



LETÍCIA GONÇALVES RIBEIRO

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM DIFERENTES
SOLOS NAS FUNÇÕES ECOSSISTÊMICAS REALIZADAS
POR *DICHOTOMIUS BOS* (BLANCHARD, 1843)**

**LAVRAS-MG
2020**

LETÍCIA GONÇALVES RIBEIRO

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM DIFERENTES SOLOS NAS FUNÇÕES
ECOSSISTÊMICAS REALIZADAS POR *DICHOTOMIUS BOS* (BLANCHARD, 1843)**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Curso de Ciências Biológicas,
para a obtenção do título de
Bacharel.

Prof. Dr. Júlio Neil Cassa Louzada
Orientador

LAVRAS-MG

2020

LETÍCIA GONÇALVES RIBEIRO

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO EM DIFERENTES SOLOS NAS FUNÇÕES
ECOSSISTÊMICAS REALIZADAS POR *DICHOTOMIUS BOS* (BLANCHARD, 1843)**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Curso de Ciências Biológicas,
para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADA em 06 de agosto de 2020.

Me. Nayara Letícia Reis UFLA

Me. Raphael Passaglia Azevedo UFLA

Prof. Dr. Júlio Neil Cassa Louzada

Orientador

LAVRAS-MG
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por sempre me apoiarem e permitir a realização desse sonho. Agradeço ao meu orientador Júlio Louzada pela oportunidade de trabalhar com esses insetos incríveis que são os besouros rola-bosta e todos os ensinamentos no tempo que passei no LECIN. Agradeço ao Matheus Faria e Mateus Melo pela companhia e ajuda durante a semana de coletas de campo que acabou se tornando uma semana incrível. Agradeço aos meus colegas de laboratório, principalmente a Yojana Rivero pelo aprendizado no campo e laboratório, a Nayara Reis pela ajuda na sala de criação e Kátia Vaz pela imensa ajuda na montagem do experimento e pelos vários cafés e conversas nesse período. Agradeço ao professor Bruno Montoani pelo interesse e sugestões nos meus projetos e ao Raphael Passaglia pela ajuda nas análises do solo. E novamente ao Mateus Melo por toda ajuda e sugestões na elaboração do TCC e apresentação.

RESUMO

Os besouros do esterco (fazem parte da macrofauna do solo e como o nome sugere utilizam fezes de vertebrados como recurso alimentar e reprodutivo. Estes organismos promovem a remoção e incorporação de matéria orgânica em decomposição e aumentam a aeração do solo através da escavação de túneis subterrâneos. No grupo funcional dos paracoprídeos, *Dichotomius bos* é uma espécie muito abundante em ambientes mais abertos, como as pastagens, e a sua elevada massa corporal resulta em uma alta taxa de incorporação de fezes no solo. Diante da presença dos besouros do esterco em agrossistemas, onde o gado ocasiona a compactação e aumenta a densidade do solo e, ao mesmo tempo, disponibiliza recurso alimentar para esses insetos, o presente estudo teve como objetivo analisar o efeito do aumento da densidade em diferentes tipos de solos sobre as funções ecossistêmicas realizadas por *D. bos*. Foram realizadas coletas de campo em pastagens e após as coletas os besouros foram levados ao Laboratório de Ecologia e Conservação de Invertebrados da Universidade Federal de Lavras. Para a montagem do experimento utilizou-se um solo de textura argilosa, classificado como Latossolo, e um solo de textura arenosa, classificado como Cambissolo. Para ambos os tipos de solo foram construídos mesocosmos em baldes plásticos contendo solo previamente peneirado e umidificado. A mesma massa de solo foi compactada manualmente em diferentes alturas, obtendo níveis crescentes de densidade. Em cada mesocosmo foram utilizados 3 indivíduos de *D. bos* escolhidos aleatoriamente para refletir as condições de campo e 350g de fezes bovinas. Após 48 horas de experimento foram avaliadas as funções ecossistêmicas de enterrio de fezes e bioturbação, além de alterações na porosidade do solo ocasionadas pelas atividades dos besouros. Para avaliação e teste dos resultados foi feita uma análise estatística no software R utilizando o teste R^2 . No Latossolo a bioturbação foi maior nos mesocosmos com densidade intermediária e os besouros incorporaram mais fezes nos solos de densidade baixa e intermediária, tendo a função reduzida nos solos muito densos. No Cambissolo a bioturbação foi maior nos mesocosmos mais compactados e a incorporação de fezes foi maior nos níveis intermediários de densidade. A porosidade do solo foi maior na área de atividade dos besouros, mostrando que eles podem ter uma influência positiva nas propriedades físicas do solo. De forma geral, o besouro do esterco, *Dichotomius bos*, foi capaz de realizar suas funções ecossistêmicas em solos com níveis críticos de densidade, tendo a compactação do solo reduzindo suas funções em alguns níveis. As funções ecossistêmicas se mostraram mais instáveis no solo arenoso, mostrando que a textura pode alterar o comportamento dos besouros. A capacidade desses besouros de escavar solos com níveis críticos de densidade mostra que esse fator não é uma barreira para sua presença em agrossistemas, sendo necessário adotar práticas sustentáveis de manejo do solo para conservar esses organismos.

Palavras-chave: rola-bosta, bioturbação, solos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Indivíduos macho e fêmea de <i>Dichotomius bos</i>	12
Figura 2 - Classificação das guildas funcionais de acordo com a alocação de recurso.....	13
Figura 3 - Perfil do solo.....	15
Figura 4 - Mapa de classes de solos do Brasil.....	16
Figura 5 - (A) Perfil de Latossolo e (B) Cambissolo.....	17
Figura 6 - Localização do município de Itaúna-MG.....	18
Figura 7 - (A) Armadilha do tipo <i>pitfall</i> utilizada no presente estudo; (B) coleta de besouros vivos.....	19
Figura 8 - Mesocomos em baldes plásticos cobertos com redes para evitar a fuga dos besouros da espécie <i>Dichotomius bos</i>	21
Figura 9 - (A) Coleta de amostras indeformadas em anéis volumétricos; (B) preparação das amostras em laboratório.....	22
Figura 10 - Regressão não linear de bioturbação realizada por <i>Dichotomius bos</i> no solo argiloso (Latosolo).....	23
Figura 11 - Regressão linear de bioturbação realizada por <i>D. bos</i> no solo arenoso (Cambissolo).....	24
Figura 12 - Regressão linear de incorporação de fezes realizadas por <i>Dichotomius bos</i> no solo argiloso (Latosolo).....	25
Figura 13 - Regressão linear de incorporação de fezes realizadas por <i>D. bos</i> no solo arenoso (Cambissolo).....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Níveis de compactação do Cambissolo e do Latossolo.....	20
Tabela 2 - Valores de porosidade de um Latossolo com diferentes densidades do solo sob atividade do besouro <i>Dichotomius bos</i>	26
Tabela 3 - Valores de porosidade de um Cambissolo com diferentes densidades do solo sob atividade do besouro <i>Dichotomius bos</i>	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 HIPÓTESES.....	11
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1 <i>Dichotomius bos</i> (Blanchard, 1843).....	12
4.2 2 Besouros do esterco e suas relações com as propriedades físicas do solo.....	13
4.3 Diversidade de solos no Brasil.....	16
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
5.1 Coleta de besouros vivos.....	18
5.2 Montagem do experimento e análise das funções ecossistêmicas.....	20
5.3 Análise das propriedades físicas do solo.....	21
5.4 Análise estatística.....	22
6 RESULTADOS.....	22
6.1 Bioturbação do solo.....	22
6.2 Incorporação de fezes no solo.....	24
6.3 Porosidade.....	26
7 DISCUSSÃO.....	27
8 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

O ambiente edáfico é considerado um ecossistema no qual ocorrem importantes processos biológicos para manutenção da vida, como a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a formação de agregados e o controle biológico de patógenos (MOREIRA et al., pág. 14, 2013). A fragmentação e ingestão da matéria orgânica ocorrem inicialmente por meio da macrofauna do solo, que compreende aos organismos de tamanho corporal maior que 2 mm de comprimento. Esta fauna detritívora aumenta a superfície de contato da matéria orgânica para colonização microbiana e posterior decomposição. Os processos biológicos realizados por estes organismos edáficos podem ser chamados de funções ecossistêmicas ou ambientais e quando, de alguma forma, são economicamente importantes para o homem são denominados serviços ecossistêmicos (KORASAKI; MORAIS; BRAGA; pág.121, 2013).

Os besouros do esterco (Coleoptera: Scarabaeinae) fazem parte da macrofauna do solo e são fundamentais na ciclagem de nutrientes (FARIAS; HERNÁNDEZ, 2017). Como o nome sugere, esses insetos utilizam fezes de vertebrados como recurso alimentar e reprodutivo (LOUZADA, 2008, pág. 299). Estes organismos promovem a remoção e incorporação de matéria orgânica em decomposição e aumentam a aeração do solo através da escavação de túneis subterrâneos, além disso, eles estimulam a atividade da comunidade microbiana local (NICHOLS et al., 2008).

