

Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa

Juliana dos Santos Carvalho⁽¹⁾, Roberta Jeske Kunde⁽¹⁾, Cristiane Mariliz Stöcker⁽¹⁾, Ana Cláudia Rodrigues de Lima⁽¹⁾ e Jamir Luis Silva da Silva⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Campus Universitário, Caixa Postal 354, CEP 96010-900 Pelotas, RS, Brasil. E-mail: julianasc2@gmail.com, roberta_kunde@hotmail.com, crisstocker@yahoo.com.br, anaclima@hotmail.com ⁽²⁾Embrapa Clima Temperado, Estação Experimental Terras Baixas, Campus Universitário, s/nº, Capão do Leão, RS, Brasil. E-mail: jamir.silva@embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução de atributos físicos, químicos e biológicos de um solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária, no bioma Pampa. O estudo foi desenvolvido em área experimental manejada com sistema plantio direto desde 2006, no Município de Capão do Leão, RS, em um Planossolo Háplico eutrófico típico. Três áreas foram utilizadas, com os seguintes tipos de manejo: área de lavoura sem pastejo; área de integração lavoura-pecuária (ILP), com soja e milho alternados em sucessão à pastagem de inverno; e campo nativo pastejado. As coletas de solo foram realizadas em duas épocas, em todas as áreas, às camadas de 0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m profundidade, para análises dos seguintes atributos do solo: físicos, macroporosidade, microporosidade e densidade; químicos, carbono orgânico total, nitrogênio total e relação carbono/nitrogênio; e biológicos, diversidade e abundância da macrofauna edáfica. Na área com pastejo, a macroporosidade aumentou ao longo do tempo. A densidade do solo diminuiu na camada 0,00–0,05 m, enquanto o carbono orgânico total aumentou na camada de 0,10–0,20 m, em todas as áreas. O sistema de integração lavoura-pecuária favorece a abundância e a diversidade da fauna edáfica do solo.

Termos para indexação: áreas de várzea, fauna edáfica, Planossolo Háplico, plantio direto, qualidade do solo, terras baixas.

Evolution of physical, chemical, and biological attributes of hydromorphic soil under crop-livestock integration systems in the Pampa biome

Abstract – The objective of this work was to evaluate the evolution of physical, chemical, and biological attributes of a hydromorphic soil, in crop-livestock integration systems in the Pampa biome. The study was carried out in an experimental area under no-tillage system since 2006, in the municipality of Capão do Leão, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, in a Haplic Albaqualf. Three areas were used with the following management types: an area without grazing; a grazing area under crop-livestock integration (CLI), with soybean or corn in alternating years, in succession to winter grazing; and a native grazed field. Soil samplings were conducted in two seasons in all areas, at the 0.00–0.05, 0.05–0.10, and 0.10–0.20-m soil layers, in order to carry out the following soil analyses: physical attributes, macroporosity, microporosity and density; chemical attributes, total organic carbon, total nitrogen, and carbon/nitrogen ratio; biological attributes, diversity and abundance of edaphic macrofauna. In the grazing area, macroporosity increase over the time. There was a reduction in soil bulk density at the 0.00–0.05-m soil depth, whereas total organic carbon increased in the 0.10–0.20-m soil depth, in all areas. The crop-livestock integration system benefits the abundance and diversity of the edaphic fauna in the soil.

Index terms: floodplain, edaphic fauna, Haplic Albaqualf, no-tillage, soil quality, lowlands.

Introdução

Os solos hidromórficos ou de várzea do Rio Grande do Sul ocupam uma área de 5,4 milhões de hectares, cerca de 20% da área total do Estado (Reichert et al., 2006). Estes solos apresentam características peculiares, como densidade naturalmente elevada,

relação micro/macroporos muito alta e dificuldade de drenagem, motivada principalmente pela presença de uma camada subsuperficial praticamente impermeável, que tornam seu manejo extremamente complexo; onde estas características são acentuadas pelo preparo do solo, realizado em condições de umidade excessiva (Pauletto et al., 2004).

A conservação desses agroecossistemas do bioma Pampa tem sido ameaçada pelo uso indiscriminado de culturas anuais e pela degradação associada à invasão de espécies exóticas. Além disso, o pastejo excessivo resulta em diminuição da cobertura do solo e em riscos de erosão, além de substituição de espécies forrageiras mais produtivas por outras de menor produção e menor qualidade ou até na perda completa das boas espécies.

