

PRODUÇÃO DE SOJA SOB PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL: ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO

Daniel Hanke^{1*}, Milene Souza Machado², Shirley Grazieli da Silva Nascimento³, Mariana Rockenbach de Ávila⁴, Clenio Nailto Pillon⁵

¹ Professor Adjunto da Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, RS, Brasil. Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. *E-mail do autor correspondente: danielhanke@unipampa.edu.br

² Graduada em Tecnologia em Agronegócio, Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, RS, Brasil.

³ Professora Adjunta na Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, RS, Brasil. Doutora em Sistemas de Produção Agrícola Familiar pela Universidade Federal de Pelotas, RS, Brasil.

⁴ Colaboradora na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

⁵ Pesquisador A da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Recebido: 28/02/2021; Aceito: 08/06/2021

RESUMO: Objetivou-se analisar quais os impactos causados com a produção de soja em diferentes sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional) por meio do monitoramento de atributos químicos e físicos. O estudo foi realizado, no ano de 2020, em uma propriedade localizada no interior do município de Dom Pedrito/RS, onde foram feitas coletas de solo em cinco pontos mapeados por GPS dentro de cada área sob plantio direto e convencional, sendo que em cada um dos pontos foram retiradas cinco amostras nas camadas do solo. Os dados foram submetidos à estatística descritiva (média e desvio padrão) e, posteriormente, à análise multivariada exploratória de componentes principais (ACP), utilizando-se de uma matriz de dados, como medida de semelhança, por correlação simples de Pearson. Na análise das amostras, evidenciou-se, acúmulo da matéria orgânica e aumento de nutrientes no perfil sob semeadura direta, ainda que tenha apresentado aumento de acidez e densidade de solo maior que o preparo convencional na camada arável (0,0 – 0,2 m). Adicionalmente, o ambiente sob semeadura direta se destacou nos quesitos teor de nutrientes, aspectos físicos e condições para desenvolvimento de plantas.

Palavras-chave: Conservação do solo. Densidade de solo. Manejo de solo. Nutrientes.

SOYBEAN PRODUCTION UNDER DIRECT AND CONVENTIONAL PLANTING: ANALYSIS OF CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES

ABSTRACT: The objective of this work was to analyze what are the impacts caused in the soil with the soybean production in different planting systems (direct and conventional) through analysis of chemical and physical attributes. The study was carried out on a property located in the interior of the city of Dom Pedrito, RS, where soil collections were made at 5 points mapped by GPS within each plot with no-tillage and conventional tillage management, and at each point were removed 5 samples of different soil profiles. The data were submitted to descriptive statistics (mean and standard deviation) and, subsequently, to the exploratory

multivariate analysis of principal components (PCA), using a data matrix, as a measure of similarity, by Pearson's simple correlation. In the analysis of the samples, several positive points were found when talking about no-tillage, despite the fact that it presents an increase in acidity and soil density greater than conventional planting in the arable layer (0,0 – 0,2 m), it still has superiority when it comes to nutrient content, soil conservation and better conditions for plant development.

Key words: Nutrients. Soil conservation. Soil density Soil management.

INTRODUÇÃO

A produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentaram crescimentos mais expressivos. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais: desenvolvimento e estruturação de um sólido mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo agroindustrial da soja; consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, especialmente para atender demandas crescentes dos setores ligados à produção de produtos de origem animal; geração e oferta de tecnologias, que viabilizaram a expansão da exploração sojícola para diversas regiões do mundo (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). Esses autores ainda dizem que o Brasil possui significativa participação na oferta e demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja pelo estabelecimento e progresso contínuo de uma cadeia produtiva bem estruturada e que desempenha papel fundamental para o desenvolvimento econômico-social de várias regiões do País.

Entre as unidades da federação, o Rio Grande do Sul é atualmente o terceiro maior produtor do grão do Brasil, superado apenas pelos estados de Mato Grosso e Paraná. Considerando os últimos quinze anos, a quantidade produzida praticamente triplicou, passando de uma média de 5.610.518 toneladas na safra 2000/2001 para uma média de 16.201.4 toneladas no período 2015/2016 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2016). No entanto, por mais que o desenvolvimento da agricultura brasileira está baseado nos ganhos de produtividade (GASQUES *et al.*, 2012), a dinâmica atual do fenômeno da “sojificação” no Rio Grande do Sul ainda está associada fortemente à expansão da área cultivada (SILVA LEMOS; RIZZI, 2020).

