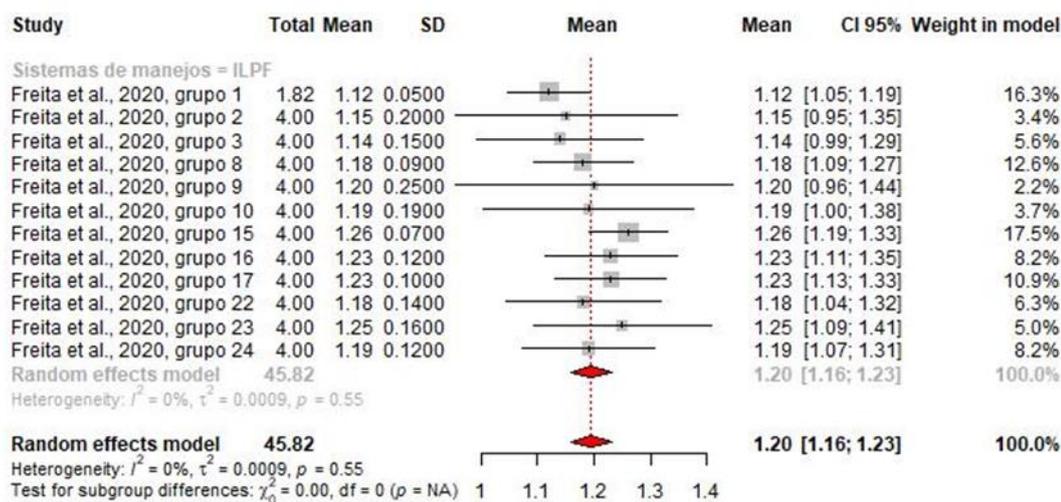


Figura 4. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: ILPF

O desfecho para variável de Ds do manejo convencional de produção de pastagem, evidencia alta heterogeneidade (alta $I^2 = 97\%$), onde a média de efeito do modelo ficou pouco acima do limite crítico geral para este parâmetro, sendo este de $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$ [1,24;1,40], onde $1,24 \text{ kg dm}^{-3}$ é o limite do intervalo de confiança inferior e $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ é o limite intervalo de confiança superior, a 95% (Figura 5). Segundo Torres et al. (2018) o sistema ILPF difere do monocultivo por apresentar menor densidade e resistência à penetração do solo e maior porosidade em pastagem arborizada em comparação com pastagens solteira. Estudos indicam que o pastoreio inadequado promove efeitos negativos na estrutura superficial do solo devido à ação de pastejo, resultando em acréscimo da densidade do solo, o que posteriormente reduz a macroporosidade (Auler et al., 2014, 2017; Freitas et al., 2019).

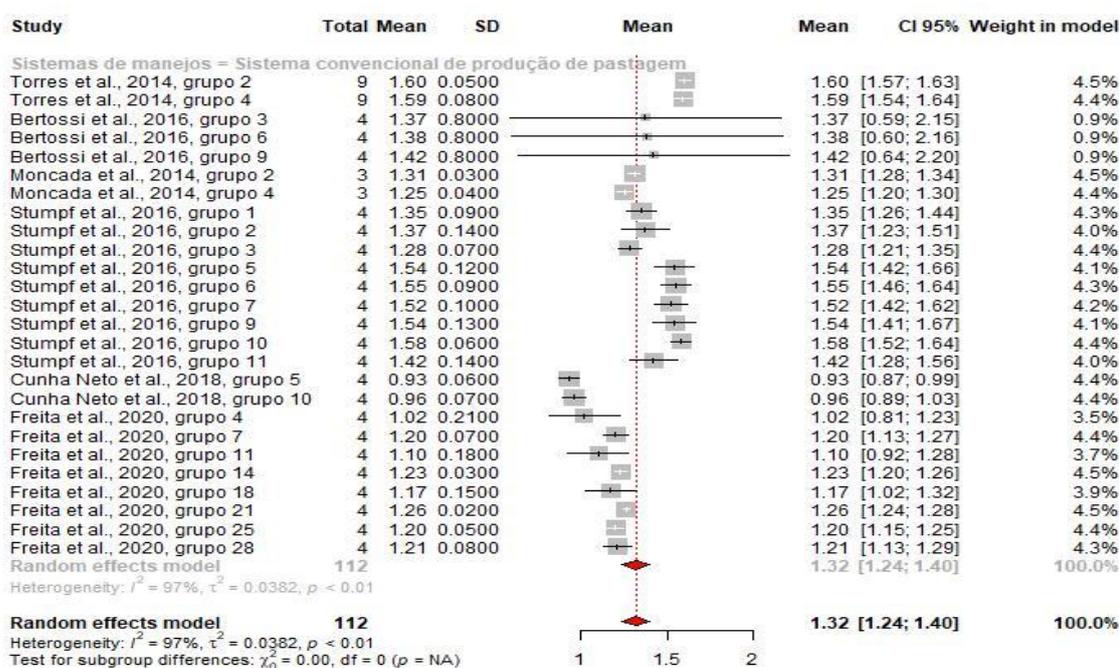


Figura 5. Modelo de meta-análise para densidade do solo (Ds) com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem

Macroporosidade

O efeito do modelo geral da variável macroporosidade foi de $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo que este está abaixo do limite crítico sugerido na literatura de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o qual é definido como impeditivo ao crescimento radicular, (Dexter, 1988; Bertacchi et al., 2012); a redução de macroporos abaixo deste valor pode limitar o transporte de água e nutrientes através da zona radicular (Bevan, 1980), o intervalo de confiança a 95% encontrou-se entre $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ limite inferior, e $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ limite superior, a heterogeneidade dos dados globais mostrou-se alta ($I^2=99,6 \%$), 34 grupos foram identificados nos estudos incluídos aferindo este parâmetro (Figura 6).

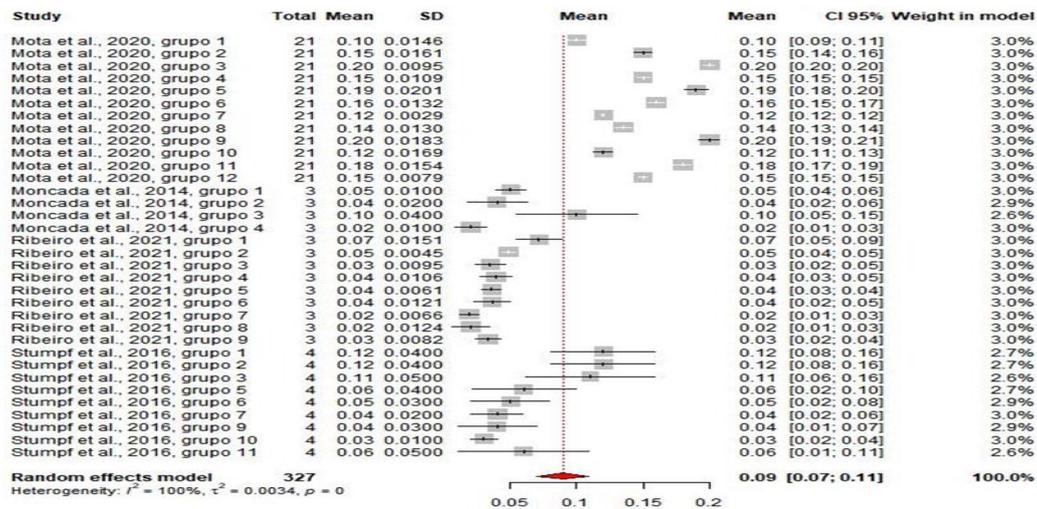


Figura 6. Modelo de meta-análise para macroporosidade

A meta-análise para o agrupamento em profundidade de coleta do parâmetro macroporosidade estão demonstrados na tabela 3. As profundidades encontradas nos estudos incluídos, sujeitos há análises metanalíticas variaram entre 0,00 a 0,30 m, onde os intervalos de confiança comprovaram diferenças estatísticas, nas diferentes profundidades identificadas, sendo que a profundidade de 0,00-0,05 m teve maior média de macroporosidade ($0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e a menor média sob a profundidade de 0,20-0,30 com $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo Tezolin et al. (2021) a macroporosidade possui redução a medida em que ocorre o aumento da profundidade, essa diminuição se deve provavelmente a menor quantidade de matéria orgânica em maiores profundidades e o próprio adensamento natural do solo. O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e o limite superior $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A heterogeneidade foi alta nas três primeiras profundidades encontradas, e ausente na camada de 0,20-0,30 m.

Tabela 3. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para macroporosidade com agrupamento profundidade de coleta.

Macroporosidade	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	0,12	0,08	0,16	$I^2 = 99,7\%$ $p < 0,001$	2	9
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	0,06	0,04	0,09	$I^2 = 85,8\%$ $p < 0,01$	3	10
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	0,09	0,06	0,13	$I^2 = 99,5\%$ $p < 0,001$	3	12
Profundidade de coleta: 0,20-0,30	0,03	0,02	0,04	$I^2 = 0,00\%$ $p = 0,430$	1	3

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$.

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

A meta-análise para os sistemas de manejo observados neste estudo da variável macroporosidade permitiu identificar dois sistemas de uso do solo para produção de pastagem, são eles: ILP e Sistema Convencional de Produção de Pastagem. Detectou-se que houve diferença estatística entre os intervalos de confiança dos sistemas de manejos, sendo que em ILP foi de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, abaixo do limite crítico citado na literatura de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Bertacchi et al., 2012), estes resultados corroboram com os observados por Bortolini et al. (2015) estudando as propriedades físicas do solo em um sistema ILP, onde observaram que o pisoteio animal não afetou negativamente a macroporosidade do solo (Figura 7).

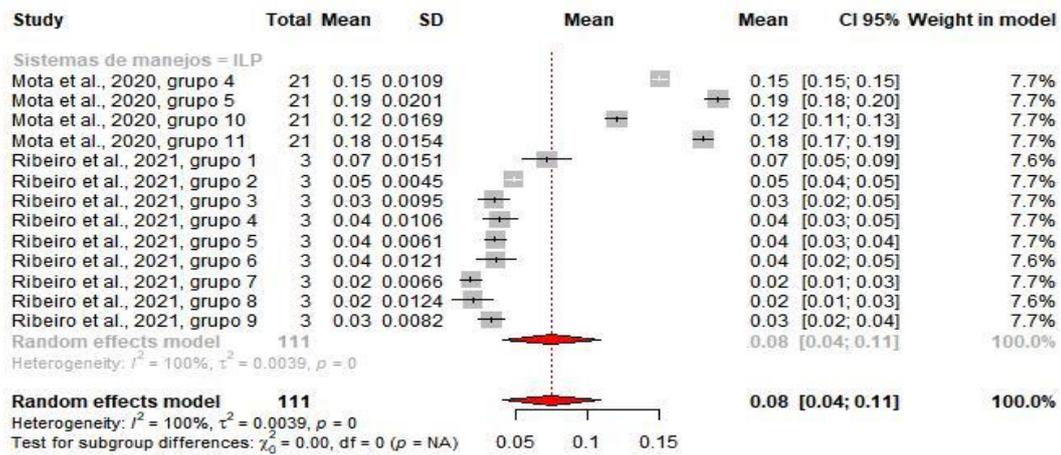


Figura 7. Modelo de meta-análise para macroporosidade com sistema de manejo: ILP

Já o sistema convencional de produção de pastagem apresentou o efeito do modelo de $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Caetano et al. (2013) alertam que pastagens com elevada degradação, sem correção ou fertilização, com manejo de pastejo equivocado tendem a diminuir o número de macroporos do solo. O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior de $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e limite superior de $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A heterogeneidade encontrou-se alta em ambos os sistemas de produção de pastagem (Figura 8).

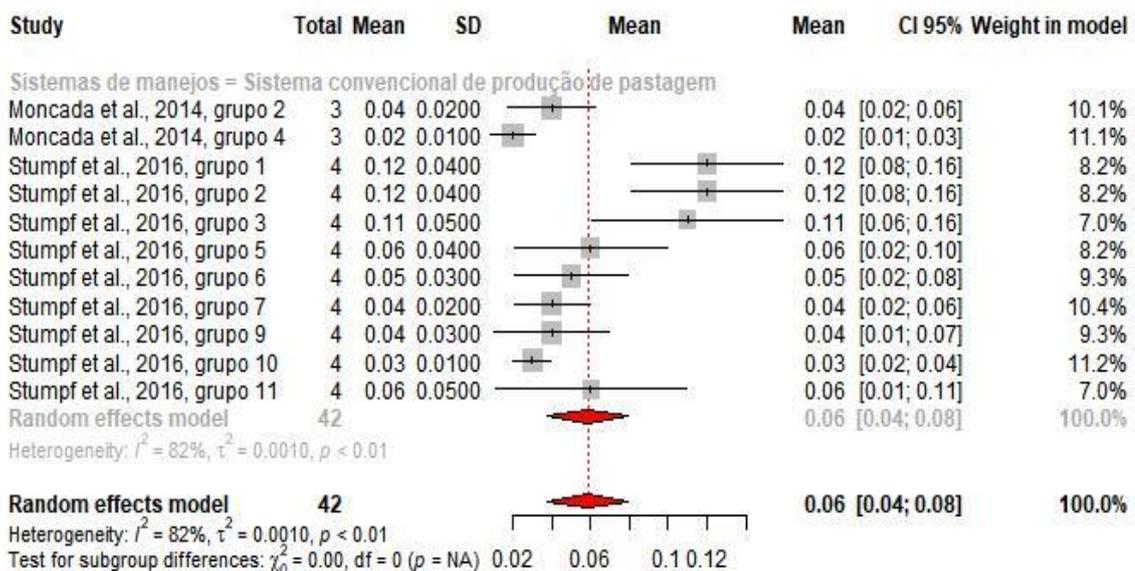


Figura 8. Modelo de meta-análise para macroporosidade com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem

Microporosidade

O desfecho geral para o parâmetro macroporosidade indicou o efeito de modelo de $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, dentro do limite crítico mencionado na literatura de $> 0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Azevedo & Dalmolin, 2006), para Mazurana et al. (2013) a microporosidade sofre mais por características intrínsecas ao solo, como a textura e o teor de matéria orgânica, do que influência de tráfego sobre o solo. O limite do intervalo de confiança inferior foi de $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e o limite superior $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Foram identificados 34 grupos nos estudos incluídos que determinaram esta variável. Quanto a heterogeneidade destes dados, esta foi alta $I^2=99,4$ (Figura 9).

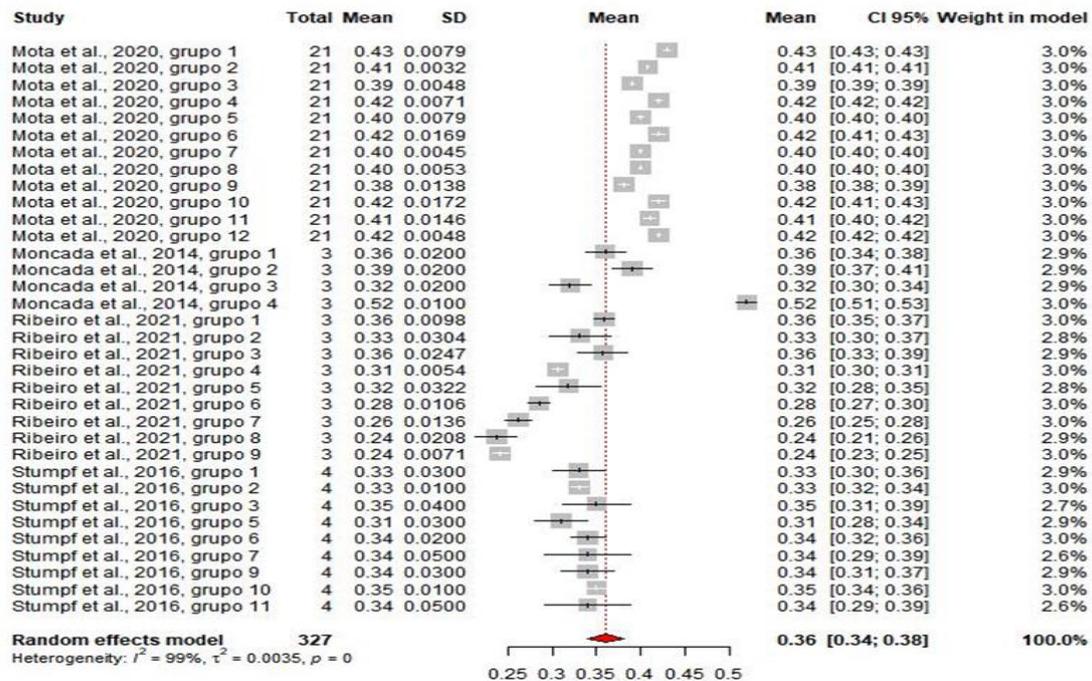


Figura 9. Modelo de meta-análise para microporosidade

O resultado metanalítico para os agrupamentos em profundidade de coleta do parâmetro microporosidade estão descritos na Tabela 4. As profundidades encontradas nos estudos integrados a pesquisa, sujeitos as avaliações com meta-análise variaram entre 0,00 a 0,30 m, onde os intervalos de confiança demonstram diferenças estatísticas, contudo nas profundidades de 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 m não houve diferença estatística entre si, sendo $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ o efeito do modelo, das profundidades mencionadas, desfecho que corrobora com encontrado por Tezolin et al. (2021) em que observaram que a microporosidade tende a se manter estável com o aumento da profundidade. A profundidade de 0,00-0,05 m teve a maior média de macroporosidade ($0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e o limite superior $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A heterogeneidade foi alta para as três primeiras profundidades identificadas, sendo nula para a profundidade de 0,20-0,30 m ($I^2=0$).

Tabela 4. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para microporosidade com agrupamento profundidade de coleta

Macroporosidade	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	0,39	0,37	0,41	$I^2 = 98,8\%$ $p < 0,01$	2	9
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	0,35	0,31	0,39	$I^2 = 99,3\%$ $p < 0,01$	3	10
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	0,35	0,31	0,39	$I^2 = 99,6\%$ $p < 0,001$	3	12
Profundidade de coleta: 0,20-0,30	0,35	0,34	0,36	$I^2 = 0,00\%$ $p = 0,770$	1	3

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$.

Os manejos do solo para a produção de pastagem identificados para o parâmetro microporosidade foram: ILP e sistema convencional de produção de pastagem. A meta-análise, o intervalo de confiança e o teste de heterogeneidade da variável microporosidade para o sistema de ILP estão apresentados na Figura 10. O efeito do modelo para do sistema de ILP teve média de $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo Spera et al. (2012), em acompanhamento contínuo de sistemas de ILP, observaram melhoria da microporosidade ao passar dos anos, chegando até há não diferir estatisticamente de solos sob vegetação nativa. O intervalo de confiança a 95% apresentou $[0,30;0,37]$, onde $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o intervalo de limite de confiança inferior e $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o limite de intervalo superior. A heterogeneidade demonstrou-se alta ($I^2 = 100\%$).

