

MACROFAUNA EDÁFICA E ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

Allan Peterson Bonani Moço¹, Vagner R. Ariedi Junior², Zigomar M. de Souza³

¹Eng. Agrícola, Graduando em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP, a212448@dac.unicamp.br

²Biólogo, Doutorando em Engenharia Agrícola (Água e Solo), FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP

³Engenheiro Agrônomo, Prof. Associado, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP

RESUMO - Os sistemas conservacionistas de produção diferenciam-se da agricultura convencional pela promoção da melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que refletem na melhora da sua qualidade. Há a necessidade do desenvolvimento de práticas agrícolas que promovam a conservação e a utilização dos serviços ecossistêmicos para o desenvolvimento sustentável e para a produção agrícola. O objetivo deste projeto foi avaliar se o Sistema Agroflorestal (SAF) mecanizado e em larga escala apresenta melhores resultados com relação ao estoque de carbono no solo, e à comunidade de macrofauna edáfica, quando comparado ao sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em área de Neossolo Quartzarênico. Foram realizadas coletas de amostras em campo entre 2018 e 2020 para as análises de estoque de carbono no solo e da macrofauna edáfica. As atividades realizadas foram de apoio nas análises das amostras em laboratório, estoque de carbono no solo e de diversidade da macrofauna edáfica. Os diferentes usos e manejos do solo não influenciaram o estoque de carbono do solo, não havendo diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. A comunidade de macrofauna edáfica foi influenciada pelos diferentes usos e manejos do solo, mesmo não havendo diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. O SAF apresentou melhores resultados em termos de abundância, densidade e riqueza, enquanto que o ILPF apresentou maior índice de diversidade, menor dominância e foi mais equitativo.

Palavras-chave: *biota do solo, sistema agroflorestal, sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta.*

INTRODUÇÃO

O atual modelo de desenvolvimento agropecuário necessita ser repensado de forma mais ampla, com uma visão a médio e longo prazo no desenvolvimento realmente sustentável sob a ótica de produção e conservação dos recursos naturais (Gomes et al., 2017). Uma forma é a adoção de Sistemas Agroflorestais (SAF), que tentam recriar condições presentes nos ambientes naturais, promovendo a oferta dos principais serviços ecossistêmicos presentes em sistemas não antropogenizados (Vasconcellos e Beltrão, 2018), que apresentam também potencial para reduzir a degradação do solo e diminuir a pressão sobre as áreas de florestas, favorecendo o equilíbrio entre o solo, a água, o ar, o microclima, a paisagem, a flora e a fauna, aumentando a resiliência e a capacidade adaptativa dos agroecossistemas (Amaral et al., 2018).

Outra estratégia são os sistemas de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que incorporam atividades de produção agrícola, pecuária e florestal, em dimensão espacial e/ou temporal, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema para a sustentabilidade da unidade de produção, contemplando sua adequação ambiental e a valorização do capital natural (Balbino et al., 2019).

De acordo com Baretta et al. (2011) e Rosa et al. (2015), os sistemas conservacionistas de manejo do solo podem reduzir os impactos sobre a biodiversidade edáfica, pois melhoraram os atributos físicos e químicos, quando comparados com manejos associados à monocultura e ao preparo excessivo do solo.

Como alternativa, sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e Sistemas Agroflorestais devem ser adotados, priorizados e estimulados. Portanto, o objetivo deste projeto foi avaliar se o Sistema Agroflorestal (SAF) mecanizado e em larga escala apresenta melhores resultados com relação ao estoque de carbono no solo, e à comunidade de macrofauna edáfica, quando comparado ao sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em área de Neossolo Quartzarênico.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em condições de campo na Fazenda da Toca, situada nas coordenadas geográficas de 22°12' de latitude sul e 47°44' de longitude oeste, com altitude aproximada de 800 m, localizada no município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. O clima da região é considerado tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno (Cwa) segundo a classificação de Köppen.

Os dados foram coletados entre 2018 e 2020 em duas áreas, uma com Sistema Agroflorestal (SAF) mecanizado e em larga escala, desenhado para a produção de frutíferas e cultivo de eucalipto e uma área com Sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). A faixa de solo que compreende as áreas é formada por Neossolo Quartzarênico, essencialmente arenoso.