Em pastagens, onde a presença desses insetos é bastante comum devido à grande disponibilidade de recursos, os besouros do esterco realizam importantes serviços ecossistêmicos, removendo as fezes do gado da superfície, diminuindo a área afetada pelas massas fecais e seu respectivo tempo de rejeição para pastejo (KOLLER; GOMES; RODRIGUES, 2006). Ao incorporar as fezes no solo, pode haver uma redução na volatilização do nitrogênio de 80% para 5-15% (GILLARD, 1967), além de estimular a comunidade microbiana relacionada aos ciclos biogeoquímicos (SLADE et al., 2015). A utilização do depósito de esterco pelos escarabeíneos promove uma competição com os estágios larvais de moscas hematófagas e detritívoras que no estágio adulto provocam danos ao gado hospedeiro, impondo a essas um controle populacional significativo (DOUBE, 2018).

Existem três grupos funcionais de besouros do esterco que são classificados de acordo com o tipo de alocação de recursos, os endocoprídeos, que nidificam diretamente na massa fecal, os telecoprídeos, que modelam bolas de excremento, rolam e enterram longe da fonte de

recurso, e os paracoprídeos, que enterram as fezes próximas ou logo abaixo da fonte de recurso formando galerias (HALFFTER; MATTHEWS, 1966). Alguns fatores locais formadores de micro-habitat, como vegetação, umidade, tipo de solo e sua textura podem influenciar na distribuição das guildas funcionais no ambiente (LUMARET; KIRK, 1991).

No grupo funcional dos paracoprídeos, *Dichotomius bos* é uma espécie ecologicamente importante, devido sua alta abundância nos ambientes mais abertos. Além disso, *D. bos* tem uma elevada massa corporal, sendo uma espécie eficiente na incorporação de fezes no solo, através da construção de galerias para sua nidificação e alimentação (TISSIANI et al., 2017). O comportamento dos paracoprídeos de escavar túneis para nidificação e alimentação, resulta na remoção de grandes quantidades de solo para a superfície, além disso estes túneis podem ser ramificados e atingir alguns metros de profundidade (HALFFTER; EDMONDS, 1983). Este processo de deslocamento e mistura de partículas de solo por animais ou plantas é chamado de bioturbação, o que pode aumentar a infiltração de água, facilitar a penetração de raízes, aumentar a aeração e reduzir a compactação do solo (NICHOLS et al., 2008).

Os besouros do esterco podem ser sensíveis ao tipo de solo e ao manejo que recebem as áreas antropizadas, acarretando alterações na estrutura da comunidade em diferentes níveis de intensidade devido a mudanças de hábitat, fornecimento de alimento e criação de microclimas (MERLIM et al., 2005). Um dos maiores problemas relacionados ao manejo inadequado dos solos é a compactação, que afeta principalmente pastagens sob pisoteio de gado e terras aráveis com intenso fluxo de máquinas agrícolas (BEYLICH et al., 2010). A compactação do solo altera suas propriedades físicas, reduzindo sua densidade e sua porosidade, dificultando o crescimento radicular em condições de baixa umidade e reduzindo sua oxigenação em ambientes úmidos (FERREIRA, R.; FILHO; FERREIRA, M., 2010).

Diante do efeito positivo da presença dos besouros do esterco em agrossistemas, onde o gado ocasiona a compactação do solo e ao mesmo tempo disponibiliza recurso alimentar para esses insetos, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do aumento da compactação em diferentes tipos de solos sob as funções ecossistêmicas realizadas por *Dichotomius bos*.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar o efeito do aumento da densidade em solos com texturas contrastantes sobre as funções ecossistêmicas de incorporação de fezes e bioturbação realizadas pelo besouro do esterco *Dichotomius bos*.

2.2. Objetivos específicos

- Medir a bioturbação realizada por *Dichotomius bos* em duas classes de solo com textura contrastante;
- Medir a quantidade de fezes removidas por *Dichotomius bos* em duas classes de solo com textura contrastante;
- Avaliar se as funções ecossistêmicas realizadas por *Dichotomius bos* podem apresentar diferenças de acordo com a textura do solo;
- Avaliar se a execução das funções ecossistêmicas de *Dichotomius bos* pode alterar a porosidade do solo.

3. HIPÓTESES

A bioturbação será maior nas densidades intermediárias em ambos os solos, uma vez que não desagregam com facilidade como em densidades menores e não oferecem tanta resistência como em solos muito densos, independente da sua textura.

Nos dois tipos de solos a quantidade de fezes removidas será maior no solo menos denso e, respectivamente, nos níveis intermediários de densidade, os besouros terão maiores dificuldades de incorporar as fezes nos solos mais densos devido ao fato da alocação de recurso ser uma atividade secundária à construção dos túneis e solos mais compactados demandarem um maior gasto energético na função de bioturbação.

Com relação à influência do tipo de textura, devido ao Latossolo apresentar maiores teores de argila na sua constituição e ser mais suscetível à compactação, as funções ecológicas serão menores para esse tipo de solo e maiores para o Cambissolo, que é um solo arenoso e menos suscetível a compactação.

A construção dos túneis cria bioporos proporcionais ao tamanho do besouro, além do revolvimento de partículas decorrente da bioturbação, ocasionando um aumento na porosidade total do solo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 *Dichotomius bos* (Blanchard, 1843)

O besouro do esterco *Dichotomius bos* (Blanchard, 1843) pertence ao grupo funcional de besouros paracoprídeos e devido a sua maior biomassa corporal remove mais fezes e escava grande quantidade de solo no processo de construção de seus ninhos (NICHOLS et al., 2008). *D. bos* é uma espécie comum em áreas de pastagens (TISSIANI et al., 2017) e possui hábitos generalistas e são noturnos, podendo a presença de gado ter um efeito positivo no aumento de sua biomassa populacional (SILVA, 2009). A duração do seu ciclo de vida no laboratório é de aproximadamente 435 dias e cada casal tem produção inferior a um ovo por mês (WALSH; GANDOLFO, 1997). Tais características tornam *D. bos* uma espécie de fácil coleta e criação em laboratório para avaliar as funções ecossistêmicas de enterrio de fezes e bioturbação do solo (FIGURA 1).

Figura 1 - Indivíduos macho e fêmea de *Dichotomius bos*.

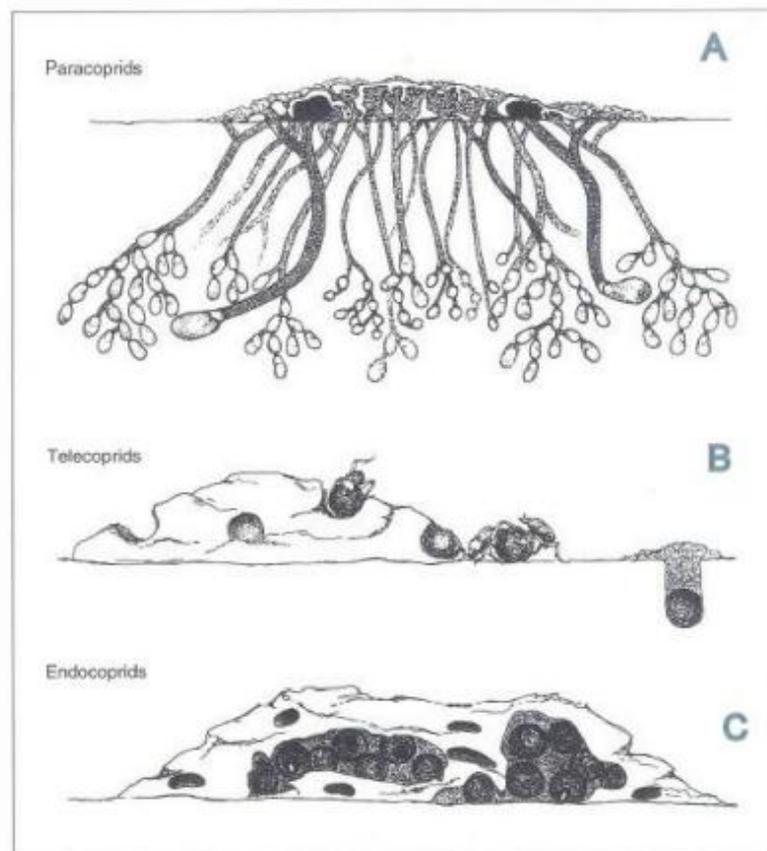


Fonte: TISSIANI et al. (2017).