Os sistemas integrados de produção agropecuária vêm sendo utilizados no Brasil como alternativa aos sistemas pouco sustentáveis. Esses modelos de produção estão em crescente uso nos diferentes biomas do país e estão contribuindo para otimizar o uso das áreas agrícolas onde são utilizadas culturas anuais para produção de grãos, associadas a pastagens para produção de carne e leite (Bortolini et al., 2013).

No sul do Rio Grande do Sul, a integração de animais com culturas agrícolas consta dos primeiros anos do século 20, onde bovinos pastejavam a resteva da cultura de arroz irrigado, em áreas de solos hidromórficos das terras baixas, modelo este que é ainda hoje utilizado. A utilização de pastagens de estação fria, nas terras baixas, apresenta enorme potencial para aumentar a produção agropastoril no Estado, considerando-se que existem cerca de 5 milhões de hectares potencialmente aptos a esse fim (Silva et al., 2011).

Com este foco, trabalhos têm avaliado a qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e evidenciado os benefícios desses sistemas de uso da terra. Dentre eles destacam-se alguns trabalhos em Latossolo Vermelho. Spera et al. (2009, 2010) constataram melhoria dos atributos físicos do solo, em um experimento de dez anos; Corazza et al. (1999) e Salton et al. (2011) relataram o aumento de carbono, atribuído ao sistema radicular das gramíneas. E Almeida (2012), em Argissolo Vermelho, verificou os benefícios das rotações de culturas sobre a diversidade e a abundância da macrofauna edáfica. Contudo, ainda são escassos os estudos que avaliam de forma conjunta os atributos qualitativos de solos hidromórficos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução de atributos físicos, químicos e biológicos de um solo hidromórfico, em sistemas de integração lavoura-pecuária, no bioma Pampa.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo Cfa, em que: C indica clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 3 e 18°C; f, em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60 mm; a, temperatura do mês mais quente é superior a 22°C.

As áreas de estudo fazem parte de modelos de sistemas de ILP, com: uma área sem pastejo (SP); uma área com pastejo (CP); e campo nativo pastejado (CN), como referência. Todas estão situadas entre as coordenadas 31°49'13"S, 52°27'50"E e apresentam altitude de aproximadamente 14 m, sobre um Planossolo Háplico eutrófico típico, em que os terrenos têm um pequeno mesorrelevo com: riachos fósseis não colmatados e pequenas lagoas; sangas sinuosas, que cortam essa planície; solos imperfeitamente drenados, siltosos e argilosos, com más condições físicas, do tipo Paraquic Humic ou Ochric Planosol; altitude entre 10 m e 25 m, segundo descrição de Cunha & Costa (2013), na Estação Experimental onde foi realizado o experimento; e textura do tipo superficial franco, com 370 g kg⁻¹ de silte, 460 g kg⁻¹ de areia e 170 g kg⁻¹ de argila, de acordo com a classificação descrita em Santos et al. (2013).

A área SP, constituída de um potreiro de 6 ha, foi cultivada com arroz irrigado até a safra 2004/2005 e, a partir de 2006 foi sistematizada em camalhões de base larga, com 7 a 8 m de largura. Nessa área, são alternadamente cultivados milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L.), no verão, e pastagens de aveia (*Avena strigosa* S.), azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.), no inverno.

A área com pastejo, constituída de um potreiro de 5,7 ha, foi cultivada com arroz irrigado até a safra de 2005/2006. Posteriormente à colheita, o solo foi sistematizado em camalhões de base larga com 7 a 8 m de largura. Nos períodos do inverno de 2006/2007/2008, estabeleceram-se respectivamente as seguintes sequências anuais: pousio e soja; aveia, azevém, ervilhaca e milho; aveia, azevém, ervilhaca de ressemeadura e soja. No inverno e início da primavera de 2009, houve pastejo e manejo para ressemeadura do azevém anual.

Durante as safras 2009/2010, 2011/2012, 2013/2014, cultivou-se soja, no verão, que foi intercalada com milho nos outros anos. Ambas as culturas foram plantadas em sucessão com pastagem de azevém anual de ressemeadura natural. As adubações foram colocadas de acordo com a recomendação de análise do solo para gramíneas forrageiras de inverno e as devidas culturas de verão.