Na safra de 2018/2019, no Brasil, a área semeada com soja foi de 35,822 milhões de hectares, com produção 114,843 milhões de toneladas e produtividade 3.206 kg ha⁻¹ e o Rio Grande do Sul foi responsável por 19,187 milhões de toneladas, com área de 5,778 milhões de hectares e 3.321 kg ha⁻¹ de produtividade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2019).

A produtividade da soja é definida pela interação entre a planta, o ambiente e o manejo (GILIOLI *et al.*, 1995). Evidencia-se que a soja é uma das principais culturas para compor os sistemas de integração lavoura-pecuária, não só pelos aspectos econômicos, como também por ser uma eficiente fixadora de nitrogênio atmosférico (KLUTHCOUSKI; STONE, 2003).

Após elucidar a relevância da produção de soja para a economia mundial (BARREÑA *et al.*, 2020) e destacando que a mesma vem se expandindo de forma crescente e rápida (AMARAL *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2021), evidencia-se a importância de adotar práticas de manejo e conservação do solo (PILLON; ÁVILA, 2020) nesta cultura, haja vista que o solo é um importante recurso natural.

Sendo assim, objetivou-se identificar quais são os impactos gerados ao solo com a produção de soja em diferentes sistemas de preparo do solo (preparo convencional e plantio direto), através de análises de atributos químicos e físicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa teve como universo de estudo a cidade de Dom Pedrito, situada na região da campanha no Rio Grande do Sul. Informações sobre a localização do referido município podem ser verificadas na Figura 1. A população de Dom Pedrito é de aproximadamente 38.898 mil pessoas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2018). A economia da cidade gira em torno do eixo do agronegócio (NASCIMENTO *et al.*, 2020) e tem como principais atividades a agricultura com vasta produção de arroz e soja e a pecuária de corte. Outra atividade que também vem se destacando nos últimos anos no município é a vitivinicultura.

Com isto, grande parte da população do município trabalha com as atividades agrícolas e pecuárias desenvolvidas, seja diretamente no campo ou em atividades administrativas afins, visto que é o agronegócio que norteia o município.

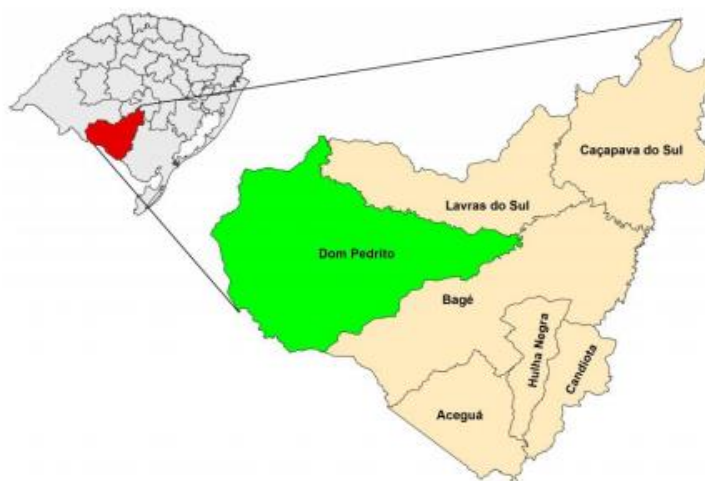


Figura 1. Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, com destaque o Município de Dom Pedrito. Map of Rio Grande do Sul State, highlighted in the municipality of Dom Pedrito. *Map of the State of Rio Grande do Sul, highlighting the Municipality of Dom Pedrito. Map of Rio Grande do Sul State, highlighted in the municipality of Dom Pedrito.*

Fonte: Matte (2015).

O presente estudo foi realizado em uma propriedade no interior do município, mais propriamente no 3º subdistrito denominado Upacaráí. A propriedade de nome “Rincão dos Búfalos”, tem como principais atividades o cultivo de soja e pecuária de corte. Nos últimos

dez anos, a área estudada foi explorada com pecuária nos quatro primeiros anos e nos últimos seis, iniciaram a produção de soja, consorciada a pastagens para engorda de bovinos. Segundo os proprietários, é necessário que haja uma integração da lavoura com a pecuária para que a área se torne viável economicamente.