De acordo com os experimentos de Nervo et al. (2014), os besouros paracoprídeos são mais eficientes na remoção das fezes do gado, pois além dos adultos utilizarem as fezes para alimentação, também utilizam para provisão dos ninhos após a construção dos túneis no solo (HALFFETTER; MATTHEWS, 1996) (FIGURA 2). Outro fator determinante na remoção das fezes é o tamanho corporal, besouros maiores são funcionalmente mais eficientes que

besouros menores (SHAHABUDDIN et al., 2008), pois consomem maior quantidade de recurso e segundo Horgan (2005) a biomassa corporal do indivíduo pode ser mais determinante na decomposição do esterco que a riqueza de espécies. Além disso, a construção de túneis cria poros proporcionais ao tamanho corporal dos besouros, que podem influenciar positivamente as propriedades físicas do solo (BROWN et al., 2010), aumentando a infiltração de água e aeração.

Figura 2 - Classificação das guildas funcionais de besouros do esterco de acordo com a alocação de recurso.



Legenda: (A) Paracoprídeos , (B) Telecoprídeos e (C) Endocoprídeos.
Fonte: SIMMONS; SMITH (2011).

4.2 Besouros do esterco e suas relações com as propriedades físicas do solo

O manejo inadequado do solo pode promover alterações drásticas nas condições físicas do solo em agrossistemas e a extensão dessas alterações depende da intensidade do pisoteio, da taxa de lotação, do tipo de solo e da umidade em que ele se encontra na ocasião (FERREIRA, R.; FILHO; FERREIRA, M., 2010). A determinação da densidade do solo pode

ser utilizada para avaliar o efeito do pisoteio do gado sobre a qualidade física do solo (MAPFUMO et al., 2000), variação nos valores da densidade do solo, na maioria das vezes, é resultante das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade estão diretamente relacionadas e por isso são apresentadas de forma conjunta (FERREIRA, R.; FILHO; FERREIRA, M., 2010). Além da porosidade, a densidade permite inferir sobre atributos como condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, e pode ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Alterações causadas na densidade do solo, conseqüentemente afetam a porosidade, que modifica as taxas de trocas gasosas e altera a disponibilidade de água para as plantas e a fauna edáfica (FERREIRA, R.; FILHO; FERREIRA, M., 2010). Esses fatores tornam a densidade e porosidade do solo parâmetros importantes para relatar as funções ecossistêmicas dos besouros do esterco

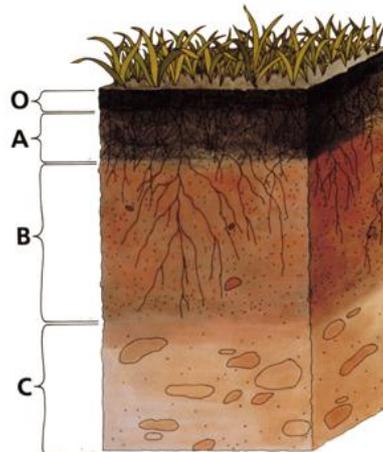
A porosidade do solo é uma propriedade física que é fortemente afetada pela compactação. Com o aumento da compactação há decréscimo da porosidade, alterando o tamanho dos poros e a difusão de gases (RICHART et al., 2005). Os poros são classificados em macroporos que têm o diâmetro maior que 0,05 mm e influenciam na capacidade de infiltração, drenabilidade e aeração do solo, e em microporos que têm diâmetro menor que 0,05 mm e são responsáveis pela capacidade de retenção de água e solutos (COELHO, 2013). Quando ocorre a compactação do solo há alterações no arranjo das partículas e diminuição no tamanho dos macroporos, podendo aumentar a erosão devido à dificuldade da infiltração de água (ALVES et al., 2007), essa redução tende a refletir reduzindo a porosidade total e no aumento da densidade (SPERA et al., 2006). Já a redução da microporosidade reduz a capacidade de armazenamento de água do solo, portanto uma pequena quantidade de água pode levar o solo à saturação, o que prejudica a aeração, dificultando a atividade microbiana e respiração dos organismos edáficos (WENDLING et al., 2003). Baixos valores de macroporosidade associadas a elevada microporosidade podem ser um indicativo de compactação do solo (FONSECA et al., 2007).

Outros fatores envolvidos na compactação do solo são textura e umidade. Solos mais argilosos tem uma maior profundidade na qual a pressão é transmitida, aumentando a espessura da camada compactada (HORN, 1995). Para solos arenosos espera-se que tenham maior capacidade de organização das partículas devido ao formato irregular dos grãos de areia, fazendo com que esses solos tenham menos problemas de compactação em umidades mais baixas (DIAS; MIRANDA, 2000). Já a umidade está relacionada à deformação que pode

ocorrer no solo, solos mais secos podem aguentar maiores pressões sem que a compactação seja significativa, já solos úmidos deformam-se mais facilmente, gerando camadas compactadas (SWAN; MONCRIEF; VOOHEES, 1987), uma vez que a água funciona como um lubrificante, facilitando o acomodamento das partículas.

A camada mais superficial do solo, que vai de 0 a 20 cm de profundidade, é onde ocorre o desenvolvimento radicular e também é a região mais afetada pela compactação do solo, sendo que, a densidade decresce à medida que a profundidade do solo aumenta (ALBUQUERQUE; SANGOI; ENDER, 2001). Experimentos de Brown et al. (2010) mostraram que os besouros aumentaram a porosidade do solo no horizonte A (FIGURA 3) e houve uma redução da densidade nos primeiros 10 cm após 48-72 horas que a massa fecal foi colocada no solo. A introdução de matéria orgânica através da criação de bioporos aumenta a umidade do solo no horizonte A, facilitando o suprimento de água e nutrientes e aumenta a aeração do solo resultando em benefícios para o crescimento das plantas (SNYMAN, 2005).

Figura 3 - Perfil do solo.



Legenda: Cada letra corresponde aos diferentes horizontes que compõe o perfil do solo.

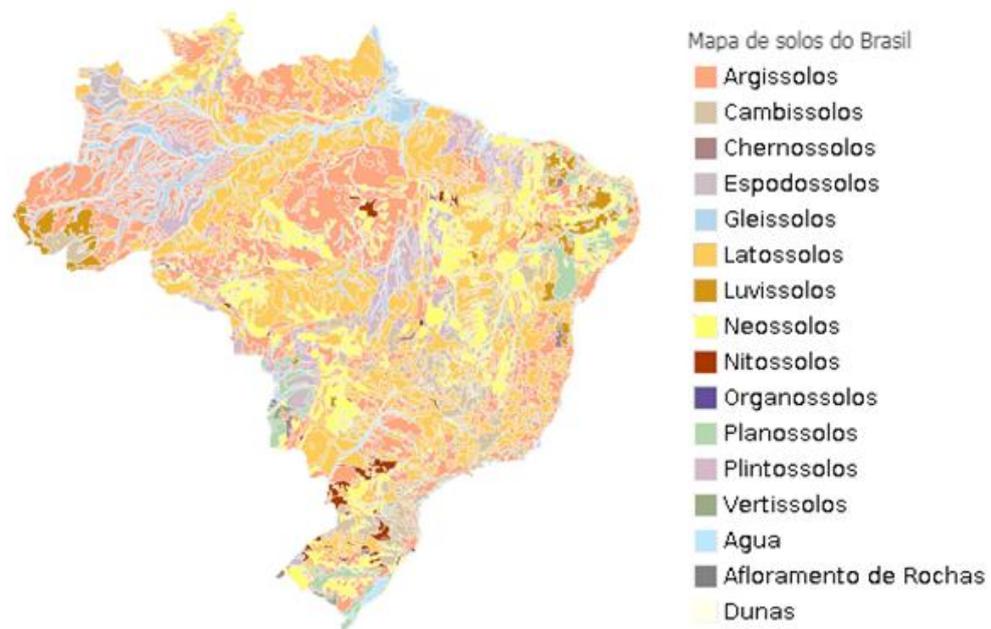
Fonte: *sacisolucoes.com.br*

A diversidade local de besouros do esterco tem mostrado diferenças entre solos arenosos e argilosos. Solos arenosos podem ser dominados por espécies de paracoprídeos e telecoprídeos maiores (DAVIS, 1996). Com o aumento da concentração de argila o solo torna-se mais suscetível compactação. Os besouros endocoprídeos não precisam escavar túneis, pois vivem dentro da massa fecal, diante disso, são menos afetados pelo tipo de solo. Isso mostra que as condições pontuais que formam o micro-habitat, como textura do solo, são importantes para a estrutura das guildas funcionais dos besouros do esterco em escala local (SILVA et al., 2015).

4.3 Diversidade de solos no Brasil

O Brasil possui uma ampla variedade de solos decorrente da heterogeneidade de pedoambientes e fatores de formação (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2020). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), há 13 ordens de solos no país (FIGURA 4), que é o nível mais geral de classificação baseado na presença ou ausência de horizontes, atributos diagnósticos e propriedades facilmente identificáveis no campo.