O SAF, desenhado para produção de frutíferas e madeira, foi implantado no mês de junho de 2014 (Acacia mangium, Eucalyptus sp. e Musa paradisiaca), com introdução de frutíferas (citros e Mangifera indica L.) em dezembro de 2014 (Figura 1). As entrelinhas foram ocupadas por capim marandu (Urochloa brizantha cv. Marandu) para fornecimento de resíduo orgânico para cobertura do solo nas faixas de plantio, ocupando uma área total de 5,2 ha. As leiras de plantio seguem o mesmo padrão do ILPF, com exceção das entrelinhas de 12,0 m.

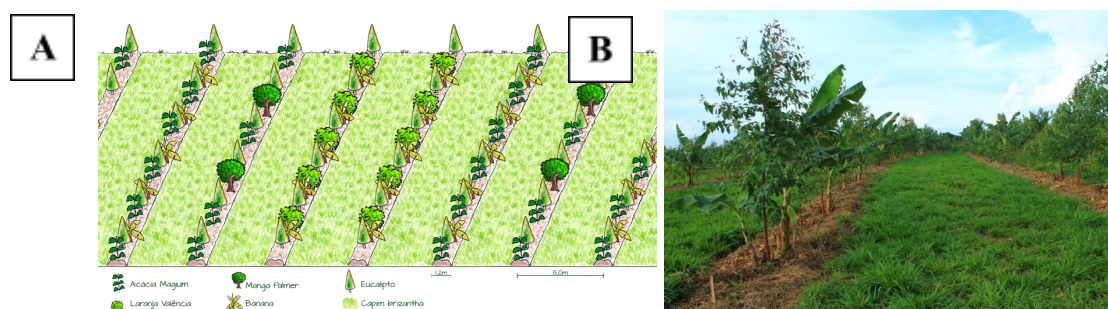


Figura 1. Esquema representativo (A) e vista (B) do SAF (Fruticultura/Madeira) na Fazenda da Toca, Itirapina, estado de São Paulo, Brasil.

O sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), desenhado para pecuária aliada à produção de madeira (*Eucalyptus pellita*), foi implantado em junho de 2015 em área total de 15 ha. As leiras preparadas para o plantio do eucalipto possuem 1,2 m de largura e são espaçadas 5,0 m entre si e o espaçamento entre plantas é de 1,0 m. Pela necessidade de um maior espaçamento entre linhas para pastagem, este modelo inclui faixas de 12 m de largura de capim marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) a cada 3 linhas de plantio de eucalipto (Figura 2). As entrelinhas do eucalipto também são ocupadas por capim marandu.

A área de Sistema Agroflorestal - sistema desenhado para fruticultura (SAF Fruticultura/Madeira) e a área de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), receberam semelhante preparo de solo. Primeiramente foi realizado o plantio de gramíneas (*Brachiaria* sp) e feijão guandu (*Cajanus cajan*), para descompactação do solo e produção de biomassa e, depois foram implantados os sistemas descritos acima.

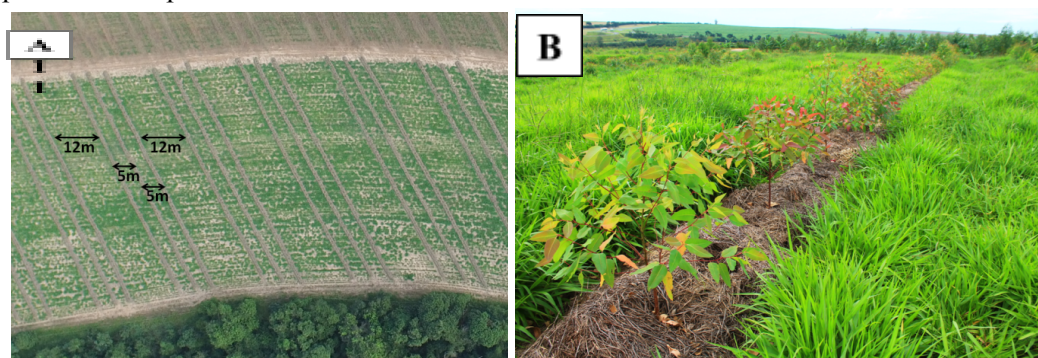


Figura 2. Vista aérea após implantação do ILPF, com espaçamento de 12 m para pasto a cada 3 linhas de plantio de

eucalipto – leiras (A) e detalhe das leiras (B).