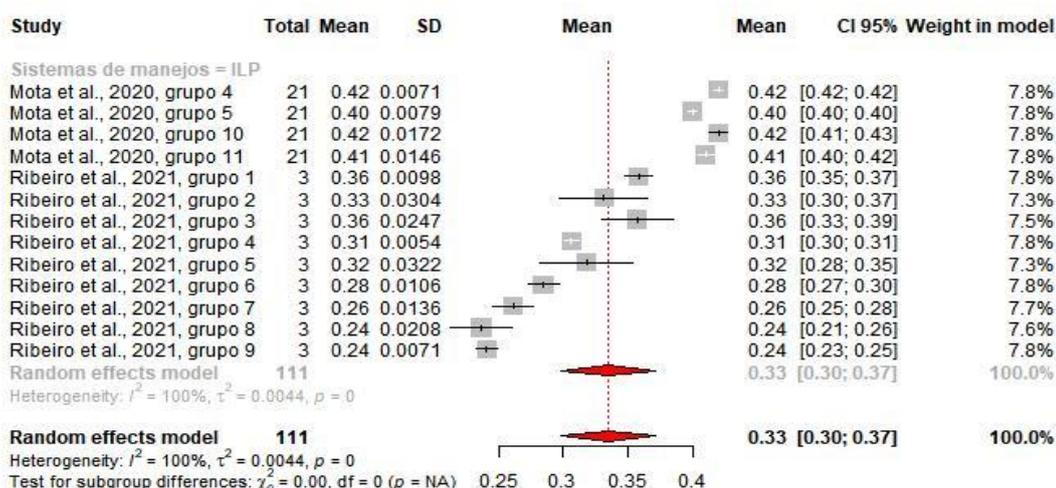


Figura 10. Modelo de meta-análise para microporosidade com sistema de manejo: ILP

O segundo manejo identificado nos estudos incluídos para microporosidade foi o sistema convencional de produção de pastagem demonstrando efeito do modelo de $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, maior que nível crítico ($0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) mencionado na literatura (Azevedo & Dalmolin, 2006), Bonini et al. (2015) ressaltaram que a microporosidade é um atributo pouco influenciado pelo manejo do solo, já macroporosidade é afetada diretamente pela degradação ou melhora da estrutura do solo, e as alterações na microporosidade estão mais vinculadas a sua textura.

O intervalo de confiança a 95% variou de $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A heterogeneidade para ambos os sistemas de manejo de produção de pastagem foi alta. Os limites de intervalo de confiança a 95% foram $[0,32;0,39]$, sendo $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ o limite inferior e $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ o limite intervalo de confiança superior (Figura 11).

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

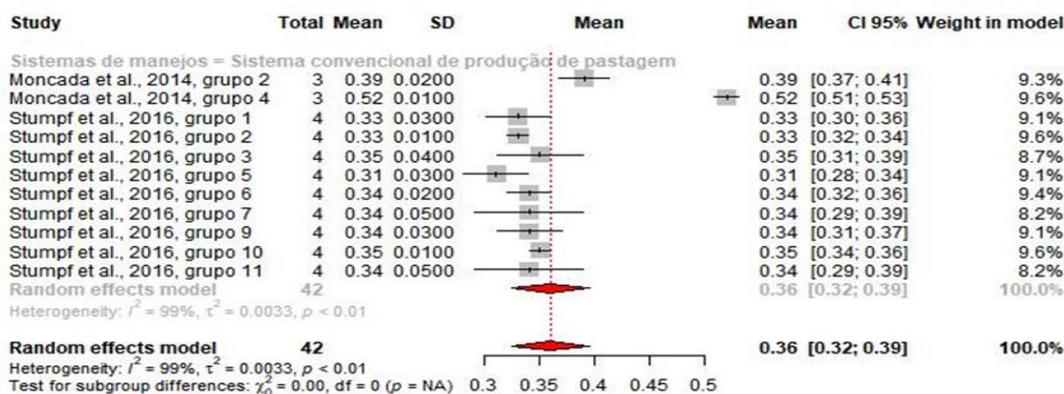


Figura 11. Modelo de meta-análise para microporosidade com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem

Porosidade total

Quanto a porosidade total, o efeito do modelo global foi de $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, próximo ao limite crítico citado na literatura $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Kiehl, 1979; Azevedo & Dalmolin 2006) intervalos de confiança do limite inferior foi de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e o limite superior foi de $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e o teste de heterogeneidade foi alto ($I^2 = 97,5\%$), sendo que 69 grupos foram identificados mensurado este parâmetro.

Quanto ao desfecho da meta-análise, para o agrupamento em profundidade de coleta desta variável, foi identificado que as profundidades estiveram entre 0,00 a 0,40 m, de 0,00 a 0,30 m foi observada alta heterogeneidade, sendo que na profundidade de 0,30-0,40 m os dados se mantiveram homogêneos.

Foi possível observar que as profundidades de 0,05-0,10 a 0,10-0,20 m não apresentaram diferenças estatísticas em seus intervalos de confiança, onde as médias dos efeitos para essas profundidades foi de $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, as profundidades de 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m diferiram estatisticamente das demais $[0,43;0,51]$ e $[0,24;0,69]$, respectivamente (Tabela 5). Segundo Tezolin et al. (2021), valores maiores de porosidade total estão associados há maior concentração de microporos e melhor estruturação do solo, em decorrência das práticas de manejo empregadas. Ressalta-se que a porosidade total do solo é inversamente proporcional à densidade, podendo ocorrer a diminuição de macroporos e o incremento da matéria orgânica, cujo auxílio beneficia a estruturação do solo (Martinkoski et al. 2017).

Tabela 5. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para porosidade total com agrupamento profundidade de coleta.

Porosidade Total	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	0,41	0,33	0,48	$I^2 = 96,9\%$ $p < 0,01$	3	15
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	0,42	0,36	0,47	$I^2 = 96,8\%$ $p < 0,01$	6	25
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	0,42	0,37	0,47	$I^2 = 97,8\%$ $p < 0,001$	4	16
Profundidade de coleta: 0,20-0,30	0,47	0,43	0,51	$I^2 = 96,8\%$ $p < 0,01$	2	15
Profundidade de coleta: 0,30-0,40	0,47	0,24	0,69	$I^2 = 0,00\%$ $p = 1,00$	1	3

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$.

O desfecho metanalítico para os sistemas de manejo identificados neste estudo para a variável porosidade total, estes estão sumarizados na Tabela 6, foi possível observar a identificação de três sistemas de manejos do solo para produção de pastagem, são eles: ILP, ILPF e Sistema Convencional de Produção de

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

Pastagem, e o sistema Floresta como sendo referência. Detectou-se que houve diferença estatística entre os intervalos de confiança a 95%, para os quartos sistemas encontrados nos artigos incluídos, onde o sistema de manejo ILPF apresentou maior média de efeito do modelo $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior de $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e limite superior de $0,71 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, onde o grupo Floresta diferiu estatisticamente dos demais. A heterogeneidade para o grupo floresta foi nula, e alta para os manejos de ILP e sistema convencional de produção de pastagem, baixa para o sistema de ILPF.

Tabela 6. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para porosidade total com os sistemas de manejos

Porosidade Total	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Floresta	0,48	0,26	0,71	$I^2 = 0,00\%$ $p = 0,99$	1	3
ILP	0,39	0,34	0,45	$I^2 = 98,1\%$ $p < 0,01$	2	13
ILPF	0,50	0,48	0,52	$I^2 = 46,3\%$ $p < 0,01$	1	12
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	0,45	0,41	0,48	$I^2 = 96,5\%$ $p < 0,01$	5	24

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

A porosidade total do sistema referência floresta nativa, Figura 12, demonstra que o desfecho para esta variável, não apresentou heterogeneidade ($I^2 = 0$), onde o efeito do modelo foi de $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, próximo ao valor crítico mencionado na literatura (Azevedo & Dalmolin 2006) para Martinkoski et al. (2017) os valores de porosidade total maiores em proximidade à superfície do solo, na maioria das vezes são encontrados em áreas sob floresta nativa. O intervalo de confiança a 95% foi de $[0,26; 0,71]$, onde $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o limite inferior do intervalo de confiança e $0,71 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o limite superior.

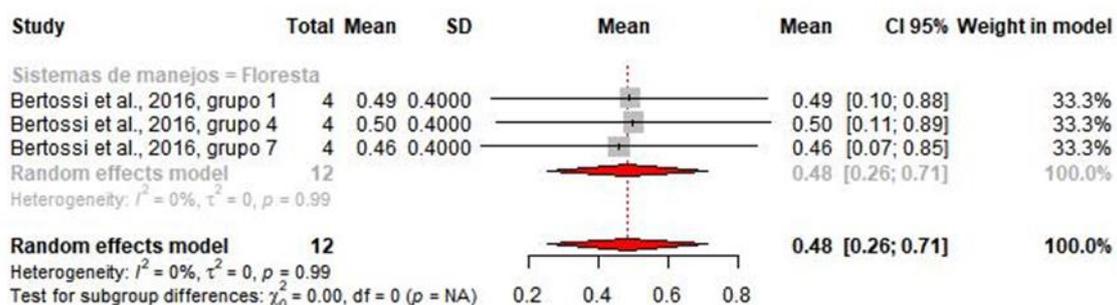


Figura 12. Modelo de meta-análise para porosidade total no grupo: Floresta.

De acordo com a Figura 13, é possível observar que o manejo de solo de ILP, apresenta um desfecho para porosidade total de $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo Pezarico et al. (2013), solos que indicam maior densidade apresentam redução de porosidade total, diminuição de permeabilidade e da infiltração hídrica, rompimento dos agregados e acréscimo da resistência mecânica à penetração, podendo comprometer a qualidade física do solo. O intervalo de confiança a 95% foi de $[0,34; 0,45]$, onde $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o intervalo de limite de confiança inferior, e $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o limite do intervalo superior. A heterogeneidade demonstrou-se alta ($I^2 = 98\%$).

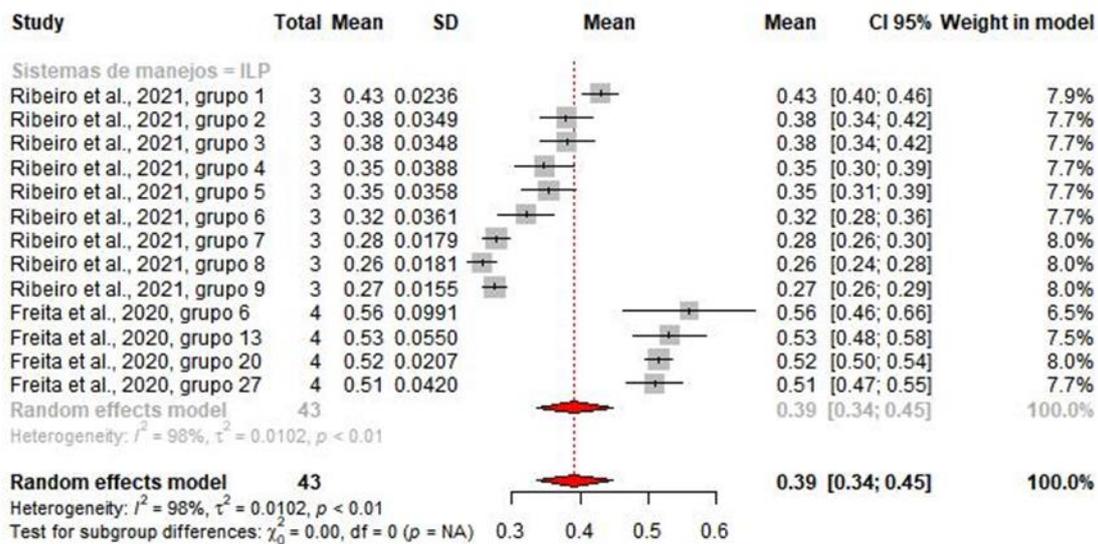


Figura 13. Modelo de meta-análise para porosidade total com sistema de manejo: ILP.

Conforme a Figura 14, é possível observar que o manejo de solo de ILPF, apresenta o desfecho para porosidade total de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para Assis et al. (2015), os valores menores de densidade e maiores de porosidade total no sistema de ILPF, demonstram a eficácia desse sistema de produção na recuperação da qualidade física do solo. Silva et al. (2016) observaram que sistema de ILPF, com apenas dois anos de instalação, cultivados em Latossolo Amarelo de textura argilosa, na cidade de Santa Fé (PA), elevaram a qualidade física do solo, com melhorias na densidade e porosidade. O intervalo de confiança a 95% foi de $[0,48; 0,52]$, onde $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o intervalo de limite inferior, e $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o limite do intervalo superior. A heterogeneidade demonstrou-se baixa ($I^2 = 46\%$).

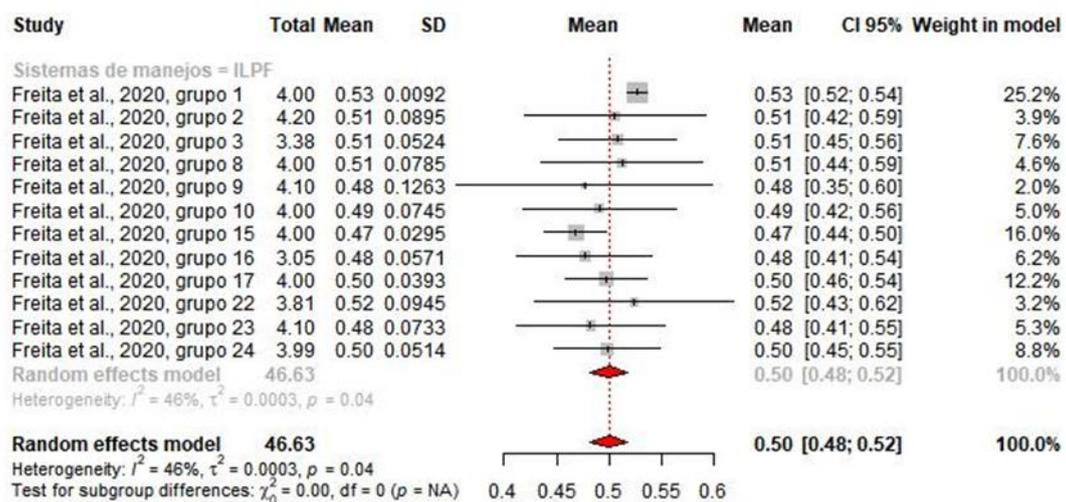


Figura 14. Modelo de meta-análise para porosidade total com sistema de manejo: ILPF.

O desfecho para variável porosidade total do manejo convencional de produção de pastagem, confirma alta heterogeneidade ($I^2 = 96\%$), onde o efeito do modelo é de $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Resultado divergente do observado por Lisboa & Miranda (2014) quando avaliaram pastagem solteira constataram que pode ocorrer restrições físicas, e maior densidade e menor porosidade total em virtude do elevado tráfego animal, gerado

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

pele uso de taxas de lotação inadequadas para a capacidade de suporte das pastagens, portanto o manejo do pastejo adequado é indispensável. O intervalo de confiança a 95% foi de [0,41;0,48], sendo 0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ é o limite inferior, e 0,48 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ é o limite intervalo de confiança superior (Figura 15).

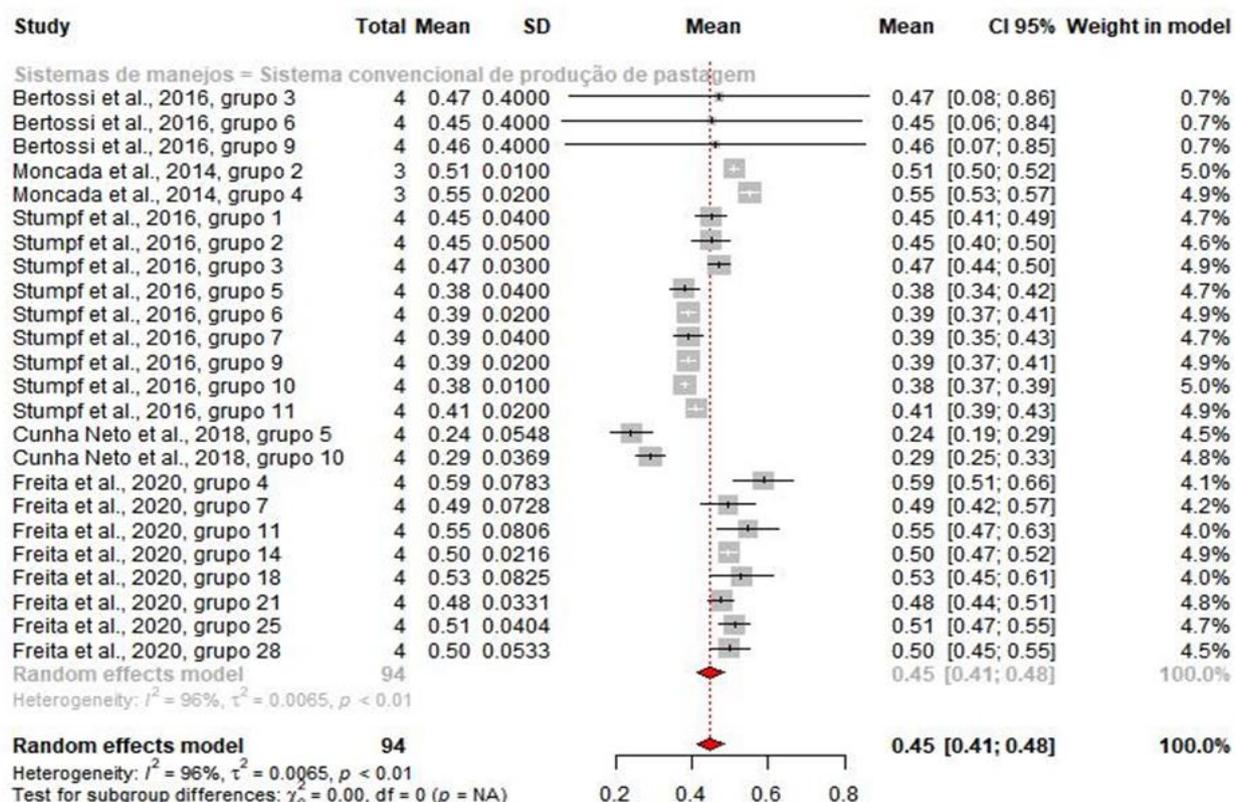


Figura 15. Modelo de meta-análise para porosidade total com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.

Resistência do solo à penetração de raízes - (RSP)

O desfecho geral para o parâmetro resistência do solo à penetração de raízes indicou o modelo de efeito de 3,20 MPa, divergente do limite crítico de 2 MPa que vem sendo empregado como apontador da qualidade física do solo, tanto em ambientes sob plantio direto, como em áreas manejadas sob preparo convencional do solo (Moraes et al., 2014), sendo o limite do intervalo de confiança inferior de 2,47 MPa, e o limite superior 3,94 MPa. Foram identificados 13 grupos nos estudos incluídos que mensuram esta variável. Quanto a heterogeneidade destes dados, estes mostram-se altamente heterogêneos ($I^2=94,7$).

A meta-análise para os agrupamentos em profundidade de coleta para variável RSP estão apresentados na Tabela 7. As profundidades encontradas nos estudos incluídos, passíveis de avaliações metanalíticas variaram entre 0,00 a 0,30 m, onde os intervalos de confiança a 95%, comprovaram diferenças estatísticas, nas diferentes profundidades encontradas, sendo a profundidade de 0,05-0,10 m a menor média de RSP (1,64 MPa), e a maior média identificada na profundidade de 0,10-0,20 com 4,65 MPa, Santos et al. (2013) avaliando a mesma profundidade em pastagem (0,10-0,20 m), observaram maiores médias de resistência do solo à penetração, em decorrência possivelmente do efeito deletério das altas cargas do pisoteio de animais que cooperaram para o selamento superficial dos solos. O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior 0,55 MPa e o limite superior 5,39 MPa. A heterogeneidade foi alta ($I^2=98,3\%$) para

as profundidades de 0,00-0,05 m, e moderada para as profundidades de 0,05-0,10 ($I^2=72,7\%$) e 0,20-0,30 ($I^2=59,3\%$), sendo nula para as profundidades de 0,10-0,20 m.