Figura 4 – Mapa de classes de solos do Brasil.



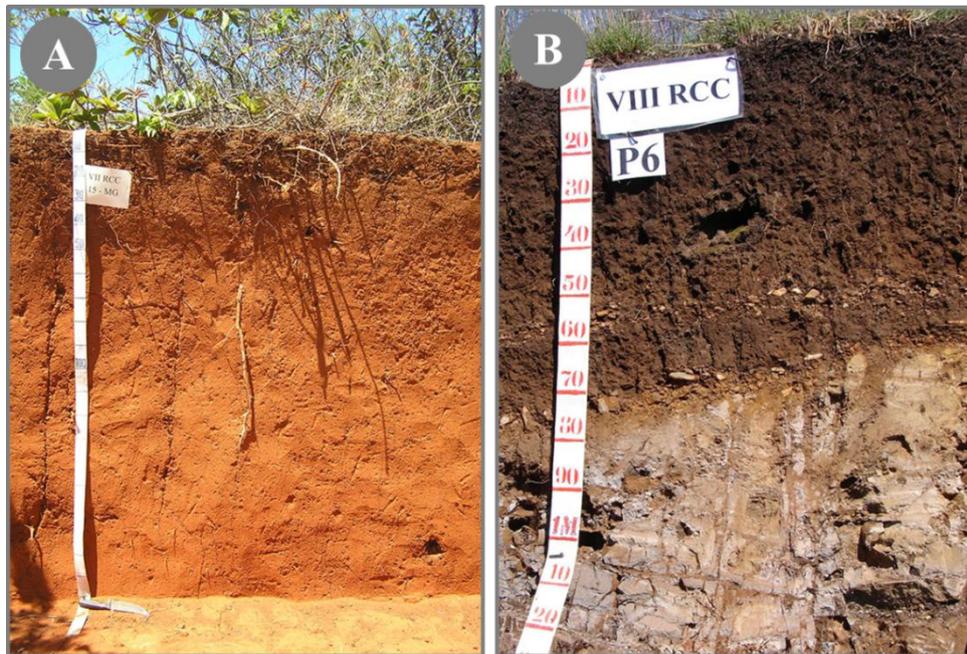
Legenda: Distribuição geográfica dos solos do Brasil, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006). Escala 1:5.000.000.

Fonte: geoinfo.cnps.embrapa.br

Uma das classes de solo mais comuns e que está distribuída em 39% do território nacional é o Latossolo (Figura 5 A), que é altamente desenvolvido e lixiviado, podendo apresentar de médio a alto teor de argila devido ao elevado intemperismo (EMBRAPA, 2020). Por ser um solo mais argiloso, seu nível crítico de densidade é atingido com valores menores, variando entre 1 g/cm³ a 1,45 g/cm³. Os problemas de compactação e respectivo aumento da densidade são mais sérios em solos argilosos, pois esses são formados de partículas pequenas com elevada superfície de contato que são facilmente arranjadas durante o processo de compactação, provocando rigorosa redução na macroporosidade (TORRES; SARAIVA, 1999).

Outra classe de solo encontrada no Brasil é o Cambissolo (Figura 5 B), que está distribuído em 2,5% do território com grande concentração no estado de Minas Gerais (EMBRAPA, 2020). É um solo moderadamente desenvolvido e devido a grande variabilidade da natureza do material de origem tem uma ampla variação na composição química e granulométrica (SANTOS et al., 2008, pág. 70). Por ser um solo que ainda não é muito desenvolvido e estar em processo de transição, pode apresentar altos teores de areia e nesse caso, o nível crítico de densidade para solos arenosos varia entre 1,25 g/cm³ a 1,7 g/cm³. Os solos arenosos têm partículas maiores e com menor superfície de contato, por isso apresentam maiores valores de densidade comparados a solos argilosos, além de manter maior macroporosidade e serem menos restritivos ao crescimento radicular (TORRES; SARAIVA, 1999).

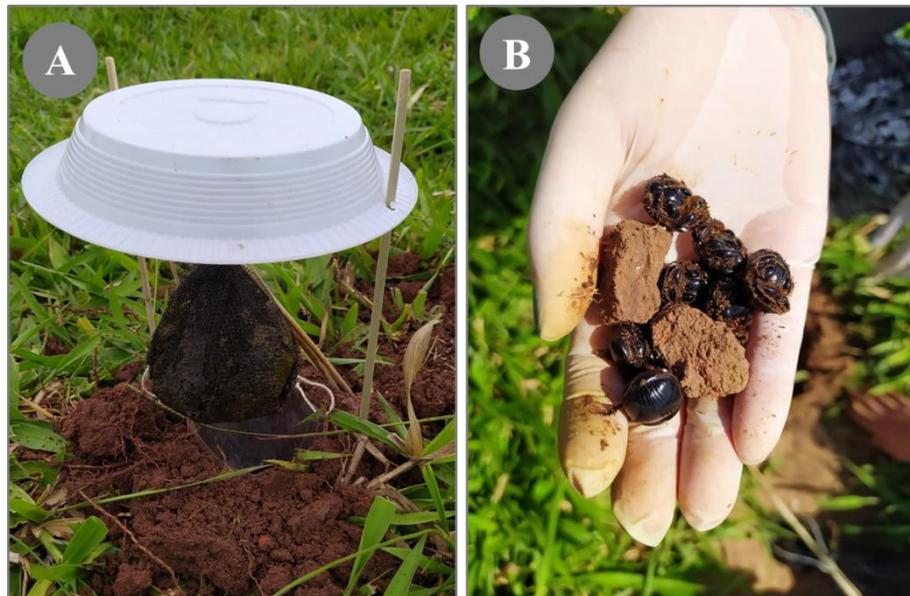
Figura 5 - (A) Perfil de Latossolo e (B) Cambissolo.



Fonte: (A) Maria de Lourdes Mendonça Santos e (B) Marcos Gervásio Pereira.

enterradas com suas aberturas ao nível do solo e no fundo da garrafa foi adicionado terra do próprio local para acomodação dos besouros capturados. Para atrair os besouros, foi colocado um recipiente com 200g de fezes bovinas acima de cada armadilha e uma tampa de plástico sustentada por varas de bambu foi posicionada acima para proteger as armadilhas contra a chuva. As armadilhas foram instaladas a 50 m de distância umas das outras dispostas aleatoriamente, as iscas foram trocadas e os escarabeídeos coletados a cada 24 horas (CARVALHO et al., 2017) por um período de 5 dias consecutivos (FIGURA 7 B). As espécies foram triadas e identificadas segundo Tissiani et al. (2017) que apresentam uma chave de identificação de besouros rola-bosta: Scarabaeidade das pastagens brasileiras.

Figura 7 – (A) Armadilha do tipo *pitfall* utilizada no presente estudo; (B) coleta de besouros vivos.



Fonte: Da autora (2020).

Foram coletados 160 indivíduos da espécie *D. bos*, os besouros foram levados à sala de criação do Laboratório de Ecologia e Conservação de Invertebrados, no departamento de Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Lavras (LECIN-UFLA). Eles passaram por um período de 15 dias em aclimatização e foram colocados 5 indivíduos em cada pote plástico (15 × 9.4 cm) contendo 700 g de solo previamente peneirado e umidificado e foram alimentados com fezes bovinas a cada três dias. A sala de criação foi mantida em condições controladas de temperatura ($24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), fotoperíodo (12 horas) e umidade relativa ($70\% \pm 5\%$). Antes do início dos experimentos 48 besouros foram selecionados e mantidos sem alimentação por um período de sete dias consecutivos (FAVILA, 1993).

5.2 Montagem do experimento e análise das funções ecossistêmicas

Foram construídos mesocosmos utilizando um Cambissolo coletado na região de Itumirim e um Latossolo coletado na UFLA. Foram construídos 8 mesocosmos em baldes plásticos e de acordo com as dimensões dos baldes (8 L) foi possível construir 8 mesocosmos para o Cambissolo e 8 mesocosmos para o Latossolo, totalizando 16 baldes. Em cada balde foram colocados 6 kg de solo que foi previamente peneirado e posteriormente umidificado com um borrifador de pressão, foram utilizados aproximadamente 3 l de água para cada balde. A mesma massa de solo foi compactada manualmente em diferentes alturas, obtendo níveis crescentes de densidade do solo de acordo com a Tabela 1. A densidade foi calculada com base na fórmula $D=M/V$, onde D é a densidade (g/cm^3), M é massa do solo (kg) e V é o volume de água presente em cada nível dos baldes (l).

Tabela 1- Níveis de compactação do Latossolo e do Cambissolo.