O pastejo com bovinos foi realizado de forma contínua, entre os meses de maio e agosto, e término entre outubro e novembro, antes do plantio direto de milho e soja, com cargas ajustadas para não limitar o consumo de forragem aos animais. Os pastejos foram controlados com cargas ajustadas, para manter um nível de oferta de forragem entre 12 e 15% do peso vivo (PV), e se iniciaram quando a massa de forragem estava acima de 1.600 kg ha⁻¹ de massa de matéria seca.

Na área com sistema CN, o potreiro de 7 ha foi adotado como referência; o manejo foi feito com pastejo contínuo de bovinos ou bubalinos, com carga animal ajustada ao longo do ano de acordo com o crescimento do pasto, que apresentou as maiores taxas de acúmulo nas estações de primavera, verão e início do outono, e ficou com um resíduo que oscilou entre 500 e 1.600 kg ha⁻¹ de massa de matéria seca.

As coletas de amostras de solo foram realizadas em dezembro de 2011 e em janeiro e fevereiro de 2014, e as de amostras de macrofauna edáfica, em janeiro e fevereiro de 2013 e de 2014. Foram delimitados cinco pontos equidistantes em 20 m, na parte central de cada área, e foram coletadas amostras indeformadas e deformadas de solo. Foram feitas trincheiras, em cada ponto previamente definido, à profundidade de 0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m, em todas as áreas. As análises foram realizadas na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Para a determinação dos atributos físicos, foram analisados a macroporosidade (Map), microporosidade (Mip) e densidade (Ds) do solo, conforme metodologia descrita em Donagema et al. (2011).

Para a avaliação da parte química do solo, foram analisados os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). Para essa análise, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 2,00 mm e secas ao ar, por aproximadamente 48 horas. Os teores (g kg⁻¹) de COT e NT foram quantificados por oxidação a seco, em analisador elementar TruSpec da Leco .

Para a coleta dos organismos, utilizaram-se armadilhas pitfall do tipo trampa de Tretzel (Bachelier, 1963). As armadilhas consistiam de pote de plástico, com capacidade de 1 kg, enterrado no solo à altura da abertura do pote, protegido por uma telha de barro apoiada a uma estaca de madeira. No interior de cada armadilha, colocou-se uma solução de 200 mL, composta de 5% de glicerina bi-hidratada, 22% de água destilada e 73% de álcool a 96° GL. A cada semana, as armadilhas eram retiradas e substituídas, e a macrofauna edáfica era separada com auxílio de uma peneira de malha de 2 mm; posteriormente, a macrofauna edáfica era acondicionada em álcool a 70° GL, em frascos de plástico de 80 mL. A identificação da macrofauna foi feita por meio de chaves de identificação – obtidas da bibliografia técnica para as classificações taxonômica de classe e ordem –, com o uso de um estereoscópio binocular. A diversidade foi comparada, pelos índices de diversidade (H') e equabilidade (J') de Shannon-Wiener e de Simpson, respectivamente, conforme Begon et al. (2007).

Os dados foram submetidos ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O sistema de ILP melhorou a qualidade física do solo da primeira (2011) para a segunda amostragem (2014), em todas as profundidades, o que indica melhoria ao longo do tempo (Tabela 1). Constatou-se que os valores da macroporosidade aumentaram especificamente para a área com pastejo, em todas as camadas, pois esta área estava sendo cultivada com soja, no momento das coletas de solo, enquanto a área sem pastejo estava sob cultivo de milho. Estes resultados corroboram os obtidos por Lanzanova et al. (2007) que, ao avaliarem um experimento de 3 anos em ILP, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, também observaram valores maiores de macroporosidade para as áreas cultivadas com soja, em comparação às áreas com milho. Segundo estes mesmos autores, alterações da macroporosidade, embora ainda de baixa magnitude, provavelmente, proveem da ação diferenciada do sistema radicular de plantas das famílias leguminosas e gramíneas.