Tabela 7. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para resistência do solo à penetração de raízes (RSP) com agrupamento profundidade de coleta.

Resistência do solo à penetração de raízes (RSP)	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	2,57	0,55	4,59	$I^2 = 98,3\%$ $p < 0,01$	1	2
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	1,64	1,12	2,15	$I^2 = 72,7\%$ $p = 0,03$	1	3
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	4,65	3,91	5,39	$I^2 = 0,00\%$ $p = 0,61$	1	3
Profundidade de coleta: 0,20-0,30	3,65	2,82	4,47	$I^2 = 59,3\%$ $p = 0,04$	2	5

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$.

O agrupamento para manejo do solo da variável RSP, permitiu identificar dois sistemas, o primeiro foi: sistema convencional de produção de pastagem, teve como efeito do modelo a média de 3,64 MPa, Oliveira et al. (2015) observaram resultados de RSP similares (3,24 MPa) aos identificados nessa meta-análise, conforme os autores isto deve-se ao sistema adotado, uma vez que a pastagem convencional, sofre impacto direto da chuva, pressão do pisoteio animal, pastejo intensivo e a ausência de práticas conservacionista do solo. Para Costa et al. (2015) a RSP aumenta com a compactação do solo, sendo impeditiva ao crescimento radicular das culturas quando esses índices estão acima da faixa de 1,5 a 3,0 MPa, Silva et al. (2019) observaram que valores de resistência à penetração acima de 2,5 MPa, é considerado restritivo ao crescimento das raízes de gramíneas. Portanto, manejos conservacionistas do solo são os mais indicados. O intervalo de confiança a 95% foi de [1,06;2,61], onde 1,06 MPa é o limite inferior, e 2,61 MPa o limite intervalo de confiança superior (Figura 16).

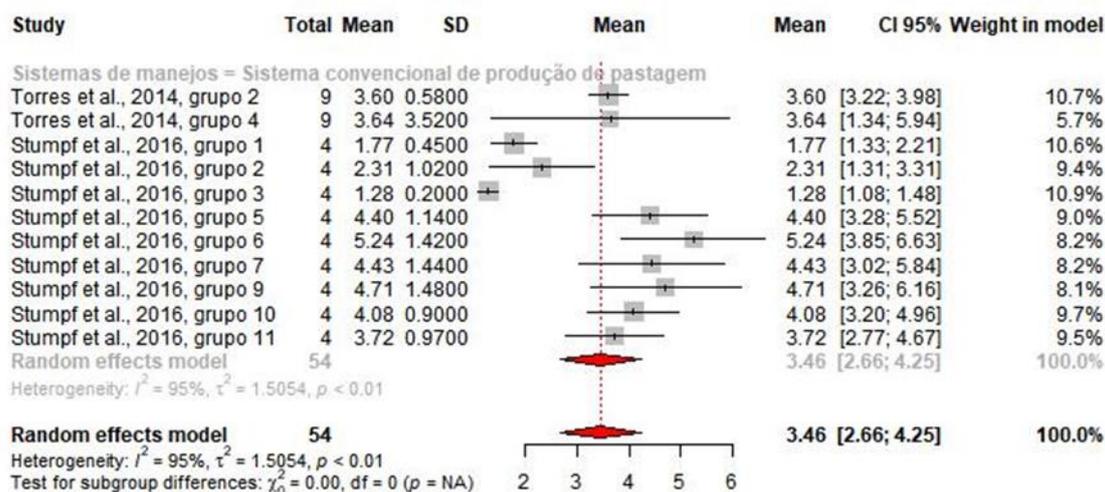


Figura 16. Modelo de meta-análise para resistência do solo à penetração de raízes com sistema de manejo: sistema convencional de produção de pastagem.

O grupo floresta foi segundo sistema identificado determinando o parâmetro RSP, e diferiu estatisticamente [1,06;2,61] do sistema anterior, sendo a média do efeito do modelo de 1,83 MPa (Figura 17), abaixo do limite crítico comumente citado na literatura, para Oliveira et al. (2015) a menor RSP em vegetação nativa pode ser associada ao acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo. Ressalta-

se que o parâmetro RSP, apresenta uma íntima relação com a umidade, uma vez que quanto maior a umidade, menor a RSP, e elevada umidade é frequentemente encontrada em sistema florestal nativo. A heterogeneidade do grupo floresta demonstrou-se moderada ($I^2=60,7$).

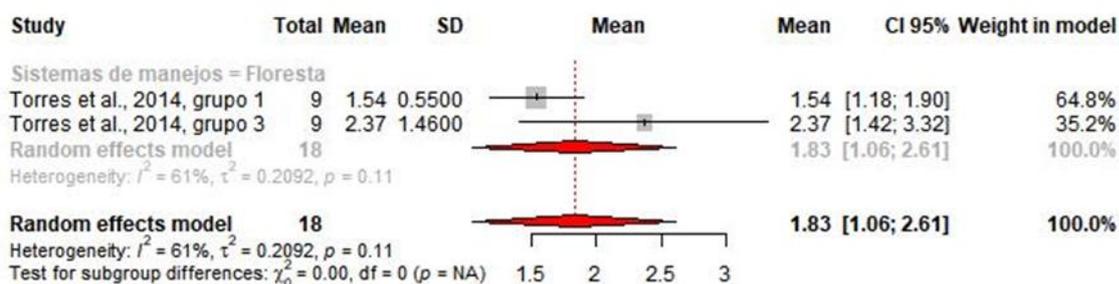


Figura 17. Modelo de meta-análise para resistência do solo à penetração de raízes com sistema de manejo: Floresta.

O baixo número de artigos identificados para integralizar a meta-análise para este agrupamento: manejo de solo, da viável RSP, tem a ver com ausência de informações estatísticas essenciais para realização do estudo metanalítico, visto que são necessárias além da média, número amostral o desvio padrão, e com grande recorrência foi observando ao longo desta pesquisa, ausência destas, e de outras fontes de variação estatística que fosse possível determinar o desvio padrão como: mediana, mínimo e máximo. Sendo essa uma das maiores limitações encontradas para realização de meta-análise na área das ciências agrárias, algo que precisa ser revisto, uma vez que, os vários estudos já existentes podem trazer luz a questões essenciais, e fomentarem o processo de tomada de decisão, nas diversas áreas do saber agrário.

Umidade Gravimétrica – (UG)

O efeito do modelo global da umidade gravimétrica foi de $0,18 \text{ g g}^{-1}$, o grau de umidade intervém, alterando a coesão entre as partículas do solo, que é maior no solo seco e diminuí na medida em que a quantidade de água aumenta, gerando separação das partículas e menor resistência à penetração (Klein & Klein, 2014). Salienta-se que a umidade influencia diretamente a RSP, além da dependência de características intrínsecas ao solo, como mineralogia, textura e estrutura (Bayat et al., 2017). O intervalo de confiança a 95% encontrou-se entre $0,16 \text{ g g}^{-1}$ limite inferior, e $0,21 \text{ g g}^{-1}$ limite superior, a heterogeneidade dos dados gerais mostrou-se alta ($I^2=99\%$), 25 grupos foram identificados nos estudos incluídos aferindo este parâmetro (Figura 18).

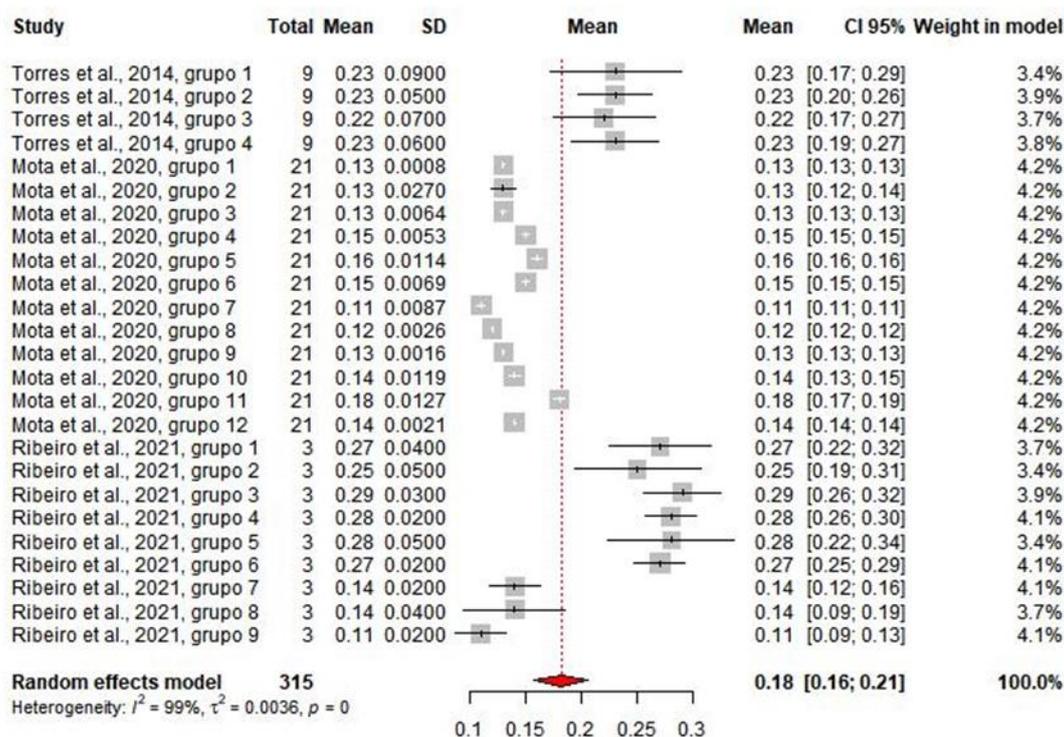


Figura 18. Modelo de meta-análise para umidade gravimétrica geral.

A meta-análise para os agrupamentos em profundidade de coleta do parâmetro de umidade gravimétrica estão demonstrados na Tabela 8. As profundidades encontradas nos estudos integralizados, sujeitos há análises metanalíticas variaram entre 0,00 a 0,30 m, onde intervalos de confiança comprovaram diferenças estatísticas, nas diferentes profundidades identificadas, sendo que 0,05-0,10 m apresentou a maior média 0,28 g g⁻¹, e a menor média observada sob a profundidade de 0,10-0,20 com 0,13 g g⁻¹, resultado divergente ao de Fernandes et al. (2018) que observaram maiores valores de UG em profundidade atestando que nas camadas mais profundas do solo há maior semelhança entre as curvas de umidade gravimétrica, uma vez que já não há mais efeito dos sistemas de uso e manejo de pastagens.

O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior 0,12 g g⁻¹ e o limite superior 0,29 g g⁻¹. A heterogeneidade foi alta nas profundidades de 0,00-0,05 m ($I^2=98,7\%$) e 0,10-0,20 m ($I^2=99,3\%$), os dados foram homogêneos nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,20-0,30 m.

Tabela 8. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para umidade gravimétrica com agrupamento profundidade de coleta.

Umidade Gravimétrica	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	0,19	0,15	0,23	$I^2=98,7\%$ p<0,01	3	11
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	0,28	0,26	0,29	$I^2=0,00\%$ p=0,82	1	3
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	0,13	0,12	0,15	$I^2=99,3\%$ p<0,01	2	9
Profundidade de coleta: 0,20-0,30	0,23	0,20	0,26	$I^2=0,00\%$ p=0,74	1	2

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando p<0,05.

A meta-análise para os sistemas de manejo observados nesta pesquisa do parâmetro umidade gravimétrica, estão apresentados na Tabela 9, foram identificados dois sistemas de manejos do solo para

produção de pastagem, são eles: ILP e Sistema Convencional de Produção de Pastagem, e o grupo controle (Floresta). Verificou-se que houve diferença estatística entre os intervalos de confiança dos sistemas de manejo: ILP [0,17;0,24], quando comparado ao sistema convencional de produção de pastagem [0,20;0,26] e o grupo Floresta [0,19;0,26]. Resultado semelhante foi encontrado por Souza et al. (2020), onde os valores médios de umidade gravimétrica foram baixos quando avaliaram um sistema de ILP, e notaram que quando a umidade no solo é menor a resistência à penetração é maior, evidenciando que estas propriedades são inversamente proporcionais. A heterogeneidade encontrou-se alta ($I^2=97,5\%$) para o sistema de manejo de ILP, e homogênea para sistema convencional de produção de pastagem e o grupo floresta.

Tabela 9. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para umidade gravimétrica com os sistemas de manejos.

Umidade Gravimétrica	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Floresta	0,22	0,19	0,26	$I^2=0,00\%$ $p=0,79$	1	2
ILP	0,20	0,17	0,24	$I^2=97,5\%$ $p<0,01$	2	13
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	0,23	0,20	0,26	$I^2=0,00\%$ $p=1,00$	1	2

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p<0,05$. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

A umidade gravimétrica do grupo floresta, Figura 19, demonstra que o desfecho desta variável, não apresentou heterogeneidade dos dados, onde o efeito do modelo foi de $0,22 \text{ g g}^{-1}$, sendo está a segunda maior média dos manejos identificados, resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2015), em que a maior umidade gravimétrica foi verificada na vegetação nativa, a qual foi superior aos demais usos. Esta maior umidade na vegetação nativa está vinculada ao maior sombreamento e acúmulo de serapilheira gerado nesse sistema. O intervalo de confiança a 95% foi de [0,19;0,26], onde $0,19 \text{ g g}^{-1}$ é o limite inferior, e $0,26 \text{ g g}^{-1}$ é o limite superior.

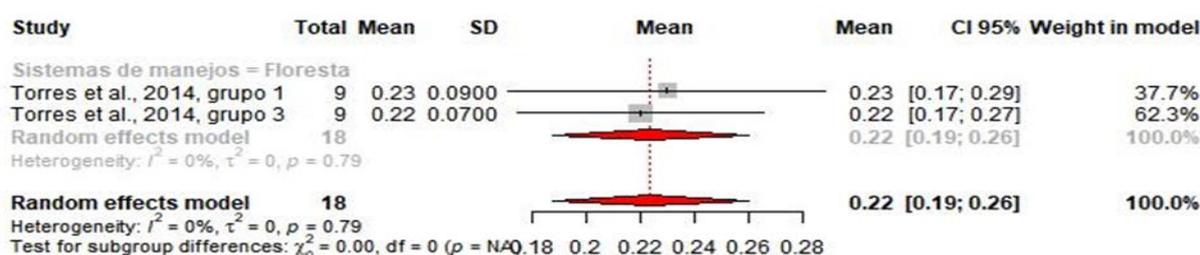


Figura 19. Modelo de meta-análise para Umidade Gravimétrica com sistema de manejo: Floresta.

De acordo a Figura 20, é possível observar que o manejo de solo de ILP, possui um desfecho para umidade gravimétrica de $0,20 \text{ g g}^{-1}$ sendo está a menor média identificada, vale ressaltar que a relação da umidade é inversamente proporcional ao indicador de RSP e infiltração, ou seja, estão diretamente relacionados e demonstram que a baixa umidade do sistema de ILP, provavelmente resultara em aumento da RSP (Costa et al., 2015). O intervalo de confiança a 95% foi de [0,17;0,24], onde $0,17 \text{ g g}^{-1}$ é o intervalo de limite do inferior e $0,24 \text{ g g}^{-1}$ é o limite de intervalo superior. A heterogeneidade demonstrou-se alta ($I^2 = 98\%$).

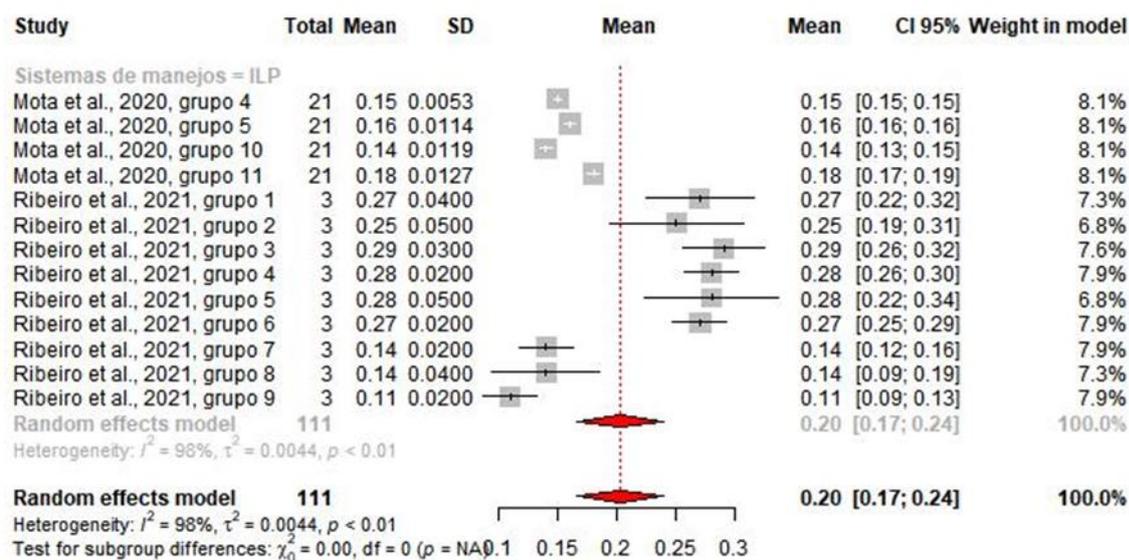


Figura 20. Modelo de meta-análise para umidade gravimétrica com sistema de manejo: ILP.

O desfecho para parâmetro umidade gravimétrica do sistema de manejo convencional de produção de pastagem, evidencia dados homogêneos ($I^2 = 0\%$), onde o efeito do modelo é de $0,23 \text{ g g}^{-1}$, sendo está a segunda maior média de umidade gravimétrica, este resultado diverge-se do encontrado por Santos et al. (2015), no qual ao estudar diferentes usos do solo (girassol, milho, sorgo, pastagem e mata nativa), observaram que os solos cultivados demonstraram umidade gravimétrica semelhantes entre eles em todas as profundidades, não diferindo do sistema de mata, contudo no sistema de pastagem convencional apresentaram os menores valores de umidade. O intervalo de confiança a 95% foi de $[0,20; 0,26]$, sendo $0,20 \text{ g g}^{-1}$ o limite inferior, e $0,26 \text{ g g}^{-1}$ o limite intervalo de confiança superior (Figura 21).