Número do balde	Altura de compactação do solo (cm)	Volume de água em cada altura (l)	Densidade do solo obtida (g/cm^3)
1	17	5,87	1,02
2	16	5	1,20
3	15	4,77	1,25
4	14	4,52	1,32
5	13	4,09	1,46
6	12	3,7	1,62
7	11	3,16	1,89
8	10	2,98	2,01

Fonte: Da autora (2020).

Em cada mesocosmo foram utilizados 3 indivíduos de *Dichotomius bos* escolhidos aleatoriamente e sem distinção de sexo para refletir as condições de campo, totalizando 48 besouros usados no experimento, e 350 g de fezes bovinas. As fezes bovinas utilizadas no experimento foram provenientes do gado criado na UFLA, que foi alimentado com capim e milho. Após a montagem do experimento os baldes foram dispostos de forma aleatória na sala e cobertos com redes para evitar a fuga dos besouros e permitir entrada de oxigênio (FIGURA 8). Após 48 horas de experimento o enterrio de fezes foi avaliado fazendo uma diferença entre o peso inicial e final da massa fecal e a bioturbação foi medida através do peso do solo removido que foi retirado dos mesocosmos, coletado cuidadosamente com uma espátula e seco em estufa a $105\text{ C}^\circ \pm 2$ até apresentar um peso seco constante (BRAGA et al., 2013).

Figura 8 – Mesocosmos em baldes plásticos cobertos com redes para evitar a fuga dos besouros da espécie *Dichotomius bos*.



Fonte: Da autora (2020).

5.3 Análise das propriedades físicas do solo

Para avaliar a porosidade do solo foram coletadas duas amostras indeformadas em anéis volumétricos (volume do anel) para cada mesocosmo, selecionando uma amostra de solo com um bioporo visível e outra sem atividade visível dos besouros, com o propósito de comparar-las (FIGURA 9 A). As amostras foram preparadas no Laboratório de Física e Mecânica dos Solos no Departamento de Ciências do Solo da UFLA, seguindo o Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (2017). Inicialmente as amostras foram limpas, retirando-se o excesso de solo para a amostra obtivesse o mesmo volume do anel. Em seguida foram saturadas por capilaridade em bandejas plásticas com água destilada até a altura de três quartos do cilindro (FIGURA 9 B), por um período de 24 horas. Em seguida, as amostras foram retiradas da água, e então são pesadas para a obtenção da massa de solo saturada (P1), então foram submetidas a tensão de 6 kPa utilizando uma mesa de tensão automatizada por 24 horas.. Após esse período as amostras são pesadas obtendo-se a massa de solo a 6 kPa (P2), que representa a quantidade de água retida nos microporos, e depois foram levadas à estufa a 105° C por 24 horas e foram novamente pesadas obtendo-se a massa de solo seco (P3). Com as massas, procedesse com os cálculos, obtendo-se o volume de macro e microporos contidos nas amostras. Para o cálculo da macroporosidade foi utilizada a fórmula $[(P1 - P2) \cdot 100] / v$, onde v é o volume do anel volumétrico utilizado para coletar as amostras. Para o cálculo da microporosidade foi utilizado a fórmula $[(P2 - P3) \cdot 100] / v$ e para o cálculo da porosidade total do solo é feita a soma dos macroporos e microporos.

Figura 9 – Coleta de amostras indeformadas em anéis volumétricos; (B) preparação das amostras em laboratório.



Fonte: Da autora (2020).

5.4 Análise de dados

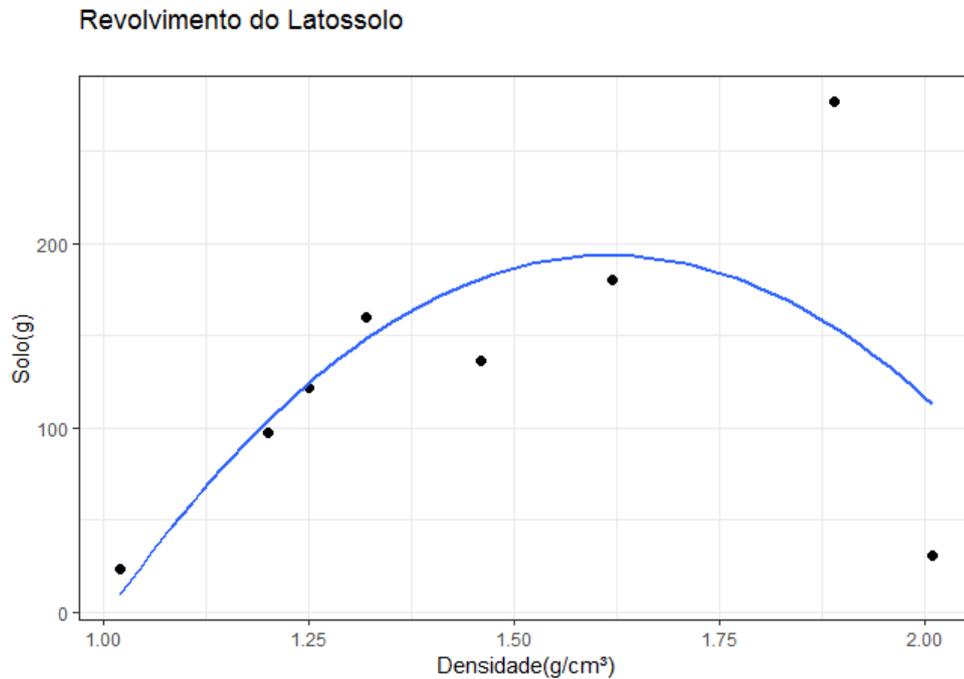
Para avaliação e teste dos resultados foi feita uma análise utilizando o software R, onde a bioturbação do solo e enterrio de fezes são as variáveis resposta, enquanto a densidade do solo é a variável explicativa. Após ajustado um modelo de regressão linear de primeiro grau e segundo grau para cada situação, o coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para verificar a qualidade do ajuste, sendo os valores mais próximos de 1 o melhor ajuste.

6. RESULTADOS

6.1 Bioturbação do solo

Para bioturbação no Latossolo, o ajuste da regressão de primeiro grau obteve $R^2=0,0223$ e o de segundo grau obteve $R^2=0,2829$, caracterizando o ajuste de um modelo de segundo grau mais eficiente (FIGURA 10). Os resultados mostraram que no menor e maior nível de densidade os besouros conseguiram remover quantidades pequenas de solo, 23 g e 31 g, respectivamente. Já nos níveis intermediários a quantidade de solo removido variou entre 122 g a 180 g. No penúltimo nível de densidade, os besouros removeram maior quantidade de solo que nos outros níveis, 270 g, podendo ser considerado um valor atípico para um solo tão compactado.

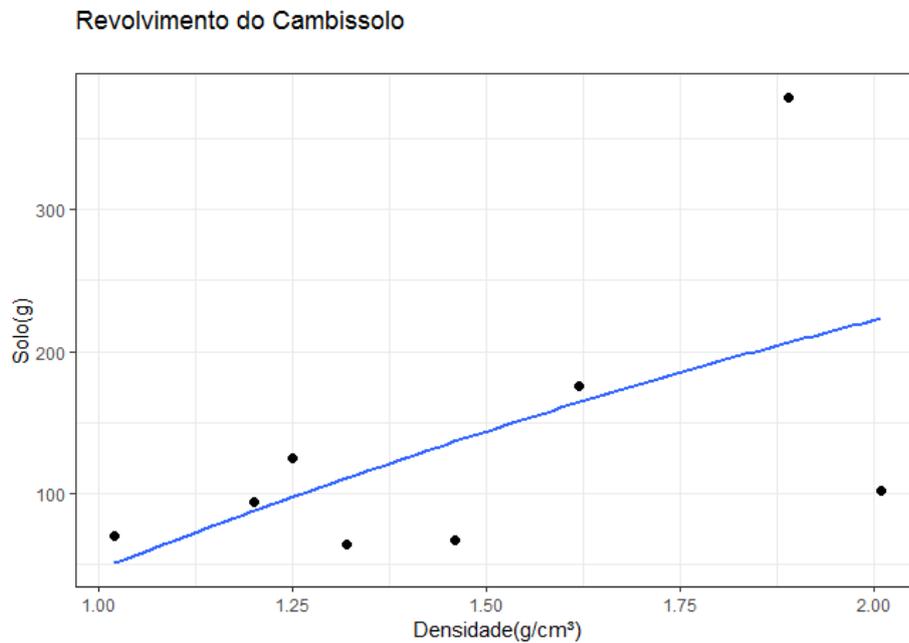
Figura 10 – Regressão não linear de bioturbação realizada por *Dichotomius bos* no solo argiloso (Latossolo).



Fonte: Da autora (2020).