Em sistemas de produção integrados de grãos e carne, em geral, a macroporosidade pode variar entre 5 e 8% (Reichert et al., 2003). Segundo Ferreira (2010), para se garantir a difusão do ar no solo e, conseqüentemente,

obter-se aeração adequada ao desenvolvimento das plantas, a macroporosidade não deve ser inferior a 10% do volume total do solo. Observa-se, no entanto, que em todos os sistemas e camadas aqui estudados, a macroporosidade foi inferior a 10% (Tabela 1), o que é indicativo de que os solos do presente estudo são hidromórficos de terras baixas, com alto teor de silte.

Os menores valores de densidade do solo foram observados na camada de 0,00–0,05m, em todos os tratamentos (Tabela 1). Estes resultados corroboram os encontrados por Spera et al. (2009) que, embora tenham avaliado sistemas integrados de produção em um Latossolo Vermelho, no Município de Passo Fundo, RS, constataram melhoria do ponto de vista agrônomo

para os atributos macroporosidade, microporosidade e densidade do solo, em um intervalo de dois anos entre a primeira e a segunda coleta. Segundo estes autores, a utilização do sistema plantio direto, em vários cultivos, pode diminuir a densidade do solo, em razão do acúmulo de resíduos vegetais na superfície, o que favorece a reestruturação do solo. Silva et al. (2000) pesquisaram áreas de ILP em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Santa Maria, RS, e constataram que o pisoteio animal, com pastejo controlado, não produziu efeito sobre as características físicas do solo para a camada 0,00–0,05 m, já que a presença de gramíneas, como azevém e aveia, proporcionaram uma boa cobertura do solo, protegendo-o do impacto do pisoteio animal.

Em todas as profundidades, os menores valores de densidade do solo foram encontrados na área de campo nativo, em comparação às áreas de sem e com pastejo, pois, a utilização agrícola do solo pode provocar aumentos da densidade do solo. No entanto, observa-se que para a camada de 0,00–0,05 m, nas áreas de ILP estudadas, a densidade do solo diminuiu ao longo tempo. Estes resultados corroboram os encontrados por Spera et al. (2010), em um estudo no Município de Coxilha, RS, onde avaliaram o efeito de ILP em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, em que verificaram a diminuição da densidade do solo na camada de 0,00–0,05 m, em todas as áreas de ILP avaliadas, após dez anos de produção de trigo/soja e diferentes pastagens.

Vários estudos mostram que a compactação está diretamente associada à taxa de lotação animal empregada, e que quando a carga animal é ajustada corretamente, ela restringe a compactação apenas à camada superficial, assim, com o passar do tempo, o solo retoma sua condição inicial (Conte et al., 2011; Silva et al., 2014; Bonetti et al., 2015). A presença de uma leguminosa no sistema de ILP pode melhorar a condição física do solo, pela presença do sistema radicular mais profundo e pela ação dos microrganismos do solo, além de permitir maior aeração pela exploração de áreas para absorção de nutrientes. Conte et al. (2011) não verificaram alterações significativas da densidade e da porosidade do solo, após um estudo de sete anos de aplicação de tratamentos de altura de pastejo, em sistema de ILP, no Município de São Miguel das Missões, RS, em um Latossolo Vermelho.

Quanto aos atributos químicos analisados, os teores de COT diminuíram à profundidade de 0,00–0,10 m, em

Tabela 1. Valores de macroporosidade, microporosidade e densidade do solo (Ds), em Planossolo Háplico eutrófico típico manejado em sistema de integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0,00–0,05, 0,05–0,10 e de 0,10–0,20 m, nos anos de 2011 e 2014⁽¹⁾.

Sistema	Macroporosidade -----(%)-----	Microporosidade -----	Ds (g cm ⁻³)
Camada 0,00–0,05 m de profundidade			
2011			
Sem pastejo (SP)	7,12a	27,96ab	1,49b
Com pastejo (CP)	5,60a	27,02b	1,60a
Campo nativo (CN)	7,16a	29,75a	1,47b
2014			
Sem pastejo (SP)	6,70a	30,62a	1,45b
Com pastejo (CP)	6,48a	28,99a	1,51a
Campo nativo (CN)	8,30a	35,14a	1,41b
Camada 0,05–0,10 m de profundidade			
2011			
Sem pastejo (SP)	4,97a	27,42a	1,57a
Com pastejo (CP)	4,97a	26,48a	1,61a
Campo nativo (CN)	5,29a	27,86a	1,58a
2014			
Sem pastejo (SP)	4,12b	29,61a	1,58a
Com pastejo (CP)	5,73ab	27,09a	1,66ab
Campo nativo (CN)	7,53a	31,03a	1,49b
Camada 0,10–0,20 m de profundidade			
2011			
Sem pastejo (SP)	4,18b	27,75a	1,60a
Com pastejo (CP)	5,19b	26,78a	1,60a
Campo nativo (CN)	6,46a	28,77a	1,54a
2014			
Sem pastejo (SP)	3,97a	29,88a	1,62a
Com pastejo (CP)	6,22a	27,70a	1,63a
Campo nativo (CN)	6,47a	29,89a	1,53a