Estoque de Carbono do solo

Para a quantificação e determinação do estoque de carbono do solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em cinco pontos nos dois tratamentos, distanciados 10 m entre si, em linha, totalizando 90 amostras.

A determinação dos teores de carbono (C) foi realizada por combustão a seco usando um analisador elementar. Os estoques foram calculados com base em massa equivalente, de acordo com a metodologia proposta por Ellert e Bettany (1995). O estoque de carbono em cada uma das camadas amostradas foi estimado a partir da expressão $Cac = (C \times Ds \times e)/1000$, onde o Cac, representa o carbono acumulado (Mg ha⁻¹); C, indica o teor de carbono na camada (%); Ds, a densidade do solo (Mg m⁻³); e, a espessura da camada em análise, em metro.

Comunidade de macrofauna edáfica

Foram realizadas quatro coletas de dados em campo para as análises da macrofauna edáfica, entre 2018 e 2020. As amostragens foram realizadas seguindo o método recomendado pelo Programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF), de acordo com Anderson e Ingram (1993). Em cada área, foram coletados cinco monólitos de solo e sua cobertura vegetal diretamente associada, com o auxílio de um gabarito metálico com 0,25 x 0,25 m e 0,10 m de profundidade. As coletas foram realizadas nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20- 0,30 m, distanciados 10 metros entre si, em linha. As amostras de solo (monólitos) e cobertura (serapilheira) foram acondicionadas em sacos plásticos (individualizados), para posteriores análises em laboratório e coleta/triagem dos indivíduos da macrofauna.

A triagem das amostras da macrofauna edáfica foi realizada manualmente, com a coleta de todos os indivíduos maiores que 10,0 mm de comprimento ou com diâmetro corporal superior a 2,0 mm, que foram armazenados em solução de álcool a 70%. A identificação e a contagem foram efetuadas com auxílio de microscópio estereoscópio binocular em laboratório.

Após a triagem das amostras, a macrofauna edáfica foi analisada de acordo com atributos mensuráveis e/ou observáveis, sendo, a riqueza, abundância, densidade e diversidade, no período de 2020 a 2021. A comunidade de macrofauna edáfica foi caracterizada em termos de composição, na qual, os indivíduos foram identificados e classificados ao nível taxonômico de Classe/Ordem.

Os atributos populacionais da comunidade foram expressos em termos de riqueza, abundância, densidade de indivíduos por metro quadrado (ind/m²). A Riqueza corresponde ao número total de ordens em cada tratamento. A Abundância absoluta corresponde ao número total de indivíduos de uma ordem em cada tratamento; a Abundância relativa (%), refere-se ao tamanho da população (número de indivíduos em uma determinada área), isto é, quanto uma ordem representa proporcionalmente na comunidade, sendo calculada pelo número de indivíduos de cada ordem dividido pelo número total de indivíduos da comunidade.

A densidade expressa a grandeza de uma população em relação a uma unidade de espaço (área), num determinado momento (tempo), sendo, o número de indivíduos de uma ordem dividido pela área amostrada. A densidade da macrofauna foi obtida a partir da transformação do número de indivíduos encontrados em cada tratamento (área amostral), em número de indivíduos por metro quadrado (indivíduos/200m²).

A diversidade entre os tratamentos foi calculada pelos índices de diversidade de Shannon-Weaver (H'), dominância de Simpson (1-D) e uniformidade de Pielou (J), por meio do uso do Programa estatístico Paleontological Statistics Software Package For Education and Data Analysis - PAST 4.3.0 (HAMMER et al., 2001).

Análise dos dados

A ocorrência de diferença estatística significativa no estoque de carbono do solo e na comunidade de macrofauna edáfica entre os tratamentos foi avaliada por meio de Análise de Variância (ANOVA) com a aplicação do teste f de significância. Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), por meio do programa estatístico Paleontological Statistics Software Package For Education and Data Analysis – PAST 4.3.0 (HAMMER et al., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoque de Carbono

De acordo a análise de estoque de carbono no solo, não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos por meio do Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), como apresentado na tabela 1, e pode ser explicada como apresentado por Smith (2008), que identifica variáveis semelhantes em ambos os tratamentos como condições climáticas locais, relevo, drenagem e tipo de manejo de solo adotado, como sendo fatores determinantes no

estoque de carbono do solo. Somado a isso, Corado Neto et al. (2015) destaca que as perdas de carbono orgânico podem estar associadas a condições de baixa cobertura vegetal e elevado escoamento superficial da água, estando este último associado à conformação do terreno em certa topografia.