Para a bioturbação do Cambissolo, o ajuste de uma regressão de primeiro grau obteve $R^2=0,20747$ e o de uma regressão de segundo grau obteve $R^2=0,05063$, caracterizando o ajuste de um modelo de primeiro grau mais eficiente (FIGURA 11). No Cambissolo, os besouros removeram menores quantidades de solo nos níveis menos densos, sendo o menor nível com 70 g de solo removido. Nos níveis intermediários a remoção variou entre 64 g e 176 g, sendo que alguns níveis intermediários tiveram uma bioturbação inferior ao esperado. Assim como o Latossolo, no Cambissolo o penúltimo nível de densidade também apresentou um alto revolvimento de solo, 379 g, sendo o maior valor de bioturbação obtido no experimento. Já o nível de maior densidade, os besouros removeram 102 g de solo, sendo uma quantidade maior que o esperado para um solo tão denso.

Figura 11 - Regressão linear de bioturbação realizada por *D. bos* no solo arenoso (Cambissolo).

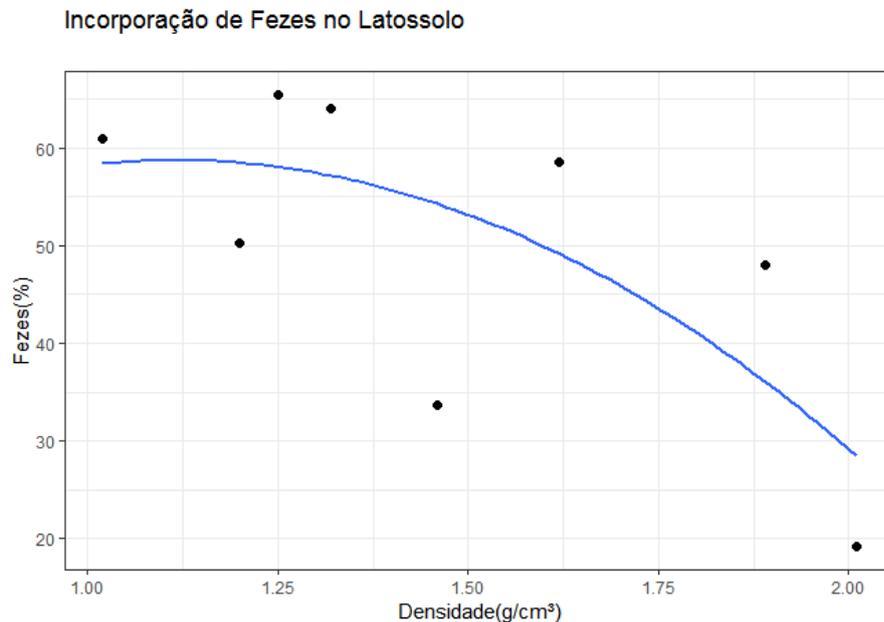


Fonte: Da autora (2020).

6.2 Incorporação de fezes no solo

Para incorporação de fezes no Latossolo, o ajuste de uma regressão de primeiro grau obteve $R^2=0,3638$ e o de uma regressão de segundo grau obteve $R^2=0,3062$, caracterizando o ajuste de um modelo de primeiro grau mais eficiente (FIGURA 12). No menor nível de densidade, os besouros incorporaram 60,86% das fezes no solo, sendo um dos mesocosmos com maior taxa de incorporação de fezes. Nos níveis intermediários os valores variaram entre 33,72 % a 65,46%. No maior nível de densidade a taxa de incorporação de fezes foi a menor, tendo apenas 19,15% das fezes removidas.

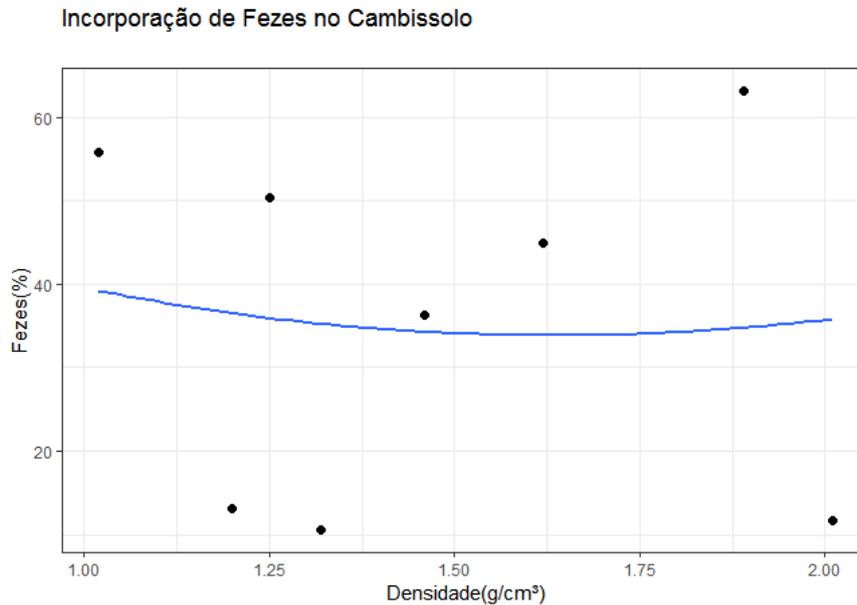
Figura 12- Regressão linear de incorporação de fezes realizadas por *Dichotomius bos* no solo argiloso (Latossolo).



Fonte: Da autora (2020).

Para incorporação de fezes no Cambissolo, o ajuste de uma regressão de primeiro grau obteve $R^2=-0,1641$ e o de uma regressão de segundo grau obteve $R^2=0,3912$, caracterizando o ajuste de um modelo de segundo grau mais eficiente (FIGURA 13). No menor nível de densidade, assim como o solo argiloso, os besouros incorporam uma das maiores taxas de fezes no solo, equivalente a 55,71%. Nos níveis intermediários a remoção de fezes apresentou uma oscilação nos valores, alguns mesocosmos apresentaram incorporação de fezes menor que 15%, se assemelhando ao nível mais denso, em que houve remoção de apenas 11,71% das fezes. Já em outros mesocosmos a taxa de incorporação de fezes variou de 36,28% a 63,14%.

Figura 13 – Regressão linear de incorporação de fezes realizadas por *D. bos* no solo arenoso (Cambissolo).



Fonte: Da autora (2020).

6.3 Porosidade do solo

Os resultados preliminares de porosidade indicam que os besouros aumentaram a porcentagem de macro e microporos e a porosidade total do solo no entorno do bioporo tanto para o Latossolo (TABELA 2) quanto para o Cambissolo (TABELA 3) comparado com as áreas que não foram visivelmente afetadas pelos escarabeídeos. Entretanto, mais testes e amostras são necessários para afirmar se esse aumento foi significativo, pois as amostras foram retiradas em áreas pontuais com base na presença e ausência de bioporos na superfície.

Tabela 2- Valores de porosidade de um Latossolo com diferentes densidades do solo sob atividade do besouro *Dichotomius bos*.

LATOSSOLO						
Densidade (g/cm³)	Macroporos SB (%)	Macroporos CB (%)	Microporos SB (%)	Microporos CB (%)	Porosidade total SB (%)	Porosidade total CB (%)
1,02	27,1	34,5	27,9	32,8	55	67,3
1,2	26	31,1	34,4	35,9	60,4	67
1,25	12,5	19,8	40,5	41,1	53	60,9
1,32	12,1	19,3	31	37,9	43,1	57,2
1,46	11,8	12,6	24,8	45,1	36,6	57,7
1,62	14,5	21,8	39,1	39,9	53,6	61,7
1,89	6,3	10,3	42,2	53	48,5	63,3

2,01	4,3	7,4	43,8	47,6	48,1	55
------	-----	-----	------	------	------	----

(Conclusão)

Legenda: SB = sem bioporo; CB = com bioporo.
Fonte: Da autora (2020).

Tabela 3- Valores de porosidade de um Cambissolo com diferentes densidades do solo sob atividade do besouro *Dichotomius bos*.

<u>CAMBISSOLO</u>						
Densidade (g/cm ³)	Macroporos SB (%)	Macroporos CB (%)	Microporos SB (%)	Microporos CB (%)	Porosidade total SB (%)	Porosidade total CB (%)
1,02	29	30,1	14,7	18,6	43,7	48,7
1,2	29,9	32,1	5,6	12,5	35,5	44,6
1,25	25,8	30,3	14,3	18,6	40,1	48,9
1,32	26,7	27,6	16,2	26,2	42,9	53,8
1,46	26,2	27,1	8,8	18,4	35	45,5
1,62	28,4	31,9	18,3	18,8	46,7	50,7
1,89	21,9	21,9	15,3	19,3	37,2	41,2
2,01	12	13,4	13,2	18,6	25,2	32

Legenda: SB = sem bioporo; CB = com bioporo.
Fonte: Da autora (2020).