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, em cada atributo, na comparação entre os sistemas de manejo, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

todas as áreas, durante o período avaliado (Tabela 2), e aumentaram na camada de 0,10–0,20 m, em todas as áreas, tendo-se mostrado como indicadores sensíveis ao longo do tempo. Assim como no presente estudo, Corazza et al. (1999) verificaram o aumento de C à profundidade de 20 cm, quando avaliaram áreas de reflorestamento de eucalipto, área sob plantio direto e área de pastagem contínua comparadas à área de cerrado nativo, em Latossolo Vermelho, no Distrito Federal, GO. Esse resultado foi atribuído ao sistema radicular mais agressivo, em comparação ao dos outros tratamentos, embora a pastagem estivesse degradada. Estes mesmos autores verificaram, para todas as áreas,

Tabela 2. Teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação entre carbono orgânico total e nitrogênio total (COT:NT), em Planossolo Háplico eutrófico típico manejado em sistema de integração lavoura-pecuária, nas camadas 0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m, nos anos de 2011 e 2014⁽¹⁾.

Sistema	COT ------(g kg ⁻¹)-----	NT	Relação C:N
Camada 0,00–0,05 m de profundidade			
2011			
Sem pastejo (SP)	15,70a	0,97ab	16,18
Com pastejo (CP)	13,00a	1,04a	12,50
Campo nativo (CN)	13,75a	0,81b	16,97
2014			
Sem pastejo (SP)	6,24a	1,11a	5,62
Com pastejo (CP)	6,58a	0,62b	10,61
Campo nativo (CN)	7,05a	0,63b	11,19
Camada 0,05–0,10 m de profundidade			
2011			
Sem pastejo (SP)	11,58a	0,85a	13,62
Com pastejo (CP)	10,17b	0,82a	12,40
Campo nativo (CN)	10,15b	0,63a	16,11
2014			
Sem pastejo (SP)	6,59a	1,11a	5,93
Com pastejo (CP)	6,64a	0,62b	10,70
Campo nativo (CN)	8,65a	0,63b	13,73
Camada 0,10–0,20 m de profundidade			
2011			
Sem pastejo (SP)	10,92a	0,78a	14,00
Com pastejo (CP)	8,28b	0,56b	14,78
Campo nativo (CN)	8,61b	0,56b	15,37
2014			
Sem pastejo (SP)	20,06a	1,14a	17,59
Com pastejo (CP)	17,05a	0,62b	27,50
Campo nativo (CN)	15,63a	0,63b	24,80

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, em cada atributo, na comparação entre os sistemas de manejo, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

que as alterações na dinâmica do C, no que se refere à distribuição, adições e perdas, ocorreram nas camadas superficiais do solo. Souza et al. (2006), no Município de Costa Rica, MS, verificaram reduções do estoque de COT, ao estudarem áreas manejadas com forrageiras e pastagens em um Latossolo Vermelho de Cerrado, o que é indicativo da suscetibilidade da oxidação do COT do solo sob vegetação natural, quando esses solos são submetidos à agricultura.

No entanto, Salton et al. (2011) estudaram a dinâmica do C, em um Latossolo Vermelho sob sistemas de ILP, nos municípios de Dourados, Maracaju e Campo Grande, MS, e constataram que o teor de C foi maior nas camadas superficiais do solo e decresceu com a profundidade, pois o plantio direto favorece o acúmulo de resíduos sobre a camada superficial do solo. Souza et al. (2009) verificaram que intensidades moderadas de pastejo (20 a 40 cm de altura de pasto) aumentaram os teores de COT e NT, após 6 anos de aplicação de sistemas de ILP, em um Latossolo Vermelho, no Município de São Miguel das Missões, RS, e que as taxas anuais de adição variaram em razão da intensidade. Por sua grande influência sobre a quantidade total de resíduos orgânicos adicionados ao solo, a intensidade de pastejo, influencia também a entrada de C e N no sistema, uma vez que há relação direta entre a altura do pasto e a massa de forragem da parte aérea.