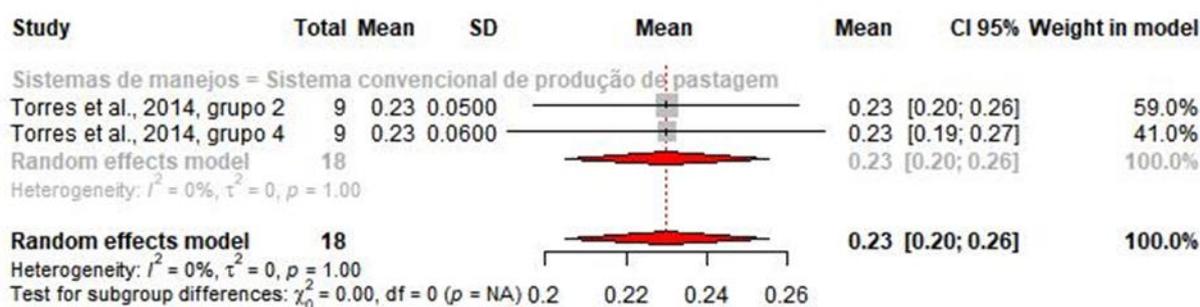


Figura 21. Modelo de meta-análise para umidade gravimétrica com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.

Agregados do solo

O efeito global de modelo do parâmetro agregados do solo foi de $2,25 \text{ g}$, para Salton et al. (2014) a melhora da estabilidade dos agregados é imprescindível para elevar a atividade biológica, resultando no crescimento de raízes e maior deposição de resíduos vegetais na camada superficial. As gramíneas produzem elevada quantidade de raízes e libera substâncias no solo que cooperam com o processo de agregação. O intervalo de confiança a 95% mostrou-se entre $2,13 \text{ g}$ limite inferior, e $2,37 \text{ g}$ limite superior, a

heterogeneidade dos dados gerais mostrou-se alta ($I^2=88,6\%$), 46 grupos foram observados determinando esta variável nos estudos que compõe esta pesquisa.

A meta-análise para o agrupamento em profundidade de coleta para variável agregado do solo estão sintetizados na Tabela 10. As profundidades encontradas nos estudos incluídos, sujeitas há avaliações metanalíticas variaram entre 0,00-0,40 m, onde intervalos de confiança a 95%, comprovaram diferenças estatísticas, nas diferentes profundidades encontradas, sendo a profundidade de 0,30-0,40 m a menor média de agregado do solo (2,07 g). Há descrição no trabalho de Suzuki et al. (2014) assegurando que o diâmetro médio ponderado dos agregados diminui conforme a profundidade do perfil de solo, e logo reduz a estabilidade dos agregados.

A maior média identificada foi na profundidade de 0,20-0,30 m com 2,57 g. Contudo, para Pontoni et al. (2012) os menores diâmetros de agregados achados na camada superficial do solo, visto que a menor estabilidade de agregados em razão da exposição ao impacto das gotas da chuva e da mineralização da MOS gerada pelo revolvimento do solo.

O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior 1,79 g e o limite superior 2,61 g. A heterogeneidade foi alta nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com $I^2= 82,6, 83,2$ e $92,6\%$ respectivamente, e homogênea nas profundidades de 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m.

Tabela 10. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para agregados com agrupamento profundidade de coleta.

Agregados do solo	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	2,36	2,11	2,60	$I^2 =82,6\%$ p<0,01	2	10
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	2,15	1,92	2,38	$I^2 =83,2\%$ p<0,01	3	13
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	2,12	1,82	2,43	$I^2 =92,6\%$ p<0,01	3	13
Profundidade de coleta: 0,20-0,30	2,57	2,52	2,61	$I^2 =0,00\%$ p=0,88	1	7
Profundidade de coleta: 0,30-0,40	2,07	1,79	2,34	$I^2 =0,00\%$ p=0,73	1	3

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando p<0,05.

O desfecho da meta-análise, para os sistemas de manejo observados nesta pesquisa do parâmetro agregado do solo estão apresentados na Tabela 11, sendo possível notar a identificação de três sistemas de manejos do solo para produção de pastagem, são eles: ILP, ILPF e Sistema Convencional de Produção de Pastagem, e o grupo Floresta como tratamento controle.

Constatou-se que houve diferença estatística dos intervalos de confiança a 95% para três sistemas, sobretudo para o sistema convencional de produção de pastagem com efeito de modelo de 2,48 g [2,38;2,59], quando comparado ao tratamento controle 1,91 g [1,54;2,29], os sistemas de ILP 2,22 g [1,84;2,60] e ILPF 2,23 g [2,12;2,34] não diferiram estatisticamente entre si, contudo diferiram do sistema convencional de produção de pastagem e do grupo floresta.

Nascimento et al. (2017) analisando a estabilidade de agregados em Neossolo sob pastagem e ambiente de mata, observaram um índice de estabilidade de agregados na ordem de 70%, porém sem diferença estatística. Entretanto eles ressaltam que em solos arenosos um índice dessa magnitude às vezes não é satisfatório para diminuir processos erosivos, por causa da grande quantidade de areia em superfície e

pela redução do conteúdo de MOS, contudo, em sistemas integrados de produção agropecuária estes efeitos são minimizados por meio da manutenção da cobertura vegetal em superfície.

O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior de 1,54 g e limite superior de 2,60 g. A heterogeneidade manteve-se baixa para os manejos de ILPF, sistema convencional de produção de pastagem e grupo controle com $I^2=49,8$, 31,6 e 45,8%, respectivamente, sendo alta a heterogeneidade do manejo de solo de ILP ($I^2=95,3\%$).

Tabela 11. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para agregados com os sistemas de manejos.

Agregados	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Floresta	1,91	1,54	2,29	$I^2 = 45,8\%$ $p=0,16$	1	3
ILP	2,22	1,84	2,60	$I^2 = 95,3\%$ $p<0,01$	2	13
ILPF	2,23	2,12	2,34	$I^2 = 49,8\%$ $p=0,03$	1	12
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	2,48	2,38	2,59	$I^2 = 31,6\%$ $p=0,15$	2	11

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p<0,05$. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

O agregado do solo do sistema floresta nativa, Figura 22, demonstra que o desfecho para este parâmetro, apresenta baixa heterogeneidade ($I^2 = 46\%$), onde o efeito do modelo foi de 1,91 g, sendo está a menor média dos sistemas encontrados para esta variável, resultado divergente ao observado por Ibiapina et al. (2014) em que verificaram maiores valores de diâmetro médio ponderado em área de mata nativa de cerrado, segundo os autores isso pode ser conferido, a situação de equilíbrio, em que se apresenta o sistema, beneficiando a manutenção e a estabilidade dos agregados. O intervalo de confiança a 95% foi de [1,54;2,29], onde 1,54 g é o limite inferior do intervalo de confiança e 2,29 g é o limite superior.

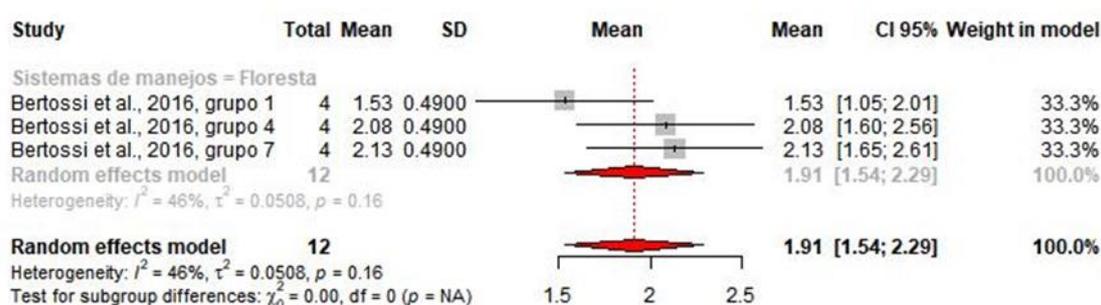


Figura 22. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: Floresta.

Na Figura 23, é possível observar o desfecho para o manejo de solo de ILP, da variável agregado do solo, sendo o efeito do modelo de 2,22 g [1,84;2,60], onde 1,84 g é o limite do intervalo de confiança inferior e 2,60 g é o limite de intervalo superior, a 95%. Para Conte et al. (2012) um aspecto evidente e favorável do sistema de ILP é aparente melhoria na estrutura do solo, sendo que o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água, é maior nas áreas sob pastejo, e o incremento da agregação do solo em áreas pastejadas é maior, a despeito da intensidade de pastejo. A heterogeneidade demonstrou-se alta ($I^2 = 95\%$).

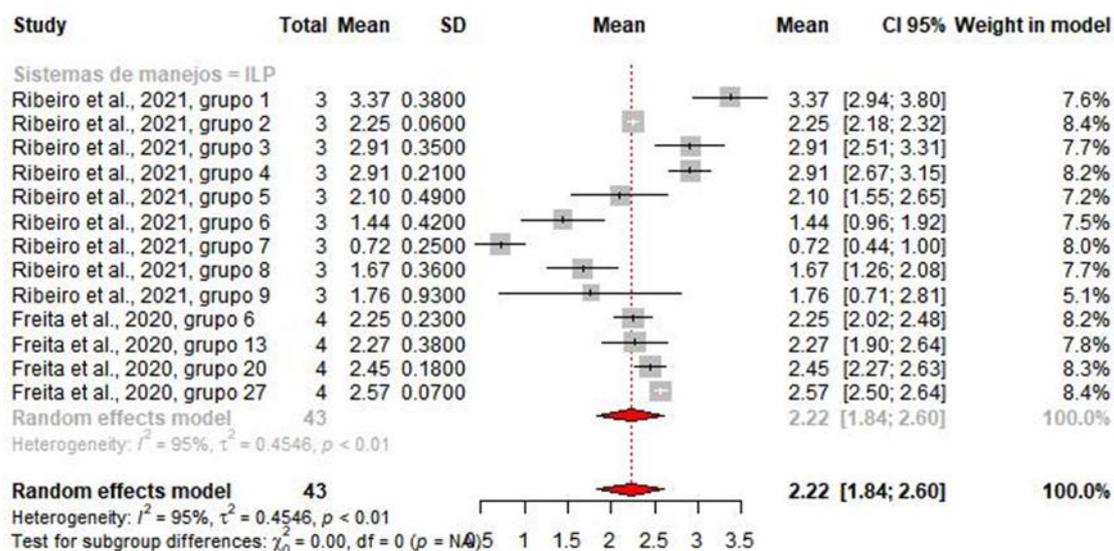


Figura 23. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: ILP.

O desfecho da meta-análise (Figura 24) para o sistema de ILPF para a variável agregado do solo, demonstrou efeito de modelo de 2,23 g, segundo Levinski-Huf & Klein (2018), a presença de espécie arbórea melhorou a agregação em Latossolo Vermelho após cinco anos de instalação do ILPF em relação ao ILP, com variações positivas detectadas na massa média de agregados, diâmetro médio geométrico e porcentagem de macroagregados. O intervalo de confiança a 95% foi de [2,12;2,34], onde 2,12 g é o limite inferior e 2,34 g é o limite de intervalo superior. Notou-se a heterogeneidade dos dados moderada ($I^2 = 50\%$).

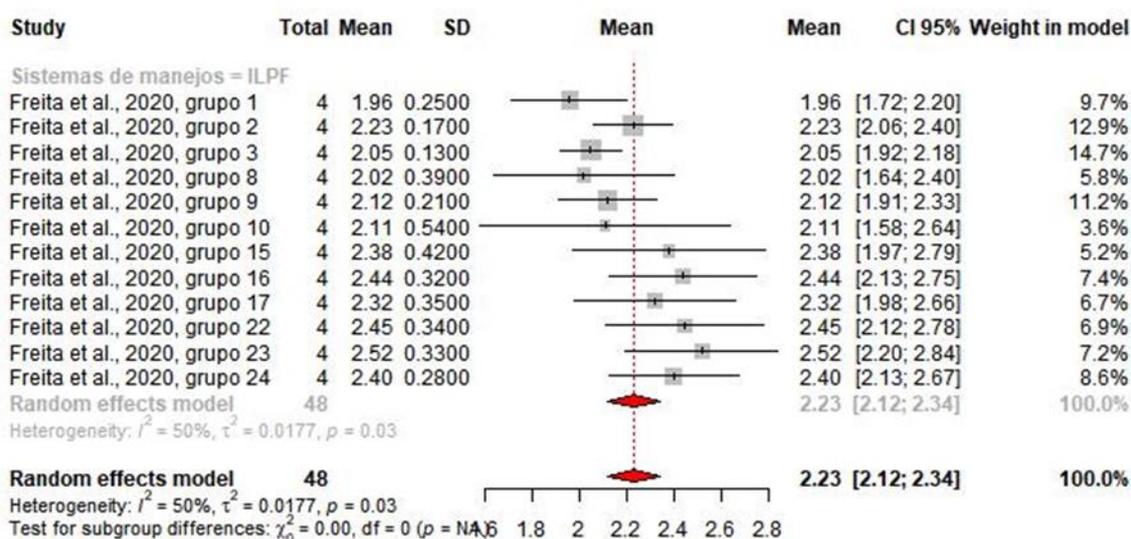


Figura 24. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: ILPF.

O sistema de manejo do solo de produção convencional de pastagem para a variável agregado do solo demonstrou efeito do modelo de 2,48 g, diferindo estatisticamente dos demais sistemas a 95% do intervalo de confiança [2,38;2,59], sendo 2,38 g o limite inferior e 2,59 g o limite intervalo de confiança superior (Figura 25). Este resultado provavelmente está vinculado à associação de alguns fatores, como o crescimento abundante e profundo sistema radicular, elevação da atividade da macrofauna do solo e ausência

de preparo do solo durante o ciclo da pastagem (Santos et al., 2012). Contudo ressalta-se resultado positivo no emprego de sistemas integrados, Loss et al. (2014) observaram melhorias nas propriedades físicas (elevação no volume total de poros e no diâmetro médio ponderado dos agregados e redução na densidade) do solo cinco anos após a instalação do sistema silvipastoril, quando comparado a área de lavoura e de pastagem solteira. A heterogeneidade dos dados apresentou-se moderada ($I^2=32\%$).

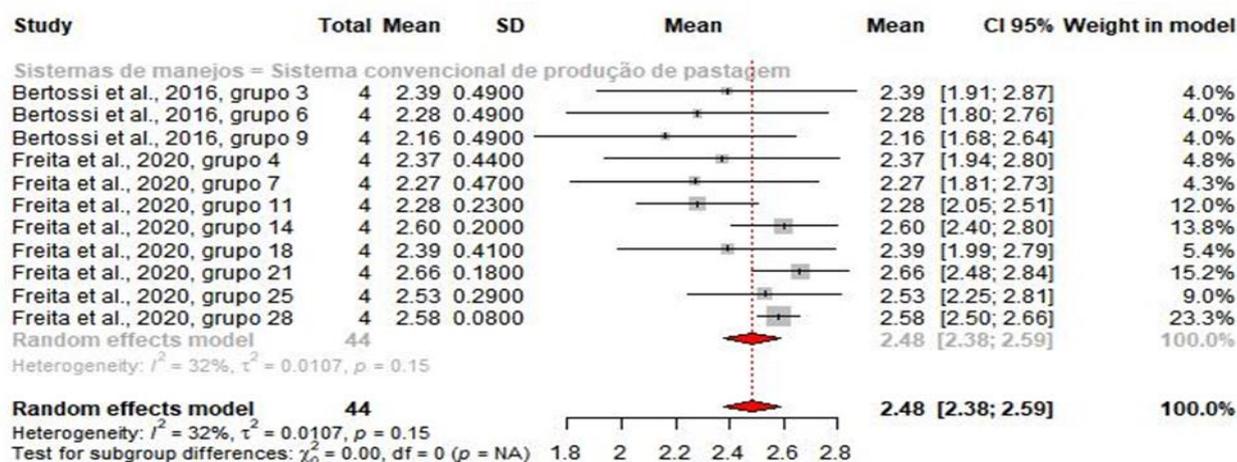


Figura 25. Modelo de meta-análise para agregados com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.

Matéria Orgânica do Solo – (MOS)

A matéria orgânica do solo apresentou efeito de modelo $18,35 \text{ g kg}^{-1}$, sendo o intervalo de confiança a 95% com limite inferior $15,78 \text{ g kg}^{-1}$ e $20,72 \text{ g kg}^{-1}$ limite superior. Para Lal (2016), a MOS é um elemento crítico da qualidade do solo e exerce numerosos serviços ecossistêmicos, como melhorias na qualidade física, química e biológica do solo. O $I^2=99,6\%$ indicou alta heterogeneidade, foram identificados 109 grupos para esse parâmetro.

A meta-análise para os agrupamentos em profundidade de coleta do parâmetro matéria orgânica do solo, estão demonstrados na Tabela 12. As profundidades encontradas que integram esse estudo, passíveis de análises metanalíticas variaram entre 0,00 a 0,40 m, onde os intervalos de confiança a 95%, comprovaram diferenças estatísticas, nas diferentes profundidades identificadas, sendo a profundidade de 0,05-0,10 m a maior média de MOS identificada $22,79 \text{ g kg}^{-1}$, e a menor média observada na profundidade de 0,10-0,20 m com $13,93 \text{ g kg}^{-1}$. Grande quantidade do carbono orgânico encontra-se nas camadas superficiais do solo, isso está relacionado a maior deposição de resíduos sobre o solo e a maior concentração de raízes na camada superficial. Sendo assim, grandes perdas de matéria orgânica podem ocorrer, já que a maior parte do carbono se encontra susceptível, ou seja, na camada superficial do solo, aonde práticas de mobilização e exposição do solo geram ao seu decréscimo. Sistemas de manejo e uso do solo de caráter conservacionista precisam, deste modo, ser empregados intencionando acréscimos e/ou manutenção dos estoques de carbono orgânico do solo (Oliveira et al., 2018).

A heterogeneidade foi alta nas profundidades de 0,00-0,05 m ($I^2=97,0\%$) e 0,05-0,10 m ($I^2=99,8\%$), 0,10-0,20 m ($I^2=98,1\%$), e moderada na profundidade de 0,30-0,40 m ($I^2=68,0\%$).

Tabela 12. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para matéria orgânica do solo (MOS) com agrupamento profundidade de coleta.

Matéria Orgânica do Solo (MOS)	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	17,83	14,40	21,26	$I^2 = 97,0\%$ $p < 0,01$	5	24
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	22,79	16,96	28,62	$I^2 = 99,8\%$ $p < 0,001$	7	35
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	13,93	10,01	17,85	$I^2 = 98,1\%$ $p < 0,001$	7	42
Profundidade de coleta: 0,30-0,40	18,95	17,68	20,23	$I^2 = 68,0\%$ $p < 0,01$	2	8

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$.

O desfecho da meta-análise, para os sistemas de manejo observados neste estudo do parâmetro MOS estão apresentados na Tabela 13, sendo possível notar a identificação de três sistemas de manejos do solo para produção de pastagem, são eles: ILP, ILPF e Sistema Convencional de Produção de Pastagem, e o grupo Floresta como tratamento controle.

Notou-se diferença estatística nos intervalos de confiança para os quatro sistemas, sobretudo para o sistema de ILP [6,04;11,75] quando comparado ao sistema referência floresta [21,75;34,84]. Os menores limites de intervalos de confiança foram observados nos sistemas de ILP e ILPF, diferindo estatisticamente entre si, e dos demais manejos, contudo para Loss, et al. (2014) sistemas de manejo como ILP e ILPF acrescentam matéria orgânica ao solo por meio de resíduos vegetais resultando em aumento desta fração, para Costa Júnior et al. (2012) sistemas de manejo conservacionistas podem preservar ou aumentar o carbono orgânico do solo, a capacidade de troca catiônica, a estruturação e retenção de água dos solos e assim diminuir a emissão de CO_2 para atmosfera, sendo vantajosa sua adoção.