7. DISCUSSÃO

A densidade de 1,02 g/cm³, nível de menor compactação, é considerado um valor abaixo do nível crítico de densidade para o solo arenoso (TORRES; SARAIVA, 1999), enquanto para o solo argiloso há uma proposição de que 0,9 g/cm³ seja o valor máximo desejado para se ter um uso sustentável desse tipo de solo (GOEDERT et al., 2002). Nos mesocosmos de menor densidade (1,02 g/cm³) os besouros removeram pouca quantidade de solo e incorporaram uma maior porcentagem de fezes. Solos com densidade muito baixa são mais desagregados e não são propícios para que os besouros construam galerias mais íntegras e firmes fazendo com que eles removam pouca quantidade de solo. Já a função de incorporação de fezes é mais alta nesse nível densidade (1,02 g/cm³) devido ao solo mais desagregado oferecer menor resistência na construção dos túneis, que são feitos antes do recurso ser levado para o subsolo (HALFFETTER; MATTHEWS, 1996), permitindo que haja um maior investimento de energia na alocação da massa fecal. Através da remoção das fezes os besouros podem contribuir na introdução de matéria orgânica, aumentando as taxas de infiltração de água e reduzindo os processos erosivos (THUROW et al., 1986).

No Latossolo, a função de bioturbação foi mais intensa nos níveis intermediários de compactação, em que os valores de densidade variaram entre 1,2-1,62 g/cm³, sendo que em

sistemas agropastoris a densidade gira em torno de 1,1-1,5 g/cm³ (HAIGH; SANSOM, 1999), logo a densidade obtida no experimento se aproxima do que é encontrado em condições de campo. A partir da densidade de 1,4 g/cm³, que é o limite crítico geral (SOUZA et al., 2005), o solo já apresenta condições restritivas ao desenvolvimento radicular vegetal e a infiltração de água (FONSECA et al., 2007). Porém o limite crítico não comprometeu o desempenho da função de bioturbação, pois solos em condições intermediárias possibilitam que os besouros construam galerias mais estruturadas sem a resistência oferecida por solos extremamente compactados ou a falta de consistência em solos muito desagregados. No Cambissolo o comportamento dos besouros foi diferente do esperado, a bioturbação aumentou à medida que o solo ficou mais denso. Uma possível explicação é que para alguns organismos edáficos, como minhocas, a resistência espacial em solos compactados dificulta o movimento devido a pressão corporal, diante disso, há uma maior necessidade de ingerir e remover partículas de solo (BEYLICH, 2010).

Na densidade de 1,89 g/cm³, que é considerado um solo muito compactado se assemelhando a densidade encontrada em minas de carvão no processo de recuperação (HAIGH; SANSOM, 1999), os besouros realizaram uma alta bioturbação, tanto no solo argiloso quanto no arenoso, chegando aos maiores valores obtidos no experimento. Era esperado que nesse nível de compactação os besouros removessem pouca quantidade de solo devido à dificuldade na escavação dos túneis. O conceito de densidade máxima determina a umidade crítica em que a compactação do solo comprometerá seu uso sustentável e quando o solo se encontra nessa situação de umidade crítica deve ser evitado o tráfego de máquinas agrícolas e pisoteio de gado (MENTGES et al., 2007). É possível que a densidade de 1,89 g/cm³ seja como a densidade máxima em que os besouros consigam realizar suas funções ecossistêmicas sem comprometimento para ambos os tipos de solo. É possível que a densidade de 1,89 g/cm³ seja como a densidade crítica em que os besouros consigam realizar suas funções ecossistêmicas sem comprometimento para ambos os tipos de solo.

Já no solo mais denso, 2,01 g/cm³, os besouros realizaram uma menor bioturbação, principalmente no solo argiloso, que é mais suscetível aos efeitos do aumento da densidade devido a elevada superfície de contato das partículas de argila que são facilmente arrançadas durante o processo de compactação (TORRES; SARAIVA, 1999). Outro fator que pode influenciar na baixa remoção de solo é umidade, pois à medida que a compactação aumenta o mesmo volume de água é compactado em um espaço menor. Água e ar competem pelos espaços porosos do solo (COELHO et al., 2013) e foi possível notar o excesso de umidade no

solo argiloso mais denso, além de que nesse mesocosmo apenas um besouro estava no interior do solo após 48 horas de experimento, sendo um indício de que os poros estavam preenchidos com água, ocasionando a falta de oxigênio disponível para manter os insetos vivos no interior do solo.

A incorporação de fezes no Latossolo seguiu o esperado evidenciando que à medida que o solo fica mais denso os besouros têm mais dificuldades na alocação do recurso. Com o aumento da concentração de argila, o solo torna-se mais suscetível à compactação que dificulta o revolvimento do solo para construção de grandes galerias (DOUBE, 1991). Logo, o solo argiloso e compactado faz com os besouros tenham um maior investimento energético na construção dos túneis restringindo a incorporação de fezes à medida que a densidade aumenta. A compactação do solo pode limitar a execução dessa função ecológica, porém mesmo com a barreira física os besouros podem contribuir para a melhoria das propriedades químicas do solo, fornecendo nutrientes às plantas (HAYNES; WILLIAMS, 1993) através da incorporação de fezes, principalmente até a densidade de $1,32 \text{ g/cm}^3$, pois a partir daí o aumento da densidade prejudica a incorporação de fezes.

Para o Cambissolo a função de incorporação de fezes foi maior nos níveis intermediários de compactação, porém com oscilação dos valores entre os mesocosmos, alguns obtiveram uma porcentagem de incorporação de fezes muito baixa. Essas variações dentro do mesmo tipo de solo podem ser devido a questões intrínsecas dos indivíduos, como idade e estado reprodutivo, visto que, ao coletar indivíduos vivos no campo não é possível saber a idade e o estado reprodutivo dos insetos. O enterrio de fezes tem como finalidade principal a reprodução e alimentação da prole, apenas uma pequena parte é destinada a sustentação dos adultos (WALSH; GANDOLFO, 1996), diante disso, é possível que se os besouros não estiverem em fase reprodutiva o consumo de recurso é menor.

Era esperado que as funções ecossistêmicas fossem mais limitadas no solo argiloso, devido a maior propensão a problemas relacionados à compactação (DIAS; MIRANDA, 2000). Porém, o comportamento dos besouros foi mais comprometido no solo arenoso. A diferença encontrada no comportamento geral dos besouros entre o solo arenoso e argiloso pode estar relacionada com a umidade. Solos arenosos tem uma drenagem naturalmente maior (BROWN et al., 2010), sendo mais propícios a perda de água em um curto espaço de tempo. Segundo Osberg et al. (1993), mesmo que o solo seja mais solto, como o solo arenoso, se ele estiver seco a incorporação de fezes é reduzida, pois os besouros têm uma maior tendência a nidificar em solos mais úmidos.

Os besouros aumentaram a porosidade do solo no entorno dos túneis construídos no Latossolo e Cambissolo. A porosidade pode variar em diferentes pontos por questões estruturais do tipo de solo e com a atividade dos besouros, já que a ramificação dos túneis no interior do solo não é visível e pode influenciar os valores de porosidade além da zona do túnel. Solos arenosos, como o Cambissolo, possuem uma menor porosidade total em torno de 35-50% e maior macroporosidade devido ao tamanho maior de suas partículas (TAVARES-SILVA et al., 2012), tornando-os naturalmente bem drenados. O aumento da porosidade ocasionado pela bioturbação dos besouros pode reduzir a retenção de água e sua disponibilidade para as plantas (BROWN et al., 2010). Porém a atividade dos besouros aumentou em maiores proporções a quantidade de microporos, que são responsáveis por reter a água, de modo que, seu efeito na porosidade pode favorecer os solos arenosos tornando-os mais úmidos. Solos argilosos, como o Latossolo, possuem uma maior porosidade total em torno de 40-60% e maior microporosidade (TAVARES-SILVA et al., 2012), logo, são solos que retém mais umidade. O aumento na porcentagem de macroporos e microporos foi semelhante, resultando em um aumento proporcional da porosidade total. Abreu (2000) afirma que poros formados pela ação das raízes no solo são mais estáveis, pois a decomposição por microrganismos gera materiais que atuam como cimentantes nas paredes dos poros, proporcionando maior durabilidade, se comparados àqueles formados por implementos mecânicos. A atividade dos besouros pode ser comparada à ação das raízes, pois eles incorporam matéria orgânica no solo que em parte é decomposta pela comunidade microbiana (SLADE et al., 2015).

É preciso ressaltar que fatores bióticos e abióticos podem tornar uma mesma classe de solo diferente entre si. Assim, o mesmo tipo de solo pode apresentar características diversas em relação à localidade que se encontra, podendo ter influência no comportamento da sua fauna edáfica, inclusive nos besouros. Logo, há necessidade de mais estudos que investiguem esta relação besouros com os diferentes tipos de solos.