Não se verificaram diferenças estatísticas na camada de 0,00–0,05 m, nas duas avaliações para o COT, porém, em 2011, a área SP apresentou o maior estoque de COT (Tabela 2). Na avaliação de 2014, a área campo nativo apresentou o maior valor para este atributo. Já para a camada de 0,05–0,10 m, a primeira avaliação apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, e a área SP foi a que apresentou o maior estoque. A segunda avaliação não mostrou diferenças significativas entre as áreas, porém, o maior estoque de C foi encontrado na área campo nativo. Assim, verificou-se redução dos estoques de COT, para a área sem pastejo, nessas duas profundidades.

Os estoques de NT aumentaram para a área sem pastejo em todas as profundidades avaliadas. Constata-se que a utilização do sistema plantio direto favorece o aumento do NT do solo, que é detectado inicialmente na camada mais superficial e, com o passar dos anos, estende-se para camadas mais profundas (Amado et al., 2001). O aumento do estoque de N no

solo está relacionado à diminuição das perdas desse nutriente, especialmente por erosão, e ao aumento das adições de N, pela fixação biológica do N atmosférico e pela ciclagem do N disponível no solo.

A relação C:N é um indicador importante da decomposição da MO do solo, que fornece informação sobre o estado de humificação. No presente estudo, verificou-se a diminuição desta relação à profundidade de 0,00–0,10 m, onde os valores variaram entre 5,62 e 13,73 (Tabela 2). Em solos agrícolas, a relação C:N da MO, normalmente, varia entre 9 e 14, valores estes encontrados nos tecidos dos microrganismos e no húmus. A área sem pastejo apresentou valores abaixo dos citados como referência – 5,62 e 5,93 – para as camadas 0,00–0,05 m e 0,05–0,10 m, respectivamente, e pode ser considerada uma área com baixa relação C:N. Contudo, esta área indicou alta atividade biológica, conforme análise e descrição da fauna edáfica abaixo. Destaca-se, assim, a importância dos dejetos animais para a melhoria da relação C:N e a atividade biológica dos solos.

Foram coletados 1.351 macroinvertebrados edáficos entre as duas épocas de amostragem, dos quais 801 organismos capturados em 2013 e 550 capturados em 2014, divididos em sete ordens: Coleoptera, Orthoptera, Hymenoptera, Blattodea, Araneae, Opiliones e Isopoda (Tabela 3). Na avaliação de 2013, o total de organismos coletados de cada área decresceu conforme a ordem de tratamentos – SP>CN>CP – e, na avaliação de 2014, conforme CN>CP>SP. Observa-se, no entanto, a diminuição da abundância, mas o aumento da riqueza de organismos para a área de campo nativo e, para área com pastejo, o aumento da abundância e preservação

do número de ordens (Tabela 4). Vários estudos, como os de Errouissi et al. (2011) e Almeida (2012) vêm mostrando os benefícios do plantio direto para a fauna edáfica, já que este sistema favorece a abundância e diversidade dos organismos, como constatado na presente pesquisa.

Nos dois anos de amostragem, ocorreu um grande número de indivíduos coletados da ordem Coleoptera para as áreas sem e com pastejo. Esta ordem, representada pelos besouros, que são predadores e transformadores da liteira, é particularmente sensível ao preparo do solo e reduzida pelas operações de cultivo. A quantidade elevada de cobertura morta proveniente do sistema plantio direto favorece a presença de indivíduos desta ordem. Auad & Carvalho (2011) analisaram a fauna de coleópteros, em um sistema silvipastoril no Município de Coronel Pacheco, MG, e atribuíram a grande quantidade desses organismos ao sistema de manejo utilizado, em que muitas famílias desta ordem podem estar associadas às fezes de gado bovino em pastagem.