O intervalo de confiança a 95% global teve como limite inferior de 6,04 $g\ kg^{-1}$ e limite superior de 34,84 $g\ kg^{-1}$. A heterogeneidade manteve-se alta para os manejos de produção de pastagem e homogênea para o grupo floresta.

Tabela 13. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para matéria orgânica do solo (MOS) com os sistemas de manejos.

Matéria Orgânica do Solo (MOS)	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Floresta	28,29	21,75	34,84	$I^2 = 0,00\%$ $p = 0,530$	1	2
ILP	8,90	6,04	11,75	$I^2 = 98,4\%$ $p < 0,001$	5	42
ILPF	17,97	15,14	20,81	$I^2 = 96,7\%$ $p < 0,01$	3	13
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	27,75	19,36	36,15	$I^2 = 98,6\%$ $p < 0,01$	6	22

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p < 0,05$. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

A MOS do grupo controle (floresta nativa), Figura 26, evidencia que o desfecho para este parâmetro, apresenta dados homogêneos, onde o efeito do modelo foi de 28,29 $g\ kg^{-1}$ [21,75;34,84], onde 21,75 $g\ kg^{-1}$ é o limite inferior do intervalo de confiança e 34,84 $g\ kg^{-1}$ é o limite superior, diferindo estatisticamente de todos os demais manejos. Velasquez & Righes (2019) notaram que em áreas de vegetação nativa, a decomposição da matéria orgânica, por meio das raízes e a atividade da macrofauna, resulta em canais no

solo que beneficiam a passagem de um volume de água maior, e asseguraram que a presença da fauna e cobertura vegetal sob o solo, são essenciais a conservação da matéria orgânica do solo.

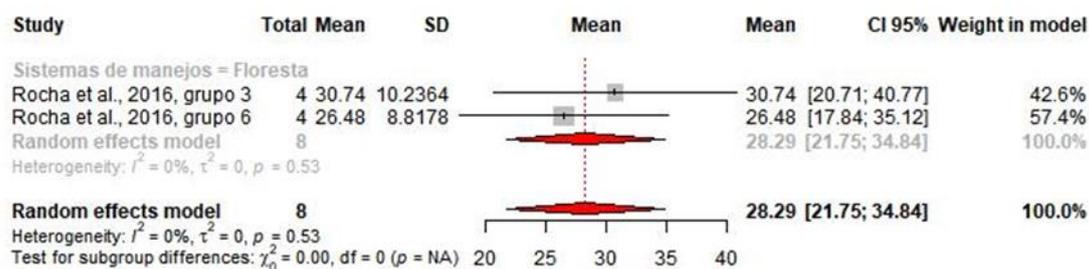


Figura 26. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: Floresta.

O desfecho para o manejo de solo de ILP, da variável MOS, demonstrou efeito do modelo de $8,90 \text{ g kg}^{-1}$ [6,04;11,75], onde $6,04 \text{ g kg}^{-1}$ é o limite do intervalo de confiança inferior e $11,75 \text{ g kg}^{-1}$ é o limite de intervalo superior a 95% (Anexo B), diferindo estatisticamente dos demais sistemas, contudo para Santos et al. (2012) o aumento dos teores de MOS e a melhoria da qualidade física do solo com a implantação das pastagens, em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade indicam, que o sistema de ILP tem potencialidade para diminuir o impacto ambiental, ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa, e consequentemente tem um aumento na estabilidade de produção das culturas anuais, contribuindo para aproveitamento da água e dos nutrientes. A heterogeneidade demonstrou-se alta ($I^2 = 97\%$).

Na Figura 27, é possível verificar o desfecho para o manejo de solo de ILPF, do parâmetro MOS, sendo o efeito do modelo de $17,97 \text{ g kg}^{-1}$ [15,14;20,81], onde $15,14 \text{ g kg}^{-1}$ é o limite do intervalo de confiança inferior e $20,81 \text{ g kg}^{-1}$ é o limite de intervalo superior, a 95%. Mesmo que este resultado esteja próximo ao sistema referência floresta, satisfatórios resultados são observados na literatura. Conforme Calil et al. (2016), as árvores elevam a deposição de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, já que apresentam raízes profundas que promovem a reabsorção de nutrientes lixiviados no perfil do solo.

Baldotto & Baldotto (2018) constataram em estudo realizado no estado Minas Gerais, Brasil que os sistemas de ILPF auxiliam no aumento dos estoques de carbono orgânico do solo e também aumentam a estabilidade da matéria orgânica do solo. Os autores afirmam que a conservação do solo possibilita a preservação da matéria orgânica do solo, o que pode ser alcançado com a adoção de sistemas integrados de produção. De acordo com o estudo, os sistemas ILPF possibilitam a melhoria simultânea da qualidade física, química e biológica do solo. A heterogeneidade demonstrou-se alta ($I^2 = 97\%$).

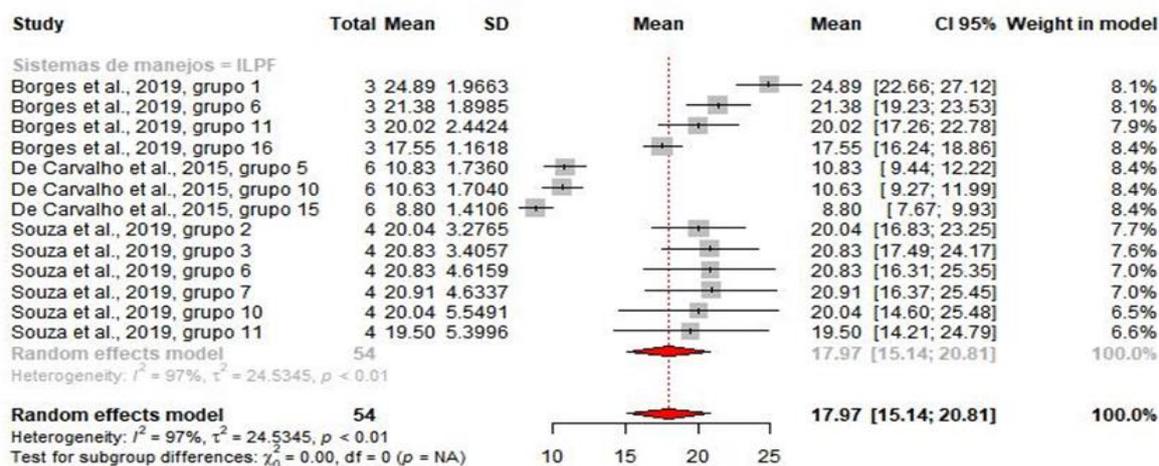


Figura 27. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: ILPF.

O sistema de manejo do solo de produção convencional de pastagem para o parâmetro MOS demonstrou efeito do modelo de $27,75 \text{ g kg}^{-1}$ [16,36;36,15], sendo $16,36 \text{ g kg}^{-1}$ o limite do intervalo de confiança inferior, e $36,15 \text{ g kg}^{-1}$ o limite intervalo de confiança superior (Figura 28), este desfecho assemelha-se ao encontrado para o sistema floresta, resultado divergente ao observado por Assmann et al. (2013), que atestaram que a frequência e o método de pastejo (rotacionado ou contínuo) alteram dinâmica da matéria orgânica do solo. Quanto a heterogeneidade dos dados apresentou-se alta ($I^2=99\%$).

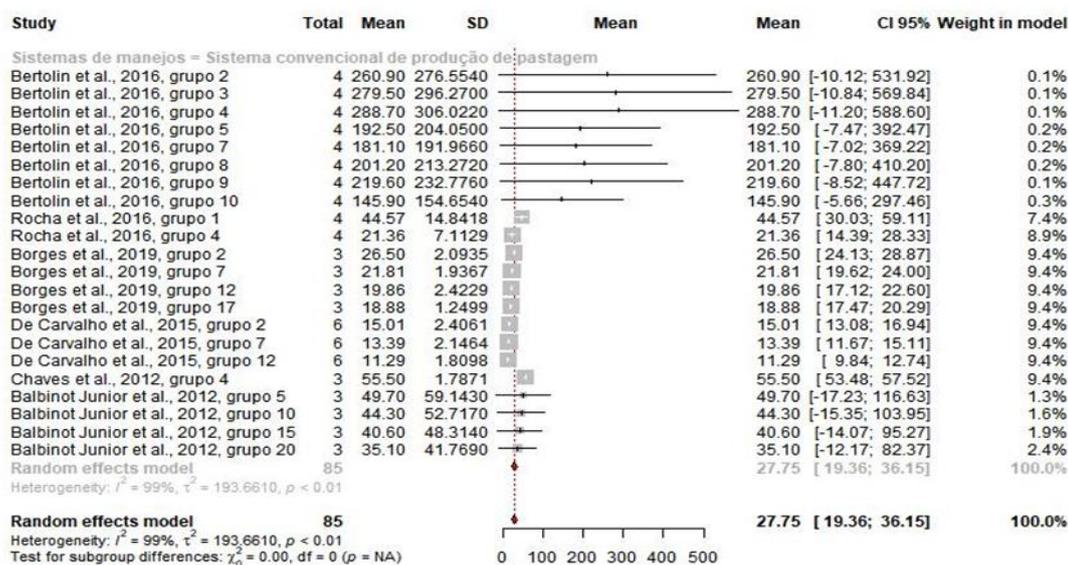


Figura 28. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.

Estoque de carbono no solo

O efeito global do modelo da variável estoque de carbono, foi de $15,96 \text{ g kg}^{-1}$, o intervalo de confiança a 95% mostrou-se entre $10,21 \text{ g kg}^{-1}$ limite inferior, e $21,70 \text{ g kg}^{-1}$ limite superior. Para Nanzer et al. (2019), dentre os indicadores de qualidade do solo relacionados à matéria orgânica do solo, o estoque de carbono é um dos mais confiáveis, pois, dependendo do sistema de manejo adotado, seu teor pode se manter estável, aumentar ou diminuir em relação a áreas onde não há ação antrópica. A heterogeneidade dos dados

gerais mostrou-se alta ($I^2=100\%$), 12 grupos foram observados mensurando este parâmetro nos artigos que compõe este estudo (Figura 29).

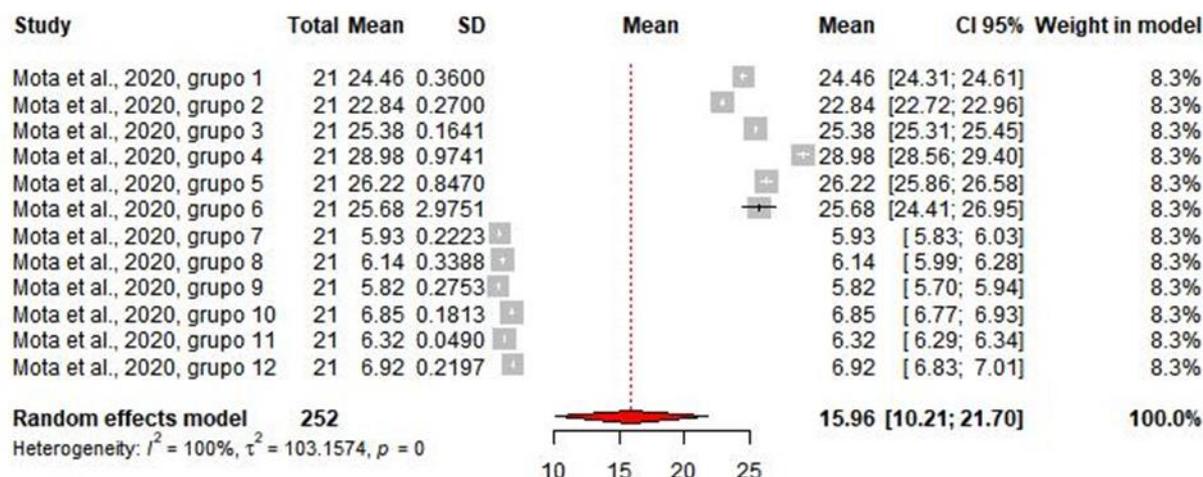


Figura 29. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo geral.

A meta-análise para o agrupamento em profundidade de coleta de solo, da variável estoque de carbono estão apresentados Tabela 14. As profundidades encontradas nos artigos que compõe esta pesquisa, aptas para análises metanalíticas encontravam-se entre 0,00 a 0,20 m, onde os intervalos de confiança a 95%, comprovaram diferenças estatísticas nas profundidades identificadas, a profundidade de 0,00-0,05 m mostrou-se com maior média de estoque de carbono no solo ($25,59 \text{ g kg}^{-1}$), e a profundidade de 0,10-0,20 com $6,33 \text{ g kg}^{-1}$. Para Oliveira et al. (2018) grande percentual de carbono orgânico são encontrados nas camadas superficiais do solo, estes autores observaram ao avaliarem os estoques carbono orgânico até 1 m de profundidade, em diferentes sistemas de uso do solo, que 49% do carbono foi armazenado entre 0 e 30 cm de profundidade e outros 51% entre 30 e 100 cm. Essa distribuição no perfil do solo está vinculada a elevada deposição de resíduos no solo e a uma grande concentração de raízes na camada superficial. Portanto, grandes perdas de matéria orgânica podem ocorrer, porque a maior parte do carbono está susceptível, isto é, na camada superficial do solo, onde práticas de preparo e exposição do solo levam a sua perda. Deste modo, sistema de manejo conservacionista são recomendados. O intervalo de confiança a 95% do agrupamento em profundidade, em ordens gerais, para estoque de carbono, teve como limite inferior $5,96 \text{ g kg}^{-1}$ e o limite superior $27,24 \text{ g kg}^{-1}$. A heterogeneidade foi alta em todas as profundidades avaliadas.

Tabela 14. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para estoque de carbono no solo com agrupamento profundidade de coleta.

Estoque de Carbono no solo	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	25,59	23,93	27,24	$I^2 = 99,7\%$ $p=0,00$	1	6
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	6,33	5,96	6,70	$I^2 = 98,9\%$ $p<0,01$	1	6

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2 : I-quadrado; N: número; *teste de I^2 , significativo quando $p<0,05$.

O desfecho da meta-análise, o intervalo de confiança e o teste de heterogeneidade do parâmetro estoque de carbono do solo para os sistemas de manejos encontrados nos estudos integralizados a esta pesquisa estão apresentados na Tabela 15.

Os manejos de solo para a produção de pastagem identificado foram: ILP e sistema convencional de produção de pastagem. Os intervalos de confiança a 95% demonstram diferença estatística. O efeito do modelo para o sistema ILP foi de 17,09 g kg⁻¹, e o sistema convencional de produção de pastagem foi de 15,74 g kg⁻¹. Sistemas que permitam maior acúmulo ou manutenção dos estoques de carbono orgânico do solo devem ser priorizados objetivando à sustentabilidade da produção agrícola, pecuária e florestal (Torres et al., 2018). Nesse cenário, destacam-se os sistemas integrados de produção. O intervalo de confiança a 95% esteve entre 5,09 g kg⁻¹ e 29,03 g kg⁻¹. Em ambos os sistemas de manejo a heterogeneidade foi alta.

Tabela 15. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I²) para estoque de carbono no solo com os sistemas de manejos.

Estoque de Carbono no solo	Efeitos do modelo	IC 95%		I ² e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
ILP	17,09	5,15	29,03	I ² =100% p<0,001	1	4
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	15,94	5,09	26,79	I ² =100% p<0,001	1	4

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I²: I-quadrado; N: número; *teste de I², significativo quando p<0,05. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

O manejo de ILP para variável estoque de carbono no solo evidenciou desfecho do efeito de modelo de 17,09 g kg⁻¹ [5,15;29,03], onde 5,15 g kg⁻¹ é o limite inferior do intervalo de confiança e 29,03 g kg⁻¹ é o limite superior (Figura 30). Baldotto et al. (2015) relataram a melhoria da fertilidade do solo associada ao aumento dos estoques de carbono orgânico do solo e à estabilidade em um sistema ILP. O sistema foi acompanhado por vinte e cinco anos em Minas Gerais, Brasil. Compostos orgânicos mais estáveis e menos solúveis foram observados, evidenciado por uma maior relação entre ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. Esses resultados demonstraram menor potencial de perda de carbono pelo processo de lixiviação, o que contribui para manter e aumentar os teores de matéria orgânica do solo. A heterogeneidade foi alta (I²=100%).

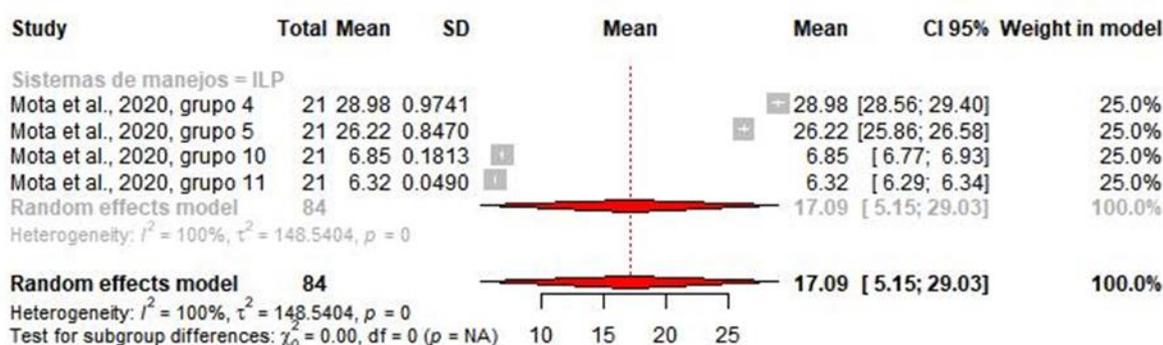


Figura 30. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo com Sistema de manejo: ILP.

O desfecho para o parâmetro estoque de carbono do solo do sistema convencional de produção de pastagem, demonstra-se alta heterogeneidade (I²=100%), onde o efeito do modelo é de 15,94 g kg⁻¹ [5,09;26,79], sendo 5,09 g kg⁻¹ é o limite do intervalo de confiança inferior e 26,79 g kg⁻¹ é o limite intervalo de confiança superior (Figura 31). Coser et al. (2018) identificaram que após quatro anos de conversão de

pastagens com baixa produtividade em sistema ILPF (consórcios de gliricídia com milho e *panicum*), houve acréscimo dos estoques de carbono orgânico no solo de 52,6 para 66,5 Mg ha⁻¹, na profundidade de 0-40 cm. Inclusive, foi observado um aumento nos teores de carbono orgânico particulado e mineral. Os autores recomendam a utilização do sistema integrado estudado visando a otimização da qualidade do solo e como alternativa de sustentabilidade para as condições locais.

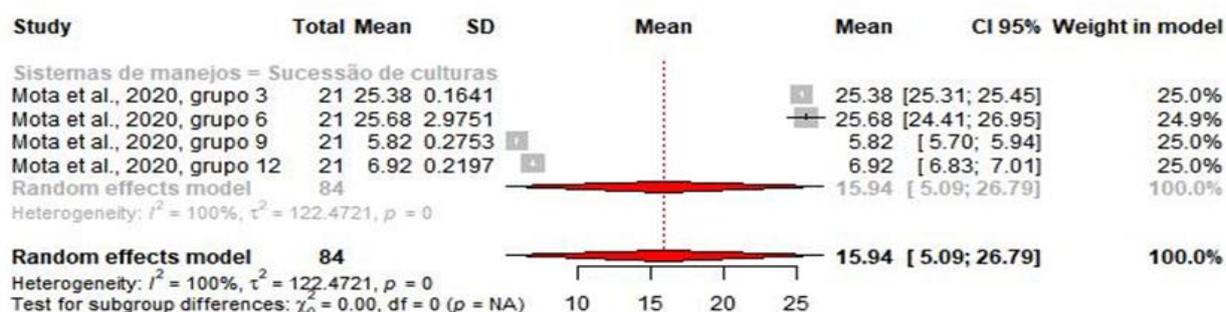


Figura 31. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo com sistema de manejo: sistema convencional de produção de pastagem.