8. CONCLUSÃO

O besouro do esterco, *Dichotomius bos*, foi capaz de realizar suas funções ecossistêmicas de bioturbação e incorporação de fezes em solos com níveis críticos de densidade, tendo a compactação do solo reduzindo suas funções em alguns níveis. A textura dos diferentes tipos de solo influenciou no comportamento dos besouros e as funções ecossistêmicas de bioturbação e, principalmente, o enterrio de fezes se mostraram mais

instáveis nos solos arenosos do que nos argilosos. A atividade dos besouros também aumentou a porosidade do solo nas proximidades dos túneis construídos, sendo um efeito benéfico para as propriedades físicas do solo.

A presença desses insetos em pastagens é de grande importância para o equilíbrio e manutenção desse ambiente, diante disso é importante adotar práticas sustentáveis de manejo do solo para conservar os besouros do esterco e suas funções no ecossistema.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. L. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo**. 2000. 65p. 2000. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)—Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS-2000.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 25, n. 3, p.717-723, 2001.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

BARROS, E. et al. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, Jena, v. 47, n. 3, p.273-280, 2003.

BEYLICH, A. et al. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. **Soil & Tillage Research**. p.133–143, 2010.

BRAGA, R. F. et al. Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated to biodiversity. **PLoS One**, v. 8, n. 2, 2013.

BROWN, J. et al. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) can improve soil hydrological properties. **Applied Soil Ecology**, n. 46, p. 9-16, 2010.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e desenvolvimento das plantas. **Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, p.132, 1997.

CARVALHO, R. et al. Factors influencing the production of pygidial secretions in the dung roller beetle *Canthon smaragdulus* (Coleoptera: Scarabaeinae). **Australian Entomological Society**, 2017.

COELHO, M, R. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento de plantas; In: MOREIRA, F. M. S. et al. **O ecossistema solo**. Lavras: Ed. UFLA. Cap. 3, p. 47-62, 2013.

DAVIS, A. L. V. Community organisation of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae): differences in body size and functional group structure between habitats. **African Journal Ecology**, n.34, p. 258–275, 1996.

- DIAS JUNIOR, M.S.; MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.2, p.337-346, 2000.
- DOUBE, B. M. Ecosystem services provided by dung beetles in Australia. **Basic and Applied Ecology**, v. 26, p. 35-49, 2018.
- EMPRABA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Brasil**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>> Acesso em: 14 de abril de 2020.
- FARIAS, P. M.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Dung beetles associated with agroecosystems of southern Brazil: relationship with soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.
- FAVILA, M. E. Some ecological factors affecting the life-style of *Canthon cyanellus cyanellus* (Coleoptera: Scarabaeidae): an experimental approach. **Ethology Ecology and Evolution** n.5, p. 319–328, 1993.
- FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, M. V. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007.
- GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.
- HALFFTER, G.; EDMONDS, W. D. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): Natural ecological and evolutive approach. **Journal of the New York Entomological Society**, n. 91, p. 512-515, 1983.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, v.12, n.14,p.1-312, 1966.
- HAIGH, M. J., SANSOM, B. Soil compaction, runoff and erosion on reclaimed coal-lands (UK). **International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment**, v. 13, n. 4, p. 135–146, 1999.
- HAYNES, R. J., WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, p. 119-199, 1993.
- HORGAN, F. G. Effects of deforestation on diversity, biomass and function of dung beetles on the eastern slopes of the Peruvian Andes. **Forest Ecology and Management**, n.216, p.117–133, 2005.
- HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.
- KOLLER, W. W.; GOMES, A.; RODRIGUES, R. R.; Perspectivas de Degradação de Fezes Bovinas pelo Besouro Coprófago Africano, *Digitonthophagus gazella*, e Espécies Sul-Americanas (Coleoptera; Scarabaeidae e Aphodiidae). Campo Grande, MS: **EMPRABA** (EMPRABA, Comunicado Técnico, 100), p.7, 2006.
- KORASAKI, V.; MORAIS, J. W.; BRAGA, R. F.; Macrofauna; In: MOREIRA, F. M. S. et al. **O ecossistema solo**. Lavras: Ed. UFLA. Cap. 7, p. 121-137, 2013.

- LOUZADA, J. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais; In; MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Ed. UFLA, cap. 9, p. 299-322, 2008.
- LARSEN, T. H.; FORSYTH, Adrian. Trap spacing and transect design for dung beetle biodiversity studies 1. **Biotropica: The Journal of Biology and Conservation**, v. 37, n. 2, p. 322-325, 2005.
- LUMARET, J. P.; KIRK, A. A. Ecology of Dung beetles in the French Mediterranean region. **Acta Zoologica Mexicana**. n. 24, p. 1-55, 1987.
- MAPFUMO, E.; CHANASYK, D. S.; BARON, V. S.; NAETH, M. A. Grazing impacts on selected soil parameters under short-term forage sequences. **Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives**. USDA, v. 53, n. 5, p. 466-470. 2000.
- MENTGES, M. I. et al. Densidade máxima pelo ensaio de Proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão uniaxial. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, (31, Gramado – RS, 2007). Gramado, Brasil. 5 p. 2007.
- MERLIM, A. de O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 1, p.57-61, 2005.
- MOREIRA, F. M. S. et al. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal; In: MOREIRA, F. M. S. et al. **O ecossistema solo**. Lavras: Ed. UFLA, Cap. 1, p.15-30, 2013.
- NERVO, B. et al. The Effects of Body Mass on Dung Removal Efficiency in Dung Beetles. **Plos One**, v.9, n.9, 2014.
- NICHOLS, E. et al. The Scarabaeinae Research Network. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**. v.141, n.6, p. 1461-1474, 2008.
- OSBERG, D. C.; DOUBE, B. M.; HANRAHAN, S. A. Habitat specificity in African dung beetles: the effect of soil type on dung burial by two species of ball-rolling dung beetles (Coleoptera Scarabaeidae). **Tropical Zoology**, v. 6, n. 2, p. 243-251, 1993.
- RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, M. L. M. et al. Solos e ocupação das terras na amazônia brasileira. In: MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Ed. UFLA, cap. 3, p.68-116, 2008.
- SILVA, R. J.; **Aspectos da diversidade de besouros rola-bostas (Scarabaeidae: Scarabaeinae) do sudoeste de Mato Grosso: biogeografia e efeitos da fragmentação e modificações do habitat**. 2015. p. 90-92. Tese (Doutorado em entomologia e conservação da biodiversidade) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2015.
- SILVA R, J. et al. Influência da granulometria do solo na estrutura de guildas funcionais de besouros rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) em florestas semidecíduais no estado do Mato Grosso, Brasil. **Bioscience Journal**. n.31, p.12-601, 2015.

- SLADE, E. M. et al. Disentangling the 'brown world' faecal–detritus interaction web: dung beetle effects on soil microbial properties. **Oikos**, v. 125, n. 5, p. 629-635, 2016.
- SNYMAN, H.A. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa. I. Influence on seasonal root distribution, root/shoot ratios and water-use efficiency. **Journal of Arid Environments**. n.60, p. 457–481, 2005.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p.1135-1139, 2005.
- SPERA, S. T. et al. O. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004a.
- SWAN, J.B.; MONCRIEF, J.F.; VOOHEES, W.B. Soil compaction causes, effects, and control. St. Paul: University of Minnesota. **Agriculture Bulletin**, p. 3115, 1987.
- TEXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solos. **Técnicos, 3ª ed., Brasília, DF: Embrapa**, 2017.
- TAVARES-SILVA, C. A.; et al. POROSIDADE DE LATOSSOLOS E PRÁTICAS DE MANEJO AGRÍCOLA VISANDO CONSERVAÇÃO DO SOLO. **Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 153-164, 2012.
- TISSIANI, A.S.; VAZ-DE-MELLO, F.Z.; CAMPELO, J.H. Besouros rola-bostas das pastagens brasileiras e chave para identificação dos gêneros (Coleoptera: Scarabaeidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 52, n.6, p.401-418, 2017.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: **Embrapa Soja** (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23), p.58, 1999.
- THUROW, T. L.; BLACKBURN, W. H.; TAYLOR JR, C. A. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems, Edwards Plateau, Texas. **Journal of Range Management**, p. 505-509, 1986.
- WALSH, G. C.; GANDOLFO, D. Nidification of thirteen common Argentine dung beetles (Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Annals of the Entomological Society of America**, v.89, n.4, p.581-588, 1996.
- WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2003.
- ZEE, Zoneamento Ecológico Econômico. Disponível em < <http://www.zee.mg.gov.br> > Acesso em: 14 de abril de 2020.