A propriedade estudada tem área de 1.200 hectares que são utilizados para a produção de soja, dos quais, apenas 2 hectares são ocupados com o sistema de semeadura convencional (SPC) e os demais com o sistema de semeadura direta (SPD), sendo que a conversão está ocorrendo há três anos.

Após imersão na propriedade, foram feitos levantamentos de informações do histórico das áreas provenientes de depoimento dos proprietários, logo, a escolha das áreas das quais foram feitas as coletas de solo através da abertura de trincheiras para que então fossem feitas amostras para envio para análise laboratorial. Os pontos de coletas foram georreferenciados para a avaliação e controle da variabilidade espacial de atributos de solo.

Foi utilizado um trado calador para coletar o solo nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,50m, em cinco pontos em cada área (preparo convencional e semeadura direta).

Para determinação da Densidade do solo (Ds), retirou-se amostras indeformadas por meio de micro-trincheiras de 0-0,05 m com uso dos anéis de aço inoxidável. As amostras foram secas em estufa com temperatura = 105°C até atingirem massa constante. Posteriormente, a massa de solo foi determinada, sendo a Ds definida pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel (EMBRAPA, 1997).

Foram determinados e calculados os seguintes atributos e parâmetros de solo:

I) pH (H₂O; solução de KCl 1 mol L⁻¹; solução CaCl₂ 0,1 mol L⁻¹ e solução SMP) (TEDESCO *et al.*, 1995; EMBRAPA, 1997);

II) teores de bases trocáveis Ca⁺² e Mg⁺² por extração com solução de KCl (1 mol L⁻¹) e determinação por Espectrofotometria de Absorção Atômica (Perkin Elmer 6800) e dos teores trocáveis de K⁺ por extração com solução de Mehlich⁻¹ e determinação por Fotometria de Chama;

III) cálculos da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) efetiva, CTC potencial, Soma de Bases (SB) e saturação dos sítios de troca por bases (V%) e determinação da condutividade elétrica da solução (C.E.) (EMBRAPA, 1997);

IV) teores trocáveis de Al⁺³ (extração com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinação com Espectrofotometria de Absorção Atômica) e cálculo da saturação dos sítios de troca por Al⁺³ (m%) (EMBRAPA, 1997);

V) granulometria (areia, silte e argila) (dispersão em NaOH 2 mol L⁻¹, peneiramento, sedimentação e aplicação do método da pipeta), densidade do solo (Ds) e umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997);

VI) teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) por combustão a seco em analisador elementar (EMBRAPA, 1997).

Os dados foram submetidos à estatística descritiva (média e desvio padrão) e, posteriormente, à análise multivariada exploratória de componentes principais (ACP), utilizando-se de uma matriz de dados, como medida de semelhança, por correlação simples de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de argila do Luvissole Háplico Pálico ebânico avaliado variou de 322 a 471 g kg⁻¹, tendendo a um incremento progressivo em profundidade, não sendo observadas diferenças expressivas entre as áreas de SPC e SPD (Tabela 1). A partir desse atributo textural foi possível assegurar a similaridade entre as áreas, sendo assim possível sua discussão comparativa.

Os valores de pH em H₂O e em solução CaCl₂ variaram de 5,1 a 6,0 e de 4,8 a 5,7, respectivamente (Tabela 1). Foi verificado que a área sob SPD apresentou valores levemente inferiores ao SPC, sugerindo que a semeadura direta pode condicionar a um aumento de determinados compartimentos da acidez (ativa). Esse resultado está possivelmente relacionado ao aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), que condicionam a um aumento de grupos ácidos orgânicos (carboxílicos e hidroxilas fenólicas), discutido adiante. Entretanto, esse aumento é, como já abordado, bastante sutil e, baseado nos teores de Al⁺³ determinados por espectroscopia de absorção atômica de chama, pode-se verificar que não há expressividade no aumento desse elemento tóxico ao desenvolvimento de plantas (CARNEIRO *et al.*, 2009). Em ambas as áreas analisadas (SPC e SPD) ocorreu um decréscimo dos valores de pH em profundidade (Tabela 1).