Carbono orgânico total - (COT)

O efeito geral do modelo, para carbono orgânico total teve desfecho de 21,69 g kg⁻¹, onde o intervalo de confiança do limite inferior foi de 18,94 g kg⁻¹ e 24,43 g kg⁻¹ o limite superior, para Assmann et al. (2013) sistemas integrados de produção, bem conduzidos, cooperam para elevar os estoques de carbono orgânico total e material particulado. Em decorrência da maior produção de resíduos orgânicos, que contribui para a sustentabilidade da produção agrícola, visto que aumento do carbono lábil reduz a oxidação da matéria orgânica presente no solo, aumentando o estoque de carbono, e conseqüentemente, a qualidade do solo. Sendo que $I^2=99,8\%$ indicando alta heterogeneidade, foram identificados 15 grupos para esse parâmetro (Figura 32).

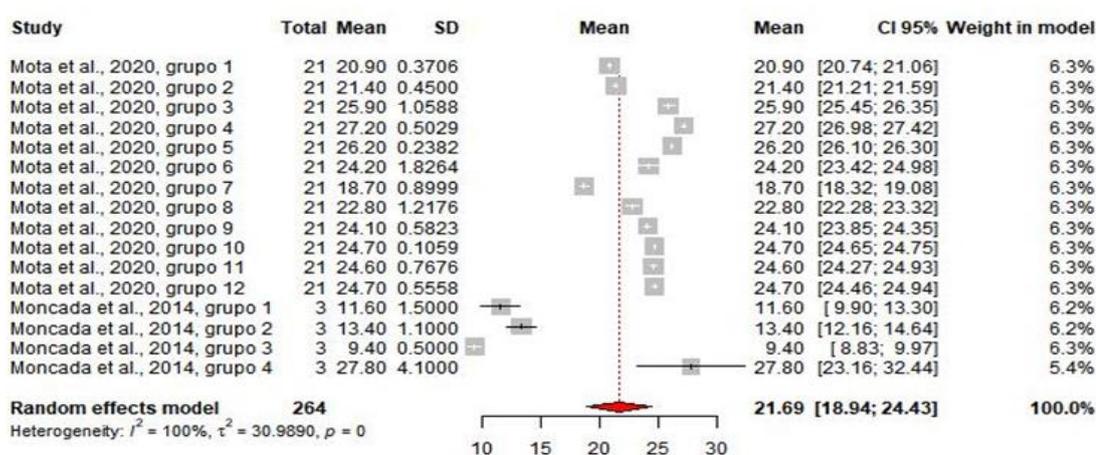


Figura 32. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total geral.

O carbono orgânico total e seu referente modelo de meta-análise, intervalos de confiança e teste de heterogeneidade estão sintetizados na Tabela 16, é possível observar que os efeitos do modelo são significativos para as profundidades identificadas, sendo que na profundidade de 0,05-0,10 m (15,31 g kg⁻¹

[7,45;23,17]) houve diferença estatística quando comparado as demais profundidades. Santos et al. (2013) verificaram em estudo sobre a dinâmica da MOS, em Argissolo Vermelho submetido a diferentes usos no Rio Grande do Sul, que o sistema de ILPF apresentou na camada superficial, valores de carbono orgânico total e fração grosseira (fração lábil) da MOS semelhantes aos daqueles observados em vegetação nativa, tomados como referência, o que comprova o potencial de sustentabilidade do sistema, uma vez que as frações lábeis são mais suscetíveis às modificações promovidas no solo.

O intervalo de confiança a 95% variou com limite inferior de 7,45 g kg⁻¹ e o limite superior de 26,41 g kg⁻¹, a heterogeneidade dos dados mostrou-se, alta em todas as profundidades.

Tabela 16. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I²) para carbono orgânico total com agrupamento profundidade de coleta.

Carbono Orgânico Total	Efeitos do modelo	IC 95%		I ² e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Profundidade de coleta: 0,00-0,05	24,30	22,19	26,41	I ² =99,9% p=0,00	1	6
Profundidade de coleta: 0,05-0,10	15,31	7,45	23,17	I ² =96,7% p<0,01	1	4
Profundidade de coleta: 0,10-0,20	23,27	21,39	25,15	I ² =99,5% p<0,01	1	6

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I²: I-quadrado; N: número; *teste de I², significativo quando p<0,05.

Na Figura 33 é possível observar os desfechos para diferentes profundidades de coletas identificadas nos estudos incluídos para variável carbono orgânico total, sendo que a média global das profundidades foi de 21,69 g kg⁻¹ [18;94;24;43], onde o limite inferior do intervalo de confiança é de 18,94 g kg⁻¹ e o limite superior é de 24,93 g kg⁻¹. A heterogeneidade geral foi alta com I²=100%.

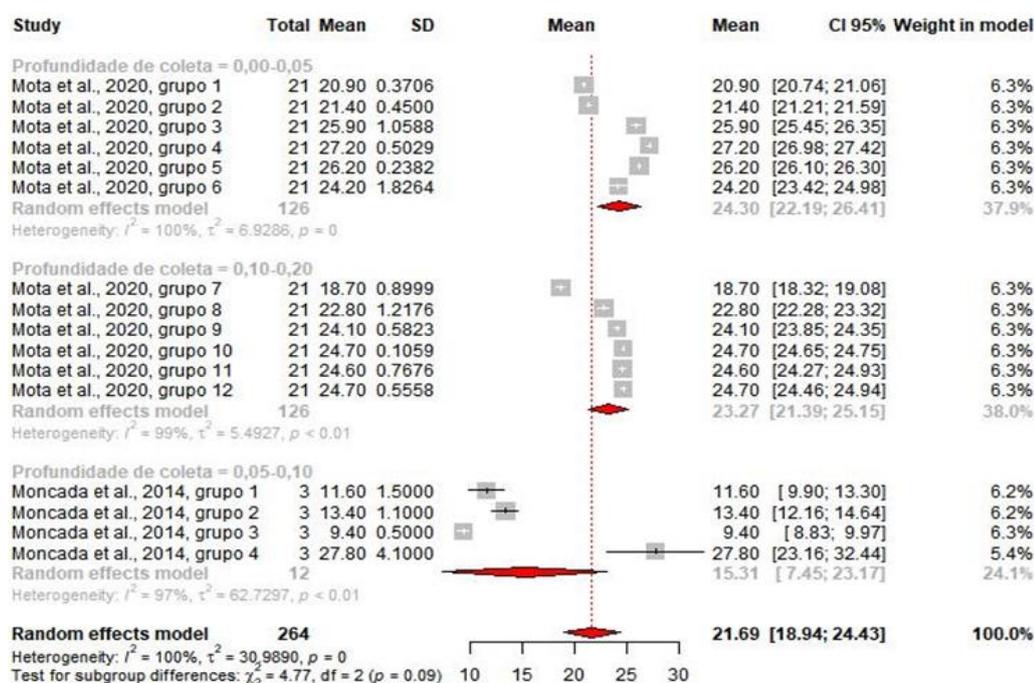


Figura 33. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com agrupamento profundidade de coleta.

O desfecho da meta-análise, para os sistemas de manejo observados na variável carbono orgânico do solo, estão apresentados na Tabela 17, foi identificação de dois sistemas de manejos do solo para produção de pastagem, são eles: ILP e Sistema Convencional de Produção de Pastagem.

Constatou-se que houve diferença estatística entre os intervalos de confiança a 95%, sobretudo para o sistema de ILP com 25,68 g kg⁻¹ [24,45;26,90]. De acordo com Oliveira et al. (2018) os sistemas de integração comumente proporcionam níveis mais elevados de carbono orgânico total em relação aos sistemas agrícolas convencionais, pois nos sistemas integrados as gramíneas produzem grande quantidade de biomassa e raízes, diferente dos sistemas convencionais, onde a mobilização do solo acelera o processo de oxidação e perdas de carbono para a atmosfera.

O intervalo de confiança a 95% de todo o agrupamento teve limite inferior de 6,31 g kg⁻¹ e limite superior de 34,53 g kg⁻¹. A heterogeneidade manteve-se alta para os todos os manejos.

Tabela 17. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I²) para carbono orgânico total com os sistemas de manejos.

Carbono Orgânico Total	Efeitos do modelo	IC 95%		I ² e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
ILP	25,68	24,45	26,90	I ² =99,7% p<0,01	1	4
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	20,42	6,31	34,53	I ² =97,1% p<0,01	1	2

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I²: I-quadrado; N: número; *teste de I², significativo quando p<0,05. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

Na Figura 34, é possível observar o desfecho para o manejo de solo de ILP, da variável carbono orgânico total, sendo o efeito do modelo de 25,68 g kg⁻¹ [24,45;26,90], onde 24,45 g kg⁻¹ é o limite do intervalo de confiança inferior e 26,90 g kg⁻¹ é o limite de intervalo superior, a 95%. Loss et al. (2014) no estado do Espírito Santo, examinaram a capacidade de aumentar e/ou manter os teores de carbono orgânico total do solo em um sistema IPF de cinco anos composto por eucalipto (*Eucalypto urograndis*) e capim colômbio (*Panicum maximum*), em um cultivo de 8 x 4 m. Os autores observaram o acréscimo no teor de carbono orgânico particulado e carbono nas frações húmicas. De acordo com o estudo, a diversificação vegetal permitiu um maior aporte de resíduos vegetais, auxiliando no aumento do teor de matéria orgânica no solo, evidenciando as vantagens da adoção de sistema integrados. A heterogeneidade demonstrou-se alta (I² = 100%).

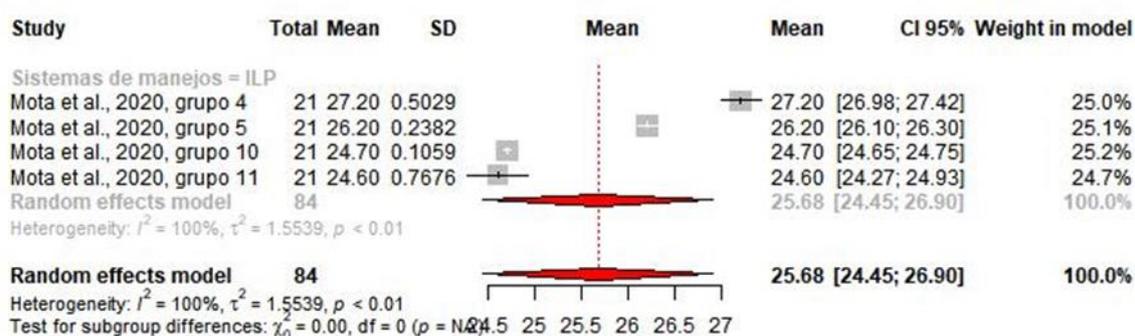


Figura 34. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: ILP.

O sistema de manejo do solo para produção convencional de pastagem para o parâmetro carbono orgânico do solo demonstrou efeito do modelo de 20,42 g kg⁻¹ [6,31;34,53], sendo 6,31 g kg⁻¹ o limite do intervalo de confiança inferior e 34,53 g kg⁻¹ o limite intervalo de confiança superior (Figura 35). Conceição et al. (2017) estudaram a zona de transição Cerrado/Amazônia após três anos de implantação. Os autores compararam os estoques de carbono orgânico do solo entre ILPF, plantio direto, monocultura de gramíneas e monocultura de eucalipto no estado de Mato Grosso, Brasil. Ganhos de carbono de 15, 13, 9 e 8% foram observados para ILPF, monocultivo de eucalipto, pastagem (monocultivo capim) e plantio direto, respectivamente. O teor de carbono orgânico total variou de 17,2 a 38,4 g kg⁻¹. Os autores vinculam o acréscimo dos teores de carbono orgânico do solo no sistema ILPF ao maior aporte de resíduos vegetais, que, ao contrário das pastagens convencionais, é favorecido pela combinação de árvores, pastagens e lavouras na mesma área de produção. Quanto a heterogeneidade dos dados apresentou-se moderada ($I^2=32\%$).

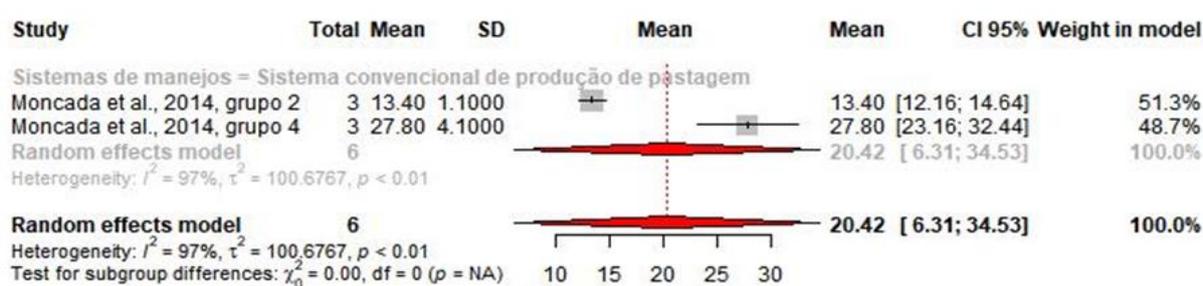


Figura 35. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.

Produtividade da Forrageira

O efeito global do modelo do parâmetro da produtividade da forrageira foi de 5905,24 kg ha⁻¹, o intervalo de confiança a 95% mostrou-se entre 4908,60 kg ha⁻¹ de limite inferior, e 6901,88 kg ha⁻¹ de limite superior, para Terra et al. (2019) discernir os motivos e entender os processos de degradação é essencial para o êxito da recuperação e manutenção da produtividade de pastagens ainda produtivas. A heterogeneidade dos dados gerais mostrou-se alta ($I^2=100\%$), 37 grupos foram observados determinando esta variável nos estudos que compõe esta pesquisa.

O desfecho da meta-análise, para os sistemas de manejo observados neste estudo para o parâmetro produção de forragem estão apresentados na Tabela 18, foi identificado três sistemas de manejos do solo para produção de pastagem, são eles: ILP, ILPF e Sistema Convencional de Produção de Pastagem. Constatou-se que houve diferença estatística entre os intervalos de confiança dos três sistemas encontrados para esta variável, sobretudo para o sistema convencional de produção de pastagem com efeito do modelo de 7869,17 kg ha⁻¹, já o sistema de ILP apresentou efeito de modelo de 6082,45 kg ha⁻¹ e o sistema de ILPF 4172,00 kg ha⁻¹.

Em geral, nos sistemas integrados, os solos demonstram melhorias nos atributos químicos do solo (Iwata et al., 2012), físicos (Martinkoski et al., 2017), biológicos e na matéria orgânica do solo (Stieven et al., 2014; Souza et al., 2012), advindos de efeitos sinérgicos resultante da influência mútua entre os componentes bióticos e abióticos destes sistemas.

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

O intervalo de confiança a 95% teve como limite inferior de 3738,44 kg ha⁻¹ e limite superior de 12331,73 kg ha⁻¹. A heterogeneidade manteve-se alta para os manejos de ILP, sistema convencional de produção de pastagem, sendo baixa a heterogeneidade do manejo de solo ILPF (I²=2%).

Tabela 18. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I²) para produtividade de forrageira com os sistemas de manejos.

Produtividade de Forrageira	Efeitos do modelo	IC 95%		I ² e p-valor de heterogeneidade	N estudos	N grupos
		Inf	Sup			
Sistema de manejo: ILP	6082,45	4890,27	7274,63	I ² =99,3% p<0,001	6	26
Sistema de manejo: ILPF	4172,00	3738,44	4605,55	I ² =2,00% p=0,400	2	6
Sis. Conv. de Prod. de Pastagem	7869,17	3406,60	12331,73	I ² =96,7% p<0,001	2	4

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I²: I-quadrado; N: número; *teste de I², significativo quando p<0,05. Sis.: sistema; Conv.: convencional; Prod.: produção.

Na Figura 36, é possível observar o desfecho para o manejo de solo de ILP, da variável produtividade da forrageira, sendo o efeito do modelo de 6082,45 kg ha⁻¹ [4890,27;7274,63], onde 4890,27 kg ha⁻¹ é o limite do intervalo de confiança inferior e 7274,63kg ha⁻¹ é o limite de intervalo superior, a 95%. A heterogeneidade demonstrou-se alta (I² =99,3%). Embora este resultado seja menor, quando comparado ao sistema convencional de produção de pastagem, para Almeida et al. (2019) uma característica marcante do sistema de ILP é a opção de planejar a intensidade de uso do solo por meio da alternância de atividades na mesma área, permitindo reduzir a taxa de lotação nos pastos, para reduzir os valores de compactação do solo e preservar quantidades ideais de resíduos vegetais para o plantio direto. Para os autores, nesse cenário, os índices de produção animal por hectare são minimizados quando comparados a sistemas mais intensivos, haja visto o decréscimo na produção de forragem que sofre influência, do manejo e dinâmica de competição acima e abaixo do nível do solo.

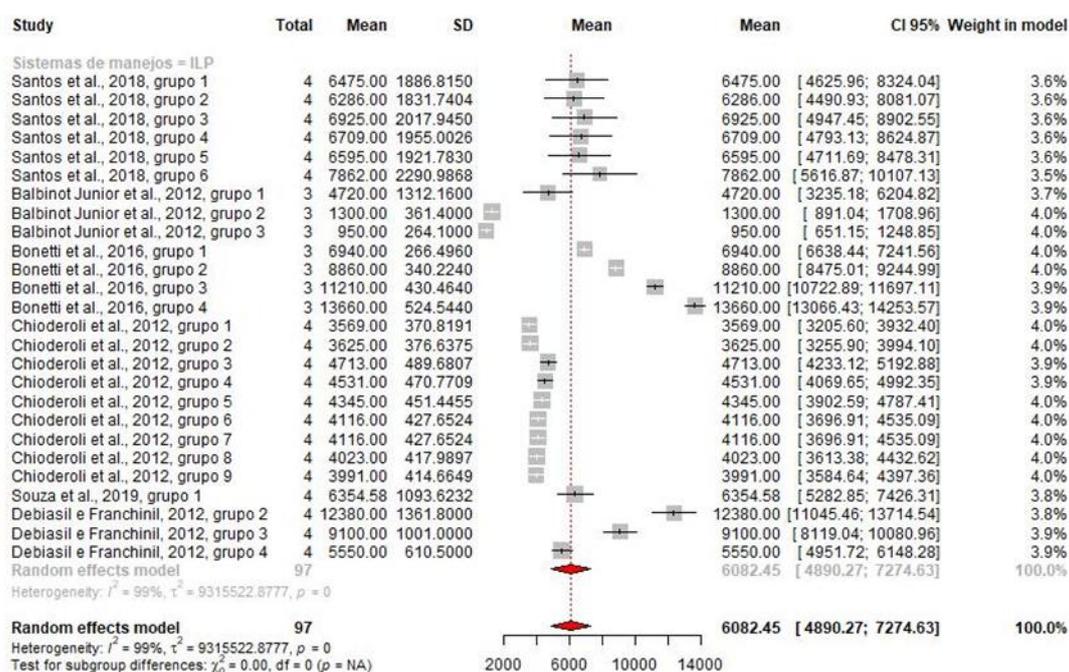


Figura 36. Modelo de meta-análise para produtividade de forrageira com sistema de manejo: ILP.