De acordo com Alves (2009) e Balbino et al. (2019), no SAF e no ILPF há o estabelecimento de uma cobertura vegetal perene. E, além disso, as técnicas de manejo que compõem os sistemas conservacionistas favorecem a manutenção de resíduos sobre o solo e reduzem o escoamento superficial (WALLACE, 2000).

Tabela 1. Estoque de carbono nas áreas de SAF e ILPF nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

Profundidade	SAF	ILPF	Média
Estoque C (%)			
0,00-0,10m	2,30	1,75	2,03
0,10-0,20m	0,93	1,26	1,10
0,20-0,30m	0,88	1,12	1,00
Média	1,37	1,38	

SAF = Sistema Agroflorestal; ILPF = Sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta. Não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) ao nível de 5% de probabilidade por meio do Teste de Tukey.

Comunidade de macrofauna edáfica

De acordo com as análises da macrofauna edáfica, não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, por meio do Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Os resultados de riqueza, abundância, densidade e diversidade da macrofauna edáfica nas áreas de SAF e ILPF são apresentados na Tabela 2. Com relação aos índices de diversidade, o ILPF mostrou-se mais diverso pelo índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), com menor dominância pelo índice de dominância de Simpson (1-D), e maior uniformidade pelo índice de uniformidade de Pielou (J), como apresentado na tabela 2.

A classe Insecta foi a mais abundante e representativa, com 8 ordens, ocorrendo em ambos os tratamentos. As principais ordens registradas em ordem decrescente de importância foram, Haplotaxida (minhocas), Coleoptera (besouros), Hymenoptera (formigas), Blattodea/Blattaria (baratas), Blattodea/Isoptera (cupins) e Julida (piolhos de cobra).

De acordo com Azevedo et al. (2008), é comumente encontrado em trabalhos com fauna do solo, menores índices de uniformidade de Pielou (J) e menores índices de dominância de Simpson (1-D), tendência explicitada nos tratamentos estudados. Além disso, de acordo com Carvalho et al. (2017) foi encontrado em área de mata nativa valores bem semelhantes (0,9389) de H' com o SAF (0,93) estudado neste projeto e valores superiores foram observados no ILPF (1,31), fator de grande interesse já que nos sistemas conservacionistas toma-se como referência de funcionamento o sistema natural sem alteração antropogênica.

Os índices de Shannon-Weaver (H') e Simpson (1-D) podem ser usados para explicitar uma maior diversidade no tratamento ILPF, já que Martini et al. (2010) indica que para maiores valores de 1-D e H' , maiores diversidades podem ser esperadas. A maior dominância e menor diversidade no SAF demonstrada pelo índice de Simpson, é justificada pela enorme abundância de indivíduos da ordem Haplotaxida (minhocas), do qual 416 indivíduos desta ordem em número absoluto representaram 77,75% do total de indivíduos encontrados no tratamento.

Tabela 2: Riqueza, abundância, densidade e diversidade da comunidade de macrofauna edáfica nas áreas de SAF e ILPF, na Fazenda da Toca, município de Itirapina, estado de São Paulo.

Classe	Ordem	SAF	ILPF	Abs	Média ±	Abd (%)	ind/m ²
Arachnida	Araneae	1	3	4	2,00	0,39	0,02
Arachnida	Opiliones	2	6	8	4,00	0,77	0,04
Chilopoda	Geophilomorpha	1	0	1	0,50	0,10	0,01
Chilopoda	Lithobiomorpha	2	0	2	1,00	0,19	0,01
Chilopoda	Scolopendromorpha	1	0	1	0,50	0,10	0,01
Diplopoda	Julida	2	30	32	16,00	3,08	0,16