O índice de diversidade Shannon-Wiener (H') e a abundância diminuíram nas áreas sem pastejo e campo nativo (Tabela 4). A área campo nativo teve seu índice H' reduzido, já que, na segunda época de amostragem, a ordem Coleoptera dominou sobre as demais, ou seja, teve seu índice de dominância (D) elevado; o mesmo fato ocorreu para a área sem pastejo. Na área com pastejo, o índice D se elevou pouco, pois, nesta área, para a segunda avaliação, duas ordens são dominantes: Coleoptera e Hymenoptera. Kovács-Hostyánszki et al. (2013), em um estudo conduzido em fazendas da Hungria, em solo arenoso, mostraram que o pastejo não

Tabela 3. Abundância e total de organismos edáficos, classificados por grupos taxonômicos, em Planossolo Háptico eutrófico típico manejado em sistema de integração lavoura-pecuária, nos anos de 2013 e 2014.

Tratamento	Coleoptera	Orthoptera	Hymenoptera	Blattodea	Araneae	Opiliones	Isopoda	Total
Ano 2013								
Sem pastejo (SP)	173	17	25	21	33	30	71	370
Com pastejo (CP)	27	16	11	5	24	1	13	97
Campo nativo (CN)	71	0	171	0	27	3	62	334
Subtotal	271	33	207	26	84	34	146	801
Ano 2014								
Sem pastejo (SP)	90	3	1	9	23	0	5	131
Com pastejo (CP)	68	29	64	5	21	1	9	197
Campo nativo (CN)	197	1	9	4	7	2	2	222
Subtotal	355	33	74	18	51	3	16	550
Total	626	66	281	44	134	37	162	1.351

exerceu qualquer diminuição da riqueza, abundância e diversidade de espécies da fauna edáfica, sobretudo de minhocas (*Oligochaeta*). Ainda, Ludwig et al. (2012), ao comparar a diversidade e dominância da fauna edáfica em diferentes épocas de coleta, no Município de Mata, RS, em um Argissolo Vermelho, encontraram diferenças quanto ao número de indivíduos e aos índices de diversidade e dominância, para os diferentes sistemas de uso do solo. Esses autores atribuíram esta diferença às condições de temperatura e precipitação, além da disponibilidade de alimento.

Além destes fatores que influenciam os organismos edáficos, a diversidade da fauna edáfica em áreas agrícolas pode também ser influenciada pelo método de preparo do solo, a depender do sistema de cultivo aplicado e das condições edafoclimáticas. A abundância, riqueza e diversidade de organismos da fauna são importantes para o equilíbrio do agroecossistema, pois esses indivíduos podem servir como vetores de microrganismos simbióticos de plantas, de fixadores de N e de fungos micorrízicos; além disso, eles também podem digerir microrganismos patogênicos de forma seletiva.

A fauna edáfica é, portanto, de extrema importância em sistemas de plantio direto, pois a decomposição neste sistema se torna mais lenta, já que o contato com a liteira é reduzido (Hungria et al., 2009; Melero et al., 2011).

Tabela 4. Riqueza, abundância total e índices de dominância (D), de Simpson (1-D) e de Shannon-Wiener (H'), de grupos taxonômicos, em Planossolo Háptico eutrófico típico, manejado em sistema de integração lavoura-pecuária, nos anos de 2013 e 2014.

Índice	Sem pastejo (SP)	Com pastejo (CP)	Campo nativo (CN)
Riqueza	7	7	5
Abundância	370	97	334
Dominância (D)	0,3060	0,1995	0,3484
Simpson (1-D)	0,6938	0,8005	0,6516
Shannon-Wiener (H')	1,5000	1,7150	1,2300
Ano 2014			
Riqueza	6	7	7
Abundância	131	197	222
Dominância (D)	0,5096	0,2605	0,7906
Simpson (1-D)	0,4904	0,7395	0,2094
Shannon-Wiener (H')	0,9957	1,5140	0,5265

Conclusões

1. O sistema de ILP melhora a qualidade física do solo, ao aumentar a macroporosidade da área com pastagem, em todas as profundidades, e a microporosidade em todas as áreas e profundidades, além de diminuir a densidade do solo na camada superficial 0,00–0,05 m, também em todas as áreas.

2. Os teores de carbono orgânico total aumentam na camada 0,10–0,20 m, em razão do longo tempo do experimento sob plantio direto, o qual permite armazenar C nas camadas mais profundas do solo; os teores do NT aumentam na área sem pastejo, em todas as camadas, e nas áreas com pastejo e campo nativo pastejado, na camada 0,10–0,20 m, e, a relação C:N, conseqüentemente, diminui à profundidade 0,00–0,10 m.