A condutividade elétrica do solo (C.E.) variou de 0,17 a 0,61 $\mu\text{s cm}^{-1}$, apresentando aumento mais expressivo (abrupto) da superfície para as camadas mais profundas do solo em SPC e uma distribuição mais regular desse aumento em SPD, com valores relativamente maiores nas primeiras camadas do que no SPC (Tabela 1). Esse resultado sugere que, mesmo após relativo pouco tempo de conversão para a semeadura direta, esse sistema consegue influenciar substancialmente a distribuição de íons no perfil, permitindo uma maior regularidade do comportamento elétrico da solução no sistema de caráter conservacionista. Os maiores valores de C.E. em SPD são suportados pelos maiores teores das bases alcalinas (Ca⁺², Mg⁺² e K⁺), também verificados nesse sistema de produção (Tabela 1).

Os teores de Ca⁺², Mg⁺² e K⁺ foram, em geral, substancialmente maiores em SPD do que SPC, mostrando que a retirada das operações de revolvimento do solo é capaz, mesmo em curtos períodos de tempo, de promover manutenção de níveis maiores dos teores desses importantes macronutrientes (Tabela 1). Esse resultado se deve, possivelmente, aos processos de minimização da perda de solo (que é capaz de deslocar os cátions mono e divalentes pela paisagem) e melhor dinamização do fluxo hídrico na encosta. Assim, no SPD espera-se maior manutenção dos íons, pela menor perda de solo e maior taxa potencial de infiltração e retenção de água, ocasionando maior interação dos elementos com os sítios de carga elétrica da superfície dos argilominerais e da MOS.

<http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2022v31n2p64-76>

Tabela 1. Atributos físico-químicos dos pontos amostrados no Sistema de preparo convencional (SPC) – Dom Pedrito/RS. *Chemical, physical and physical-chemical attributes of the points sampled in the Conventional Production System in Dom Pedrito/RS.*