Gastropoda	Pulmonata	3	1	4	2,00	0,39	0,02
Insecta	Blattodea / Subordem Isoptera	0	30	30	15,00	2,89	0,15
Insecta	Blattodea / Subordem Blattaria	9	27	36	18,00	3,47	0,18
Insecta	Coleoptera	49	61	110	55,00	10,60	0,55
Insecta	Dermaptera	0	8	8	4,00	0,77	0,04
Insecta	Hemiptera / Subordem Homoptera	4	3	7	3,50	0,67	0,04
Insecta	Hymenoptera	32	7	39	19,50	3,76	0,20
Insecta	Lepidoptera	7	1	8	4,00	0,77	0,04
Insecta	Orthoptera	1	1	2	1,00	0,19	0,01
Malacostraca	Isopoda	5	0	5	2,50	0,48	0,03
Clitellata	Haplotaxida	416	325	741	370,50	71,39	3,71
Abundância absoluta		535	503	1038			
Média ±		31,47	29,59				
Abundância relativa (%)		51,54	48,46				
Densidade (ind/m²)		2,68	2,52				
Riqueza observada		15	13				
Riqueza exclusiva		5	2				
H'		0,93	1,31				
1-D		0,38	0,56				
J		0,34	0,51				

SAF = Sistema Agroflorestal; ILPF = Sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta; Abs = Abundância absoluta; Rel (%) = Abundância relativa; H' = Índice de diversidade de Shannon-Weaver; 1-D = Índice de dominância de Simpson; J = Índice de Uniformidade de Pielou. Não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) ao nível de 5% de probabilidade por meio do Teste de Tukey.

CONCLUSÃO

Os diferentes usos e manejos do solo não influenciaram o estoque de carbono do solo, mas influenciaram a comunidade de macrofauna edáfica. O SAF apresentou melhores resultados em termos de abundância, densidade e riqueza, enquanto que o ILPF apresentou maior índice de diversidade, menor dominância e foi mais equitativo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq) pelo apoio financeiro, e à Fazenda da Toca Orgânicos.

Referências:

- ALVES, L. M. Sistemas Agroflorestais (SAF's) na restauração de ambientes degradados. **Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais**, UFJF, 2009.
- AMARAL, E. F. do; OLIVEIRA, T. K.; BARDALES, N. G.; ARAÚJO, E. A.; OLIVEIRA, C. H. A.; SILVA, D. V.; COSTA MORENO, N. M. **Caracterização de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2018, 31p. Il. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58).
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. (Eds.). **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221 p.
- AZEVEDO, V. F.; PEREIRA, M. G.; CORRÊA NETO, T. A.; SCHERMACK, V.; MACHADO, D. L. Alterações na comunidade da fauna edáfica em função da queima em floresta secundária na FLONA Mário Xavier, Seropédica RJ. *Revista Universidade Rural. Série Ciências da Vida*, v. 28, p. 9-17, 2008.
- BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; GIOLO DE ALMEIDA, R. **Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios**. In: BUNGENSTAB, D. J.; GIOLO DE ALMEIDA, R.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. [Eds.]. *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p.

- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade do solo**. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.119-170, 2011.
- CARVALHO, J. S.; LIMA, A. C. R.; HENRIQUEZ, J. M. O.; STÖCKER, C. M.; PINO, B. S. D.; RIBEIRO, T. R.; MORSELLI, T. B. G. A. Avaliação da fauna edáfica sob cultivo de pessegueiro agroecológico, convencional e vegetação nativa. **Revista da jornada da pós-graduação e pesquisa – CONGREGA – URCAMP**, 2017.
- CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. de M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 75-83, jan./mar. 2015.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, p.529-538, 1995.
- GOMES, H. B.; CULLEN JUNIOR, L.; SOUZA, A. S.; CAMPOS, N. R.; MARIN, W. S. L. **Sistemas agroflorestais: perspectivas e desafios na ampliação de sistemas produtivos sustentáveis para a agricultura familiar no Pontal do Paranapanema, SP**. In: CANUTO, J. C. (Ed.). *Sistemas Agroflorestais: experiências e reflexões*. Brasília: Embrapa, 2017. 216 p.
- HAMMER, O., HARPER, D. A. T., RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Packaged for Education and Data Analysis. *Palaentologia Electronica*, 4, 1-9. 2001.
- MARTINI, A. M. Z.; PRADO, P. I. K. L. Índices de diversidade de espécies. **Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade (PPGECB) – UESC**, 2010.
- ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L. C.; MAFRA, A. L.; AFONSO DE SOUSA, J. P. F.; BARETTA, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p.1544-1553, 2015.
- SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 81, n. 2, p. 169-178, Jun. 2008.
- VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Interações**, v.19, n.1, p.209-220, 2018.
- WALLACE, J. S. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production.” **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 82, n. 1-3, p. 105-119, 2000.