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

O desfecho da meta-análise para o sistema de ILPF da variável produtividade da forrageira, apresentou menor média do efeito do modelo, quando comparado aos demais sistemas encontrados, sendo este de 4172,00 kg ha⁻¹ [3738,44; 4605,55], onde 3738,44 kg ha⁻¹ é o limite do intervalo de confiança inferior e 4605,55 kg ha⁻¹ é o limite de intervalo superior, a 95% (Figura 37). Este resultado pode ser explicado em decorrência da presença de árvores que pode interferir negativa na produtividade e valor nutritivo das forragens, assim como na atividade da comunidade microbiana do solo destes sistemas. A intensidade desses efeitos varia em função do arranjo e das espécies arbóreas utilizadas, do grau de sombreamento e da tolerância à sombra das espécies. Por exemplo, a proximidade de fileiras de eucalipto pode influenciar mudanças produtivas e qualitativas no desenvolvimento das plantas do sub-bosque devido à competição por água, luz e nutrientes do solo (Torres et al., 2018). Já para Pezarico et al. (2013) a utilização do componente arbóreo junto com a pastagem tende a melhorar o ganho de matéria orgânica em sistemas integrados, elemento que contribuirá diretamente para a melhoria da qualidade do solo e da produtividade das pastagens, tornando o sistema mais sustentável. Notou-se a heterogeneidade baixa ($I^2=2,00\%$).

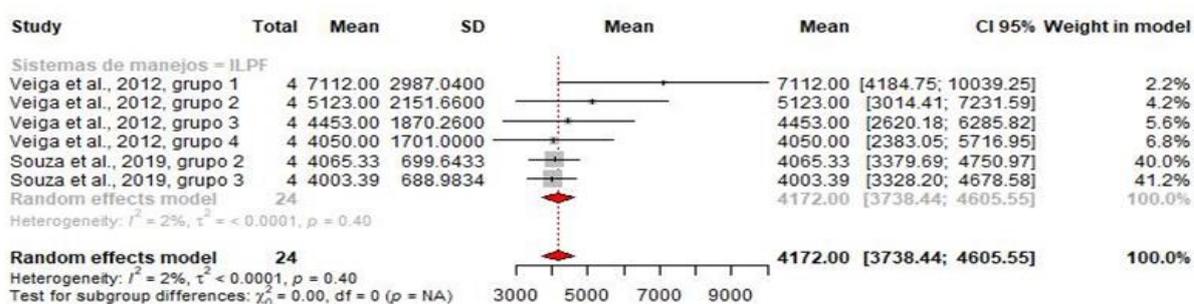


Figura 37. Modelo de meta-análise para produtividade de forrageira com sistema de manejo: ILPF.

O sistema de manejo do solo de produção convencional de pastagem para a variável produtividade da forrageira demonstrou a maior média de efeito do modelo, sendo está de 7869,17 kg ha⁻¹ [3406,60;12331,73], sendo 3406,60 kg ha⁻¹ o limite do intervalo de confiança inferior e 12331,73 kg ha⁻¹ o limite intervalo de confiança superior (Figura 38). Contudo, estudo realizado por Nicodemo et al. (2018) avaliando sistema silviagrícola e sistema silvipastoril), pastagem solteira de *Urochloa decumbens* e mata nativa, sobre as características físicas do solo, em São Carlos, SP, demonstraram que o sistema silviagrícola, apresentou propriedades físicas do solo superiores à pastagem solteira, revelando o potencial deste sistema para produção agrícola associada a conservação ambiental. Para Kulagowski et al. (2021) o uso combinado de técnicas de manejo conservacionistas eleva a sinergia entre as características que incidem no desenvolvimento produtivo do sistema, gerando a qualidade do solo que irá resultar no acréscimo da produtividade. Quanto a heterogeneidade dos dados apresentou-se alta ($I^2=97\%$).

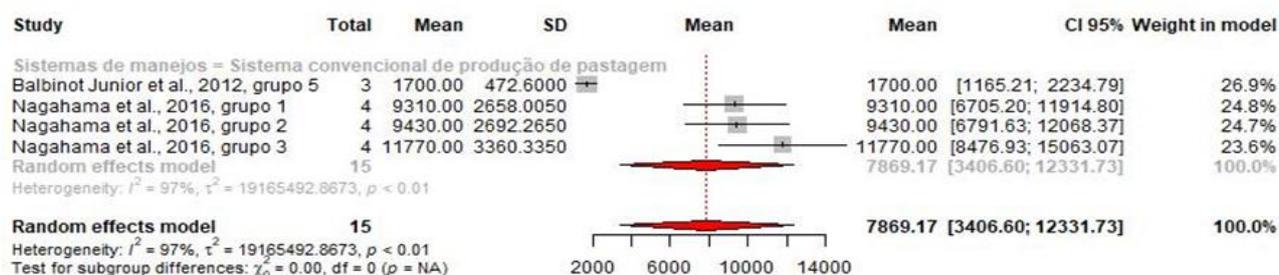


Figura 38. Modelo de meta-análise para produtividade de forrageira com sistema de manejo: sistema convencional de produção de pastagem.

Conclusões

Os sistemas de manejo integrados promovem melhorias a qualidade física do solo. Os sistemas de manejo encontrados para o parâmetro densidade do solo, para produção de pastagem estiveram abaixo do valor crítico geral de 1,40 e 1,80 kg dm⁻³, encontrado na literatura, e admitido para esta variável, sobretudo para o sistema de ILPF, evidenciando a potencialidade do sistema integrado em manter e preservar os atributos físicos do solo. Os desfechos meta-analíticos demonstraram que para a variável porosidade total dos sistemas integrados foram satisfatórios em preservar os valores abaixo do crítico.

Quanto ao parâmetro resistência do solo a penetração de raízes não foi identificado sistema de manejo integrado que permitissem utilizar seus dados para realização da meta-análise, visto que são necessárias além da média, número amostral e o desvio padrão, e com grande recorrência foi observando ao longo desta pesquisa, ausência destas, e de outras fontes de variação estatística que fosse possível determinar o desvio padrão como: mediana, mínimo e máximo. Sendo essa uma das maiores limitações encontradas para realização de meta-análise na área das ciências agrárias, algo que precisa ser revisto, uma vez que, os vários estudos já existentes podem trazer luz a questões essenciais, e fomentarem o processo de tomada de decisão, nas diversas áreas do saber agrário.

O desfecho para umidade gravimétrica demonstrou, que houve diferença estatística para o sistema de ILP quando comparado com demais sistemas encontrados deste parâmetro, com menor média de efeito do modelo com relação aos demais manejos, possivelmente oriunda do tráfego de máquinas e pisoteio dos animais, resultando em alta densidade e resistência do solo à penetração de raízes.

Os resultados metanalítico para agregado do solo evidenciou que a maior média de efeito do modelo para o agrupamento em profundidade do solo foi de 2,36 g (0,00-0,05 m), sendo que para o agrupamento do sistema de manejo, a maior média de efeito do modelo foi para o sistema convencional de produção de pastagem com 2,48 g, seguindo dos sistemas ILPF, ILP e Floresta nativa.

A meta-análise para a variável matéria orgânica do solo evidenciou que para o agrupamento dos sistemas de manejo, o sistema convencional de produção de pastagem esteve próximo (27,75 kg ha⁻¹) a média do sistema referência floresta nativa (28,29 kg ha⁻¹), e o sistema de ILP (8,90 kg ha⁻¹) apresentou menor média de efeito do modelo deste parâmetro. Contudo, para a variável estoque de carbono no solo o sistema o sistema de ILP (17,09 kg ha⁻¹) apresentou maior média de efeito do modelo, quando comparada ao sistema convencional de produção de pastagem (15,94 kg ha⁻¹), o mesmo desfecho foi observado para o parâmetro carbono orgânico total, onde o sistema de ILP apresentou média de efeito do modelo de 25,68 kg

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

ha⁻¹ e o sistema convencional de produção de pastagem 20,42 kg ha⁻¹, demonstrando que os sistemas integrados de produção, podem atender satisfatoriamente os índices de estoque de carbono no solo e carbono orgânico total, visto que em sistemas integrados, as gramíneas produzem grande quantidade de biomassa e raízes, diferente dos sistemas convencionais.

Quanto a produtividade de forragem a meta-análise demonstrou que o sistema convencional de produção de pastagem apresentou maior média de efeito do modelo de 7869,17 kg ha⁻¹, quando comparado aos demais sistemas encontrados para este parâmetro, sendo eles: ILP (6082,45 kg ha⁻¹) e ILPF (4172,00 kg ha⁻¹), o desfecho para este último sistema pode ser justificado em decorrência da presença de árvores que pode interferir negativa na produtividade e valor nutritivo das forragens, a intensidade desses efeitos varia em função do arranjo e das espécies arbóreas utilizadas, do grau de sombreamento e da tolerância à sombra das espécies forrageiras.

Com base nessas conclusões é possível notar resultados positivos, para o emprego de sistemas conservacionistas do solo para produção de pastagem, os quais contribuí favoravelmente para conservação, preservação e manutenção da qualidade física do solo, contudo notou-se desfechos positivos para o sistema convencional de produção de pastagem, sugerindo que: ou nos últimos dez anos a forma de produzir pastagem, sofreu alterações positivas, ou que os sistemas integrados de produção requer melhor acompanhamento técnico, que priorizem a melhor forma de execução deste sistema, pois as evidências de seus resultados positivos e promissores são incontestáveis.

Referências Bibliográficas

- Almeida, D. F., Macedo, G. T., Júnior, J. G. C., da Silva, C. M., da Silva, A., & da Silva, W. A. (2021). Indicadores Físicos Do Solo Em Sistema Silvopastoril No Ecótono Cerrado-Floresta Amazônica Maranhense. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 43729-43734. doi: 10.34117/bjdv7n5-002
- Aquino, R. E. D., Campos, M. C. C., Marques Júnior, J., Oliveira, I. A. D., Mantovaneli, B. C., & Soares, M. D. R. (2014). Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(2), 397-406. doi: 10.1590/S0100-06832014000200004
- Assis, P. C., Stone, L. F., Medeiros, J. C., Madari, B. E., Oliveira, J. D. M., & Wruck, F. J. (2015). Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(4), 309-316. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316
- Assmann, J. M., Anghinoni, I., Martins, A. P., de Andrade, S. E. V. G., Cecagno, D., Carlos, F. S., & de Faccio Carvalho, P. C. (2014). Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190(1), 52-59. doi: 10.1016/j.agee.2013.12.003
- Auler, A. C., Galetto, S. L., Hennipman, F. S., Guntzel, E. D., Giarola, N. F., & Fonseca, A. F. D. (2017). Soil structural quality degradation by the increase in grazing intensity in integrated crop-livestock system. *Bragantia*, 76(4), 550-556. doi: 10.1590/1678-4499.2016.310
- Auler, A. C., Miara, S., Pires, L. F., Fonseca, A. F. D., & Barth, G. (2014). Soil physico-hydrical properties resulting from the management in Integrated Production Systems. *Revista Ciência Agronômica*, 45(5), 976-989. doi: 10.1590/S1806-66902014000500013
- Azevedo, A. D. (2006). *Solos e ambiente: uma introdução*. 2.ed. Santa Maria: Pallotti, 100p.

- Balbinot Junior, A. A., Veiga, M. D., Vogt, G. A., & Spagnollo, E. (2012). Atributos de solo e produtividade de feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno, no quinto ano de experimentação. *Ciência Rural*, 42(3), 401-406. doi: 10.1590/S0103-84782012000300003
- Baldotto, M. A., & Baldotto, L. E. B. (2018). Relationships between soil quality indicators, redox properties, and bioactivity of humic substances of soils under integrated farming, livestock, and forestry. *Revista Ceres*, 65, 373-380. doi: 10.1590/0034-737X201865040010
- Baldotto, M. A., Vieira, E. M., Souza, D. D. O., & Baldotto, L. E. B. (2015). Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. *Revista Ceres*, 62(3), 301-309. doi: 10.1590/0034-737X201562030010
- Balduzzi, S., Rücker, G., & Schwarzer, G. (2019). How to perform a meta-analysis with R: a practical tutorial. *Evidence-based mental health*, 22(4), 153-160. doi: 10.1136/ebmental-2019-300117
- Bayat, H., Sheklabadi, M., Moradhaseli, M., & Ebrahimi, E. (2017). Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. *Geoderma*, 303(1), 150-164. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.05.003
- Bertacchi, M. I. F., Brancalion, P. H. S., Brondani, G., Medeiros, J. C., & Rodrigues, R. R. (2012). Caracterização das condições de microssítio de áreas em restauração com diferentes idades. *Revista Árvore*, 36(5), 895-906. doi: 10.1590/S0100-67622012000500012
- Bertolin, F., Bono, J. A. M., Macedo, M. C. M., de Araújo, A. R., & Pereira, F. (2016). Use and management of pasture in the cerrado biome: Impacts on aggregation of an oxisol. *African Journal of Agricultural Research*, 11(24), 2139-2145. doi: 10.5897/AJAR2015.10059
- Bertossi, A. P. A., Rocha Júnior, P. R. D., Ribeiro, P. H., Menezes, J. P. C. D., Cecílio, R. A., & Andrade, F. V. (2016). Soil cover and chemical and physical attributes in Oxisol in the Atlantic Forest Biome. *Revista Árvore*, 40(2), 219-228. doi: 10.1590/0100-67622016000200004
- Bevan, K. (1980). The grandon underwood field drainage experiment. Institute of Hidrology Report; 65, 30.
- Bonetti, J. D. A., Paulino, H. B., Souza, E. D. D., Carneiro, M. A. C., & Silva, G. N. D. (2015). Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(1), 104-112. doi: 10.1590/1983-40632015v4529625
- Bonini, C. D. S. B., Alves, M. C., & Montanari, R. (2015). Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 10(1), 34-42. doi: 10.5039/agraria.v10i1a4513.
- Borges, W. L. B., de Souza, I. M. D., Sarto, M. V. M., Calonego, J. C., de Freitas, R. S., & Rosolem, C. A. (2019). Chemical and physical attributes of an Ultisol under sustainable agricultural production systems. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(4), 1-8. doi: 10.5039/agraria.v14i4a5793
- Borges, W. L., Calonego, J. C., & Rosolem, C. A. (2019). Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agroforestry Systems*, 93(6), 2111-2119. doi: 10.1007/s10457-018-0329-0
- Bortolini, D., Albuquerque, J. A., Rech, C., Mafra, Á. L., Ribeiro Filho, H. M. N., & Pértile, P. (2016). Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 15(1), 60-67. doi: 10.5965/223811711512016060.
- Burgrever, J. C., Freitas, F., Fistarol, T. A. F., Araújo, F., & Júnior, G. (2019). Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo-Alta Floresta. *Revista Científica Rural, Bagé*, 21(2), 93-104. doi: 10.30945/rcr-v21i2.361

- Caetano, J. O., Verginassi, A., Assis, P. C. R., Carneiro, M. A. C., & Paulino, H. B. (2013). Indicadores de qualidade de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Global Science and Technology*, 6(1), 26-39. doi:10.14688/1984-3801.V06N01A03.
- Calil, N. F., Nauara, L. L., Raissa, T. S., Mariana, D. A. D. M., Pedro, V. G. B., Pedro, A. F. L., ... & Abadia, D. R. N. (2016). Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. *African Journal of Agricultural Research*, 11(38), 3701-3709. doi: 10.5897/AJAR2016.11369
- Chioderoli, C. A., de Mello, L. M., Grigolli, P. J., Furlani, C. E., Silva, J. O., & Cesarin, A. L. (2012). Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(1), 37-43. doi: 10.1590/S1415-43662012000100005
- Conte, O., Flores, J. P. C., Cassol, L. C., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. D. F., Levien, R., & Wesp, C. D. L. (2012). Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 46, 1301-1309. doi: 10.1590/S0100-204X2011001000026
- Coser, T. R., de Figueiredo, C. C., Jovanovic, B., Moreira, T. N., Leite, G. G., Cabral Filho, S. L. S., ... & Marchão, R. L. (2018). Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. *Agricultural Systems*, 166(1), 184-195. doi: 10.1016/j.agsy.2018.01.030
- Costa Junior, C., Pícolo, M. D. C., Siqueira Neto, M., Camargo, P. B. D., Cerri, C. C., & Bernoux, M. (2012). Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(4), 1311-1322. doi: 10.1590/S0100-06832012000400025
- Costa, N. R., Andreotti, M., Lopes, K. S. M., Yokobatake, K. L., Ferreira, J. P., Pariz, C. M., ... & Longhini, V. Z. (2015). Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(3), 852-863. doi: 10.1590/01000683rbcs20140269
- Cunha Neto, F. V. D., Pereira, M. G., Leles, P. S. D. S., & Abel, E. L. D. S. (2018). Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba-MG. *Ciência Florestal*, 28(1), 13-24. doi: 10.5902/1980509831569
- Custódio, G. D., Ribon, A. A., Fernandes, K. L., Hermógenes, V. T. L., & Barros, L. R. (2015). Densidade do solo e densidade relativa-indicadores da qualidade física de um Latossolo amarelo sob diferentes manejos de pastagens e mata nativa. *Revista Campo Digital*, 10(1), 50-62. <http://periodicos.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/1936>
- da Conceição, M. C., Matos, E. D. S., Bidone, E. D., Rodrigues, R. D. A. R., & Cordeiro, R. C. (2017). Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. *Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 8(9), 904-913. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1078539>
- da Silva, A. G., de Assis, R. L., de Oliveira, C. A. A., Ferreira, C. J. B., Teixeira, I. R., Almeida, K. D. L., & do Carmo, E. L. (2019). Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no cerrado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 18(3), 429-440. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v18n3p429-440
- de Almeida, E. M., de Almeida, R. G., ES, M., de Freitas, P. V. D. X., Ribeiro, F. M., Fernandes, P. B., & GARCIA, E. D. C. (2019). Sistemas silvipastoris: uma abordagem sobre a integração dos componentes bióticos e abióticos. *Revista Científica Rural*, 21(2), 438-454. doi: 10.30945/rcr-v21i2.353
- de Carvalho, R. P., Daniel, O., Davide, A. C., & de Souza, F. R. (2015). Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Caatinga*, 28(1), 148-159. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237138297016>

de Castro, M. A., da Cunha, F. F., de Lima, S. F., de Paiva Neto, V. B., Rodrigues, A. P. L., Magalhães, F., & da Cruz, G. H. M. (2012). Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium*, 3(2), 19.