Pontos de amostragem	Camada do solo m	Argila g kg ⁻¹	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	C.E. μs cm ⁻¹	Ca ⁺² cmolc dm ⁻³	Mg ⁺² cmolc dm ⁻³	K ⁺ mg dm ⁻³	P (Mehlich-1) mg dm ⁻³	Al ⁺³ cmolc dm ⁻³	CTC efetiva	V %	m	SB cmolc dm ⁻³	Ds g cm ⁻³	Umidade g g ⁻¹	C	N g kg ⁻¹	C/N
SPC P1	0-5 cm	351	5,8	5,5	0,23	6,8	2,0	1,4	4,4	0	10,2	100	0	10,2	1,11	0,28	1,9	0,16	12
	5-10 cm	360	5,9	5,6	0,17	6,4	1,9	1,3	6,1	0	9,6	100	0	9,6	1,13	0,33	2,1	0,15	14
	10-20 cm	401	5,8	5,5	0,33	5,9	1,7	1,2	8,2	0	8,8	100	0	8,8	1,14	0,31	1,7	0,12	14
	20-40 cm	447	5,6	5,3	0,43	3,4	1,0	0,7	5,4	0,2	5,3	96	4	5,1	1,42	0,36	1,7	0,10	17
	40-50 cm	438	5,3	5	0,48	4,1	1,2	0,8	7,7	0,3	6,4	95	5	6,1	1,45	0,41	1,5	0,09	16
SPC P2	0-5 cm	371	5,9	5,6	0,21	5,3	1,6	1,1	5,8	0	7,9	100	0	7,9	1,12	0,24	2	0,15	13
	5-10 cm	382	5,9	5,6	0,28	5,1	1,5	1,0	7,1	0	7,6	100	0	7,6	1,06	0,31	1,9	0,14	14
	10-20 cm	411	5,8	5,5	0,31	4,4	1,3	0,9	6,6	0	6,6	100	0	6,6	1,21	0,28	1,8	0,11	16
	20-40 cm	433	5,6	5,3	0,26	3,2	0,9	0,7	8,2	0	4,8	100	0	4,8	1,44	0,42	1,3	0,11	12
	40-50 cm	451	5,3	5	0,43	4,2	1,2	0,9	4,5	0,2	6,5	97	3	6,3	1,37	0,39	1,1	0,08	14
SPC P3	0-5 cm	389	5,9	5,6	0,31	5,7	1,7	1,2	5,7	0	8,5	100	0	8,5	1,12	0,31	1,8	0,14	13
	5-10 cm	322	5,9	5,6	0,24	5,2	1,5	1,1	4,3	0	7,8	100	0	7,8	1,03	0,33	1,6	0,12	13
	10-20 cm	421	5,8	5,5	0,41	5,1	1,5	1,0	6,8	0	7,6	100	0	7,6	1,22	0,29	1,7	0,14	12
	20-40 cm	447	5,6	5,3	0,37	3,2	0,9	0,7	7,2	0	4,8	100	0	4,8	1,39	0,43	1,2	0,09	13
	40-50 cm	471	5,3	5	0,51	3,8	1,1	0,8	5,1	0,2	5,9	97	3	5,7	1,42	0,42	1,2	0,06	20
SPC P4	0-5 cm	396	6,0	5,7	0,22	5,7	1,7	1,2	9,8	0	8,5	100	0	8,5	1,12	0,3	2	0,14	14
	5-10 cm	388	5,9	5,6	0,21	5,2	1,5	1,1	8,2	0	7,8	100	0	7,8	1,07	0,28	1,8	0,11	16
	10-20 cm	412	5,8	5,5	0,19	5,1	1,5	1,0	6,5	0	7,6	100	0	7,6	1,19	0,31	1,7	0,12	14
	20-40 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40-50 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SPC P5	0-5 cm	397	6	5,7	0,23	5,9	1,7	1,2	9,8	0	8,8	100	0	8,8	1,12	0,28	1,9	0,15	13
	5-10 cm	362	5,9	5,6	0,21	5,5	1,6	1,1	8,4	0	8,2	100	0	8,2	1,07	0,31	1,9	0,13	14
	10-20 cm	408	5,8	5,5	0,32	5,1	1,5	1,1	7,0	0	7,7	100	0	7,7	1,19	0,30	1,7	0,12	14
	20-40 cm	423	5,5	5,2	0,39	3,3	1,0	0,7	6,9	0,1	5,0	98	2	4,9	1,42	0,40	1,4	0,10	14
	40-50 cm	447	5,2	4,9	0,47	4,0	1,2	0,8	5,8	0,2	6,2	97	3	6,0	1,41	0,41	1,3	0,08	16
SPC média	0-5 cm	381	5,9	5,6	0,24	5,9	1,7	1,2	7,1	0,0	8,8	100	0	8,8	1	0	1,9	0,15	13
	5-10 cm	363	5,9	5,6	0,22	5,5	1,6	1,1	6,8	0,0	8,2	100	0	8,2	1,07	0,31	1,9	0,13	14
	10-20 cm	411	5,8	5,5	0,31	5,1	1,5	1,1	7,0	0,0	7,7	100	0	7,7	1,19	0,30	1,7	0,12	14
	20-40 cm	438	5,6	5,3	0,36	3,3	1,0	0,7	6,9	0,1	5,0	99	1	4,9	1,42	0,40	1,4	0,10	14
	40-50 cm	452	5,3	5,0	0,47	4,0	1,2	0,8	5,8	0,2	6,3	96	4	6,0	1,41	0,41	1,3	0,08	17

Tabela 1. Continuação...