3. O sistema de ILP com plantio direto, rotação de culturas e pastejo com carga ajustada favorece a abundância e a diversidade da fauna edáfica, ao longo do tempo, em áreas de solos hidromórficos das terras baixas no bioma Pampa.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa.

Referências

- ALMEIDA, D. de O. **Fauna epiedáfica e atributos microbiológicos de solos sob sistemas de manejo no subtropical brasileiro**. 2012. 95p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001. DOI: 10.1590/S0100-06832001000100020.
- AUAD, A.M.; CARVALHO, C.A. de. Análise faunística de coleópteros em sistema silvipastoril. **Ciência Florestal**, v.21, p.31-39, 2011. DOI: 10.5902/198050982745.
- BACHELIER, G. **La vie animale dans les solo**. Paris: Orstom, 1963. 279p.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752p.
- BONETTI, J. de A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. de; CARNEIRO, M.A.C.; SILVA, G.N. da. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.104-112, 2015. DOI: 10.1590/1983-40632015v4529625.

- BORTOLINI, D.; BRAIDA, J.A.; CASSOL, L.C.; MIGLIORINI, F.; SILVA, M.R. da; FERRAZZA, J.M. Altura de manejo de papuã e propriedades de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, v.60, p.535-543, 2013. DOI: 10.1590/S0034-737X2013000400013.
- CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; LEVIEN, R.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1301-1309, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000026.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999. DOI: 10.1590/S0100-06831999000200025.
- CUNHA, N.G. da; COSTA, F.A. da. **Solos da estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 6p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 152).
- DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- ERROUSSI, F.; MOUSSA-MACHRAOUI, S.B.; BEN-HAMMOUDA, M.; NOUIRA, S. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: a comparison between conventional and no-tillage management. **Soil and Tillage Research**, v.112, p.122-132, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2010.12.004.
- FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q.J. van (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v.42, p.288-296, 2009. DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.05.005.
- KOVÁCS-HOSTYÁNSKI, A.; ELEK, Z.; BALÁZS, K.; CENTERI, C.; FALUSI, E.; JEANNERET, P.; PENKSZA, K.; PODMANICZKY, L.; SZALKOVSKI, O.; BALDI, A. Earthworms, spiders and bees as indicators of habitat quality and management in a low-input farming region: a whole farm approach. **Ecological Indicators**, v.33, p.111-120, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.01.033.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000500028.
- LUDWIG, R.L.; PIZZANI, R.; SCHAEFER, P.E.; GOULART, R.Z.; LOVATO, T. Efeito de diferentes sistemas de uso do solo na diversidade da fauna edáfica na Região Central do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, p.485-495, 2012.
- MELERO, S.; PANETTIERI, M.; MADEJÓN, E.; GÓMEZ MACPHERSON, H.; MORENO, F.; MURILLO, J.M. Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till management in SW, Spain: effect on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.112, p.107-113, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2010.12.001.
- PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; PINTO, L.F.S. Física de solos de várzea cultivado com arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.119-142.
- REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. de; DALMOLIN, R.S.D.; REINERT, D.J.; GONÇALVES, C.; NUNES, M. Agregação de um Planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, p.837-844, 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000300017.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v.27, p.29-48, 2003.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1349-1356, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000031.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- SILVA, F.D. da; AMADO, T.J.C.; FERREIRA, A.O.; ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop-livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p.60-68, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.12.005.
- SILVA, J.L.S. da; THEISEN, G.; DAME, M.C.F.; SCHAFHAUSER JUNIOR, J. **Manejo de azevém anual e rendimento de bovinos de corte em integração lavoura-pecuária nas terras baixas do bioma Pampa**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 8p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 119).
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.191-199, 2000. DOI: 10.1590/S0100-06832000000100021.
- SOUZA, E.D. de; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.323-329, 2006. DOI: 10.4025/actasciagron.v28i3.938.
- SOUZA, E.D. de; COSTA, S.E.V.G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1829-1836, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600031.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. **Bragantia**, v.69, p.695-704, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000300022.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.129-136, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000100014.

Recebido em 6 de agosto de 2015 e aprovado em 23 de novembro de 2015