Debiasi, H., & Franchini, J. C. (2012). Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. *Ciência Rural*, 42(7), 1180-1186. doi: 10.1590/S0103-84782012000700007

Dexter, A. R. (1988). Advances in characterization of soil structure. *Soil and tillage research*, 11(3-4), 199-238. doi:10.1016/0167-1987(88)90002-5

do Nascimento Cuiabano, M., da Silva Neves, S. M. A., Nunes, M. C. M., Serafim, M. E., & Neves, R. J. (2017). Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na Sub-bacia do Córrego do Guanabara/reserva do Cabaçal-MT Brasil. *Geosciences= Geociências*, 36(1), 138-153. doi: 10.5016/geociencias.v36i1.12301

Donato, H., & Donato, M. (2019). Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. *Acta Médica Portuguesa*, 32(3), 227-235. doi:10.20344/amp.11923

dos Santos, M. H. F., Ribon, A. A., Lourenço, F., da Silva, O. C. C., de Oliveira, C. L., & da Silva, A. A. (2015). Estimativa da compactação através da resistência do solo a penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, 27(1), 49-62.

dos Santos, P. R. A., Chioderoli, C. A., da Silva, A. O., Nicolau, F. D. A., Lopes, J. E. L., Amorim, M. Q., & Mendonça, C. D. A. (2018). Physical attributes of the soil and maize productivity under an intercrop system. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*, 10(12), 358-365. doi:10.5539/jas.v10n12p358

Edvan, R. L. (2018). Sistemas conservacionistas de recuperação de pastagem degradada. Appris Editora e Livraria Eireli-ME.

Fernandes, Y. A. D., de Oliveira Silva, M. T., Portela, J. C., Farias, P. K. P., dos Santos, S. T., & Gondim, J. E. F. (2018). Densidade do Solo e Resistência Mecânica à Penetração de Cambissolos em Agroecossistemas no Semiárido Potiguar. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(3), 2673. doi: 10.7127/rbai.v12n300851

Freitas, D. A., de Freitas, I. C., Frazão, L. A., Araújo, N. C. A., Silva, L. R. D., & Santos, M. V. (2020). Atributos físicos do solo sob diferentes usos da terra do Cerrado de Minas Gerais. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(4), 3867-3882. doi: 10.34188/bjaerv3n4-086

Freitas, K. S., Armindo, R. A., Pires, L. F., Swinka Filho, V., & Júnior, S. R. (2019). A method to determine the soil bulk density of undisturbed samples with non-isodiametric shape. *Soil and Tillage Research*, 191(1), 344-352. doi: 10.1016/j.still.2019.04.007

Furquim, L. C., de Souza, E. J., da Silva, N. F., Nuñez, D. N. C., Cabral, J. S. R., Santini, J. M. K., ... & Stone, L. F. (2020). Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. *Colloquium Agrariae*, 16(5), 82-95. <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3449>

Ibiapina, T. V. B., Salviano, A. A. C., Nunes, L. A. P. L., Mousinho, F. E. P., de Lima, M. G., & dos Santos Soares, L. M. (2014). Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. *Científica*, 42(4), 411-418.

Iwata, B. D. F., Leite, L. F., Araújo, A. S., Nunes, L. A., Gehring, C., & Campos, L. P. (2012). Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(7), 730-738. doi: 10.1590/S1415-43662012000700005

Kiehl, E. J. (1979). *Manual de edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p.

* Artigo formatado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias ISSN 0101-3742.

- Klein, C., & Klein, V. A. (2014). Influência do manejo do solo na infiltração de água. *Revista Monografias Ambientais*, 13(5), 3915-3925. doi:10.5902/2236130814989
- Kulagowski, R., Thoumazeau, A., Leopold, A., Lienhard, P., Boulakia, S., Metay, A., ... & Tivet, F. (2021). Effects of conservation agriculture maize-based cropping systems on soil health and crop performance in New Caledonia. *Soil and Tillage Research*, 212, 105079. doi:10.1016/j.still.2021.105079
- Lal, R. (2016). Feeding 11 billion on 0.5 billion hectare of area under cereal crops. *Food and Energy Security*, 5(4), 239-251. doi: 10.1002/fes3.99
- Levinski-Huf, F., & Klein, V. A. (2018). Organic matter and physical properties of a red latosol under an integrated crop-livestock-forestry system. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48(3), 316-322. doi:10.1590/1983-40632018v4852737
- Lima, R. P., León, M. J., & Silva, A. R. (2013). Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo. *Scientia Plena*, 9(6) 01-07. <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/1035>
- Lisbôa, F. M., & Miranda, P. B. (2014). ANÁLISE DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES MANEJOS NO SUDESTE PARAENSE. *Revista Agroecossistemas*, 6(1), 1-9. doi: 10.18542/ragros.v6i1.1558
- Loss, A., Ribeiro, E. C., Pereira, M. G., & Costa, E. M. (2014). Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa. *ES. Bioscience Journal*, 30(5), 1347-1357.
- Martini, I. C., Rosa, D. P., Trindade, F. S., Silva, K. P. X., Lunedo, P., & Marcelli, G. (2014). Propriedades físicas de um Nitossolo sob diferentes usos de exploração agropecuária. *RAMVI Getúlio Vargas*, 1(1), 1-12.
- Martinkoski, L., Vogel, G. F., Jadoski, S. O., & Watzlawick, L. F. (2017). Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. *Floresta e Ambiente*, 24(1), e20160282. doi: 10.1590/2179-8087.028216
- Mazurana, M., Fink, J. R., Silveira, V. H. D., Levien, R., Zulpo, L., & Brezolin, D. (2013). Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(5), 1185-1195. doi:10.1590/S0100-06832013000500008
- Moncada, M. P., Penning, L. H., Timm, L. C., Gabriels, D., & Cornelis, W. M. (2014). Visual examinations and soil physical and hydraulic properties for assessing soil structural quality of soils with contrasting textures and land uses. *Soil and Tillage Research*, 140 (2014), 20-28. doi: 10.1016/j.still.2014.02.009.
- Moraes, M. T. D., Debiasi, H., Carlesso, R., Franchini, J. C., & Silva, V. R. D. (2014). Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(1), 288-298. doi: 10.1590/S0100-06832014000100029
- Mota, P. K., Silva, B. M., Borghi, E., Viana, J. H., Resende, Á. V. D., & Moura, M. S. D. (2020). Soil physical quality in response to intensification of grain production systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(10), 647-655. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n10p647-655
- Nagahama, H. D. J., Granja, G. P., Cortez, J. W., Ramos, R. L., & Arcoverde, S. N. S. (2016). Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante. *Revista Ceres*, 63(5), 741-746. doi: 10.1590/0034-737X201663050020
- Nanzer, M. C., Ensinas, S. C., Barbosa, G. F., Barreta, P. G. V., de Oliveira, T. P., da Silva, J. R. M., & Paulino, L. A. (2019). Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria

- orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(1), 136-145. doi: 10.5965/223811711812019136
- Nanzer, M. C., Ensinas, S. C., Barbosa, G. F., Barreta, P. G. V., de Oliveira, T. P., da Silva, J. R. M., & Paulino, L. A. (2019). Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(1), 136-145. doi: 10.5965/223811711812019136
- Nicodemo, M. L. F., Borges, W. L. B., & de Souza, I. M. D. (2018). Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(2), 1-7. doi: 10.5039/agraria.v13i2a5524
- Oliveira, B., Carvalho, M. A., Lange, A., Dallacort, R., & Silva, V. (2015). Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. *Enciclopédia Biosfera*, 11(22), 3678-3689. doi: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_255
- Oliveira, J. D. M., Madari, B. E., Carvalho, M. T. D. M., Assis, P. C. R., Silveira, A. L. R., de Leles Lima, M., ... & Machado, P. L. O. D. A. (2018). Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. *Regional Environmental Change*, 18(1), 105-116. doi: 10.1007/s10113-017-1146-0
- Omuto, C., Nachtergaele, F., & Rojas, R. V. (2013). *State of the Art Report on Global and regional Soil Information: Where are we? Where to go?* (p. 81). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Pequeno, P. L. L. (2013). Noções básicas de uso e manejo do solo. *Porto Velho: EDUFRO*. 59 p.
- Pezarico, C.R.; Vitorino, A.C.T.; Mercante, F.M.; & Daniel, O. (2013). Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias*, 56(1), 40-47.
- Pezzoni, T., Vitorino, A. C. T., Daniel, O., & Lempp, B. (2012). Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. *Cerne*, 18(2), 293-301. doi: 10.1590/S0104-77602012000200014
- Pontoni, D., Schneider, T., Adamuchio, J., & Borgo, J. (2012). Caracterização da estabilidade de agregados, estrutura e penetrometria de um latossolo sob manejo convencional. *Enciclopédia Biosfera*, 8(15), 387-393.
- Reichert, J. M., Reinert, D. J., & BRAIDA, J. A. (2003). Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, 27(1), 29-48.
- Ribeiro, J. C., de Almeida, J. C. R., da Silva Almeida, A. A., Gadioli, J. L., & Pereira, M. G. (2021). Atributos físicos de um Latossolo sob sistemas de uso e manejo no médio Vale do Paraíba Paulista. *Revista Cultura Agronômica*, 30(2), 190-203. doi: 10.32929/2446-8355.2021v30n2p190-203
- Ribeiro, P. L., De Marco, E., Theisen, G., de Lima, C. L. R., & Carlos, F. S. (2021). From paddy to different land uses-soil changes in Albaqualfs in the lowlands of southern Brazil. *Geoderma Regional*, 26(2021), 00409. doi: 10.1016/j.geodrs.2021.e00409
- Rocha, J. E. C. D., Brasil Neto, A. B., Noronha, N. C., Gama, M. A. P., Carvalho, E. J. M., Silva, A. R., & Santos, C. R. C. D. (2016). Organic matter and physical-hydric quality of an oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture. *Cerne*, 22(4), 381-388. doi: 10.1590/01047760201622042224
- Roever, L. (2020). Guia Prático de Revisão Sistemática e Metanálise.
- Sales, A., Veloso, C. A. C., & Silva, A. R. (2015). Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo.

- Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenço, G., Silva, W. M., & Retore, M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *190*(1), 70-79. doi: 10.1016/j.agee.2013.09.023
- Santos, D. C. D., Farias, M. D. O., Lima, C. L. R. D., Kunde, R. J., Pillon, C. N., & Flores, C. A. (2013). Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Ciência Rural*, *43*(5), 838-844. doi: 10.1590/S0103-84782013005000037
- Santos, G. G., Silveira, P. M. D., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Becquer, T. (2012). Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *16*(11), 1171-1178. doi: 10.1590/S1415-43662012001100005
- Silva, A. R., Sales, A., & Veloso, C. A. C. (2016). Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *AGROTEC: Revista Agropecuária Técnica*, *37*(1), 96-104. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1052980>
- Silva, E. F. D., Lourente, E. P. R., Marchetti, M. E., Mercante, F. M., Ferreira, A. K. T., & Fujii, G. C. (2011). Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *46*, 1321-1331. doi: 10.1590/S0100-204X2011001000028
- Silva, G. J., de Souza Maia, J. C., Espinosa, M. M., Júnior, D. D. V., Bianchini, A., & de Assis Valadão, F. C. (2020). Resistência à penetração em solo sob pastagem degradada. *Revista Cultura Agronômica*, *29*(2), 256-273. doi: 10.32929/2446-8355.2020v29n2p256-273
- Soares, M. D. R., Campos, M. C. C., Cunha, J. M. D., Souza, Z. M. D., Oliveira, I. A. D., Aquino, R. E. D., ... & Oliveira, L. S. (2018). Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. *Revista Ambiente & Água*, *13*(6), 01-13. doi: 10.4136/ambi-agua.2002
- Soares, M. D. R., Campos, M. C. C., Oliveira, I. A., Cunha, J. M., Santos, L. A. C., Fonseca, J. S., & Souza, Z. M. (2016). Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *59*(1), 9-15. doi: 10.4322/rca.2020
- Sousa, M. P., Pires, A. J. V., Silveira, R. B., Publio, P. P. P., Figueiredo, G. C., & Cruz, N. T. (2022). Sistemas de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta. *Brazilian Journal of Science*, *1*(10), 53-63. doi: 10.14295/bjs.v1i10.153
- Souza, J. F. D., Bonini, C. D. S. B., Mateus, G. P., de Souza, C. T., Perusso, R. L. S., Pedro, F. G., & Oliverio, G. L. (2020). Compactação do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta após cinco anos de implantação e uso. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, *19*(3), 348-353. doi:10.5965/223811711932020348
- Souza, J. F. D., Perusso, R. L. S., Bonini, C. S. B., Souza, C. T., Lupatini, G. C., Andrighetto, C., ... & Pedro, F. G. (2019). Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim Marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, *13*(1), 51-64. doi: 10.18011/bioeng2019v13n1p51-64
- Souza, L. M. D., Schlemmer, F., Alencar, P. M., Lopes, A. A. D. C., Passos, S. R., Xavier, G. R., ... & Reis Junior, F. B. D. (2012). Estrutura metabólica e genética de comunidades bacterianas em solo de cerrado sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *47*(2), 269-276. doi: 10.1590/S0100-204X2012000200016
- Spera, S. T., dos Santos, H. P., Fontaneli, R. S., & Dreon, G. (2012). Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, *7*(3), 388-393. doi: 10.5039/agraria.v7i3a1227

- Stieven, A. C., Oliveira, D. A., Santos, J. O., Wruck, F. J., & Campos, D. T. D. S. (2014). Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(1), 53-58. doi: 10.5039/agraria.v9i1a3525
- Stumpf, L., Pauletto, E. A., Pinto, L. F. S., Garcia, G. F., Ambus, J. V., Silva, T. S. D., ... & Tuchtenhagen, I. K. (2016). Condição física e desenvolvimento radicular de gramíneas em solo construído após mineração de carvão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1078-1087. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900007
- Suzuki, L. E. A. S., Lima, C. L. R. D., Reinert, D. J., Reichert, J. M., & Pillon, C. N. (2014). Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(1), 94-106. doi: 10.1590/S0100-06832014000100009
- Team, R. C. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Terra, A. B., Florentino, L. A., Rezende, A. D., & Silva, N. C. (2019). Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2), 11-20. doi:10.19084/rca.16016
- Tezolin A., T., das Neves M., F., dos Santos F. K., da S. M. R., Ximenes, T. S., Panachuki, E., & de Carvalho, L. A. (2021). Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. *Research, Society and Development*, 10(1), e5110111278. doi: 10.33448/rsd-v10i1.11278
- Torres, J. L. R., de Assis, R. L., & Loss, A. (2018). Evolução entre os sistemas de produção agropecuária no Cerrado: convencional, Barreirão, Santa Fé e Integração Lavoura-Pecuária. *Informe Agropecuário*, 39(302), 7-17.
- Torres, L. C., Barros, K. R. M., & Lima, H. V. D. (2014). Alterações na qualidade física de um latossolo amarelo sob pastagem. *Acta Amazonica*, 44(4), 419-426. doi: 10.1590/S0044-59672014000400003
- Veiga, M. D., Durigon, L., Pandolfo, C. M., & Balbinot Junior, A. A. (2012). Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. *Ciência Rural*, 42(3), 444-450. doi: 10.1590/S0103-84782012000300010
- Velasquez, R. P., & Righes, A. A. (2019). Controle de voçoroca em argissolo vermelho em São Valentim-RS. *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, 20(1), 53-69.
- Zanatta, F. A. S., Lupinacci, C. M., & Boin, M. N. (2019). O sistema de capacidade de uso da terra como instrumento para análise de área rural degradada. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, 20(72), 55-77. doi: 10.14393/RCG207241496

CAPÍTULO 3- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de manejo integrados promovem melhorias a qualidade física do solo. Foi possível notar resultados positivos, para o emprego dos sistemas conservacionistas do solo para produção de pastagem, os quais contribuí favoravelmente para conservação, preservação e manutenção da qualidade física do solo, contudo notou-se desfechos positivos para o sistema convencional de produção de pastagem, sugerindo que: ou nos últimos dez anos a forma de produzir pastagem, sofreu alterações positivas, ou que os sistemas integrados de produção requer melhor acompanhamento técnico, que priorizem a melhor forma de execução deste sistema, pois as evidências de seus resultados positivos e promissores são incontestáveis.

Embora a meta-análise possa ser empregada em diversas áreas do saber, a promoção do incentivo da inserção de informações das variáveis estatísticas básicas que compõe os estudos científicos, sobretudo na área das ciências agrárias, devem ser promovidas através dos estudos acadêmicos e das revistas científicas.

O emprego da meta-análise permitiu verificar como o manejo do solo tem interferido na qualidade do mesmo, contudo novos estudos devem ser realizados com vista a elucidar gargalos que ainda possam incidir sobre os sistemas integrados de produção, assim como sobre o sistema convencional de produção de pastagem.

Anexo A - Estudos incluídos no conjunto de dados, de acordo com o país e número de grupos incluídos nos modelos de meta-análise.

Autores/Ano	País	N grupos
Bonetti et al., 2019	Brasil	30
Borges et al., 2018	Brasil	16
Silva et al., 2017	Brasil	4
Swanepoel et al., 2015	Africa do Sul	5
Rodrigues et al., 2018	Brasil	16
Veiga et al., 2012	Brasil	4
Araújo et al., 2017	Brasil	5
Silva et al., 2018	Brasil	15
Nascimento et al., 2017	Brasil	6
Bertolin et al., 2016	Brasil	10
Sales et al., 2018	Brasil	28
Spera et al., 2012	Brasil	12
Cherubin et al., 2018	Colômbia	12
Sartor et al., 2020	Brasil	40
Vendruscolo et al., 2017	Brasil	48
Amorim et al., 2020	EUA	15
Gomes et al., 2018	Brasil	27
Jorge et al., 2012	Brasil	54
Junior et al., 2012	Brasil	15
Torres et al., 2014	Brasil	4
Mota et al., 2020	Brasil	12
Bertossi et al., 2016	Brasil	9
Moncada et al., 2014	Bélgica	4
Cruz et al., 2014	Brasil	12
Tirloni et al., 2012	Brasil	20
Rocha et al., 2016	Brasil	6
Piano et al., 2015	Brasil	36
Feitosa et al., 2020	Brasil	5
Schiavo et al., 2012	Brasil	12
Silva et al., 2019	Brasil	10
Silva et al., 2014	Brasil	16
Santos et al., 2018	Brasil	18
Kunz et al., 2013	Brasil	27
Rauber et al., 2012	Brasil	24
Silva et al., 2014	Brasil	25
Ribeiro et al., 2021	Brasil	9
Borges et al., 2019	Brasil	20
Vallejo et al., 2018	Colômbia	8
Volverás-Mambusay et al., 2016	Colômbia	8
De Carvalho et al., 2015	Brasil	15
Assis et al., 2015	Brasil	36
Stumpf et al., 2016	Brasil	12
Auler et al., 2014	Brasil	24

Rocha et al., 2014	Brasil	12
Bono et al., 2013	Brasil	75
Chaves et al., 2012	Brasil	6
Fernandes et al., 2014	Brasil	24
Balbinot Junior et al., 2012	Brasil	20
Alves et al., 2017	Brasil	20
Bonetti et al., 2016	Brasil	36
Custódio et al., 2015	Brasil	24
Borges et al., 2020	Brasil	6
Santos et al., 2015	Brasil	30
Castagnara et al., 2012	Brasil	20
Barros et al., 2018	Brasil	24
Chioderoli et al., 2012	Brasil	9
Costa et al., 2012	Brasil	32
Souza et al., 2019	Brasil	12
Nagahama et al., 2016	Brasil	24
DebiasiI e FranchiniI, 2012	Brasil	16
Costa et al., 2014	Brasil	8
Cunha Neto et al., 2018	Brasil	10
Santiani et al., 2020	Brasil	36
Freita et al., 2020	Brasil	28
Torres et al., 2013	Brasil	8
Total	65	1214

Anexo B - Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: ILP