Pontos de amostragem	Camada do solo	Argila	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	C.E.	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P (Mehlich-1)	Al ⁺³	CTC efetiva	V	m	SB	Ds	Umidade	C	N	C/N
		g kg ⁻¹			µs cm ⁻¹	cmol. dm ⁻³	cmol. dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol. dm ⁻³	%	cmol. dm ⁻³	g cm ⁻³	g g ⁻¹	g kg ⁻¹					
SPD P1	0-5 cm	374	5,7	5,4	0,35	8,2	2,4	1,7	9,2	0	12,3	100	0	12,3	1,18	0,39	2,4	0,16	15
	5-10 cm	349	5,7	5,4	0,33	7,7	2,3	1,6	10,3	0	11,5	100	0	11,5	1,21	0,42	2,2	0,15	15
	10-20 cm	368	5,7	5,4	0,39	6,6	1,9	1,4	6,6	0	9,9	100	0	9,9	1,17	0,37	1,8	0,13	14
	20-40 cm	439	5,4	5,1	0,43	5,3	1,6	1,1	4,8	0,1	8,0	99	1	7,9	1,31	0,33	1,3	0,08	16
	40-50 cm	466	5,3	5,0	0,51	4,2	1,2	0,9	5,3	0,2	6,5	97	3	6,3	1,32	0,36	1,1	0,05	22
SPD P2	0-5 cm	369	5,7	5,4	0,41	7,9	2,3	1,6	8,9	0	11,8	100	0	11,8	1,21	0,42	2,5	0,18	14
	5-10 cm	388	5,7	5,4	0,37	8,2	2,4	1,7	11,2	0	12,3	100	0	12,3	1,17	0,41	2,4	0,16	15
	10-20 cm	423	5,6	5,3	0,39	6,9	2,0	1,4	3,9	0	10,3	100	0	10,3	1,23	0,39	1,9	0,11	17
	20-40 cm	447	5,4	5,1	0,42	4,2	1,2	0,9	7,3	0,2	6,5	97	3	6,3	1,33	0,38	1,2	0,09	13
	40-50 cm	468	5,3	5,0	0,61	3,7	1,1	0,8	6,6	0,3	5,8	95	5	5,5	1,31	0,41	1,1	0,07	16
SPD P3	0-5 cm	387	5,8	5,5	0,44	9,4	2,8	1,9	13,2	0	14,1	100	0	14,1	1,22	0,44	2,2	0,19	12
	5-10 cm	373	5,7	5,4	0,48	6,8	2,0	1,4	11,7	0	10,2	100	0	10,2	1,23	0,38	1,9	0,16	12
	10-20 cm	431	5,6	5,3	0,53	7,3	2,1	1,5	8,7	0	10,9	100	0	10,9	1,27	0,41	1,8	0,13	14
	20-40 cm	440	5,4	5,1	0,43	4,8	1,4	1,0	6,5	0,1	7,3	99	1	7,2	1,31	0,36	1,2	0,09	13
	40-50 cm	466	5,3	5,0	0,52	3,8	1,1	0,8	8,1	0,2	5,9	97	3	5,7	1,37	0,39	1,2	0,06	20
SPD P4	0-5 cm	379	5,6	5,3	0,39	7,9	2,3	1,6	10,4	0	11,8	100	0	11,8	1,20	0,42	2,4	0,18	13
	5-10 cm	355	5,7	5,4	0,37	6,6	1,9	1,4	11,1	0	9,9	100	0	9,9	1,20	0,40	2,2	0,15	14
	10-20 cm	421	5,6	5,3	0,41	8,7	2,6	1,8	6,4	0	13,0	100	0	13,0	1,22	0,39	1,8	0,13	14
	20-40 cm	441	5,3	5,0	0,39	7,2	2,1	1,5	6,2	0,2	11,0	98	2	10,8	1,32	0,36	1,2	0,09	14
	40-50 cm	471	5,1	4,8	0,53	4,1	1,2	0,8	6,7	0,2	6,3	97	3	6,1	1,33	0,39	1,1	0,07	16
SPD P5	0-5 cm	366	5,9	5,6	0,39	10,4	3,1	2,1	13,2	0	15,6	100	0	15,6	1,20	0,42	2,6	0,18	15
	5-10 cm	377	5,8	5,5	0,38	8,1	2,4	1,7	11,1	0	12,1	100	0	12,1	1,20	0,40	2,3	0,16	15
	10-20 cm	423	5,6	5,3	0,42	6,5	1,9	1,3	6,4	0	9,7	100	0	9,7	1,22	0,39	2,0	0,13	16
	20-40 cm	434	5,3	5,0	0,49	7,2	2,1	1,5	6,2	0,2	11,0	98	2	10,8	1,32	0,36	1,3	0,09	15
	40-50 cm	459	5,2	4,9	0,39	5,1	1,5	1,0	6,7	0,1	7,7	99	1	7,6	1,33	0,39	1,1	0,06	18
SPD média	0-5 cm	375	5,7	5,4	0,40	8,8	2,6	1,8	11,0	0,0	13,1	100	0	13,1	1,20	0,42	2,4	0,18	14
	5-10 cm	368	5,7	5,4	0,39	7,5	2,2	1,5	11,1	0,0	11,2	100	0	11,2	1,20	0,40	2,2	0,16	14
	10-20 cm	413	5,6	5,3	0,43	7,2	2,1	1,5	6,4	0,0	10,8	100	0	10,8	1,22	0,39	1,9	0,13	15
	20-40 cm	440	5,4	5,1	0,44	5,4	1,6	1,1	6,2	0,2	8,2	98	2	8,1	1,32	0,36	1,3	0,09	14
	40-50 cm	465	5,3	5,0	0,51	4,2	1,2	0,9	6,7	0,2	6,5	97	3	6,3	1,33	0,39	1,1	0,06	19

Nota: *Obs: pH H₂O = pH determinado em água deionizada; pH CaCl₂ = pH determinado em solução de CaCl₂ (0,1 mol L⁻¹); C.E. = condutividade elétrica do solo; Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³ = teores trocáveis de cálcio, magnésio e alumínio, extraídos por solução de KCl (1 mol L⁻¹) e determinados por espectroscopia de absorção atômica; K⁺ = teor de potássio trocável determinado por fotometria de chama; P = teor de P extraído por solução de Mehlich-1 e determinado por colorimetria (UV-VIS); CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio trocável; SB = soma de bases; Ds = densidade do solo; C e N = teores de C orgânico e N do solo determinados por combustão seca em analisador elementar; C/N = razão C/N do solo; SPD = sistema de semeadura direta; P = ponto de amostragem (1 a 5). *Note: pH H₂O = pH determined in deionized water; pH CaCl₂ = pH determined in CaCl₂ solution (0,1 mol L⁻¹); C.E. = electrical conductivity of the soil; Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³ = exchangeable levels of calcium, magnesium and aluminum, extracted by KCl solution (1 mol L⁻¹) and determined by atomic absorption spectroscopy; K⁺ = exchangeable potassium content determined by flame photometry; P = P content extracted by Mehlich-1 solution and determined by colorimetry (UV-VIS); CTC = cation exchange capacity; V = base saturation; m = exchangeable aluminum saturation; SB = sum of bases; Ds = soil density; C and N = contents of organic C and N of the soil determined by dry combustion in an elemental analyzer; C / N = soil C / N ratio; SPD = no-till system; P = sampling point (1 to 5). Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Da mesma forma, também foi verificado, como esperado, um aumento dos valores de CTC efetiva (capacidade de troca catiônica efetiva), SB (soma do teor das bases alcalinas) e V% (saturação das bases alcalinas nos sítios de troca dos argilominerais e MOS) em SPD, confirmando o efeito positivo desse sistema na fertilidade do Solo (Tabela 1).

Os teores de P total (P Mehlich⁻¹) variaram de 4,4 a 13,2 mg dm⁻³, com valores maiores em SPD (Tabela 1).

A razão para esse comportamento está relacionada aos mesmos processos que explicam os maiores teores de Ca⁺², Mg⁺² e K⁺, abordados anteriormente. Por sua vez, os teores de C e N foram também superiores em SPD, variando, no geral, de 1,1 a 2,6 g kg⁻¹ para o C e 0,05 a 0,18 g kg⁻¹ para o N (Tabela 1). A retirada das práticas de revolvimento e pulverização da estrutura do solo (aração e gradagem) possibilita melhor distribuição e menor taxa de decomposição da MOS, contribuindo para o seu acúmulo progressivo no perfil (HANKE; DICK, 2017a).

Adicionalmente, o aumento dos teores de C e N possibilitam: i) incremento dos sítios elétricos responsáveis pela adsorção de nutrientes e complexação de elementos/substâncias xenobióticas; ii) aumento dos estoques de C e N no perfil do solo e consequente mitigação de gases do efeito estufa (GEEs) e; iii) dinamização do fluxo de água no perfil e paisagem e aumento da estabilidade de agregados, levando a uma redução da perda de solo pelos processos erosivos (HANKE; DICK, 2017b). Dessa forma, ocorre efeito benéfico da adoção do SPD sobre os atributos de solo, tanto para a eficiência dos sistemas produtivos como para a conservação e uso sustentável dos recursos naturais (FLORES *et al.*, 2007). Não foram observadas diferenças expressivas na relação C/N entre os sistemas de preparo (Tabela 1), sugerindo que as diferenças na composição da MOS são de ordem quantitativa e não qualitativa (mesmo estado de humificação).

Embora os valores de Ds (densidade do solo) tenham sido superiores na camada superficial (0,0-20 m) em SPD, esse aumento não se encontra dentro do intervalo que caracteriza impedimentos ao desenvolvimento radicular de plantas (acima de 1,3 a 1,4 g cm⁻³) (Tabela 1). Porém, a interrupção das operações de preparo do solo produziu uma diminuição relativa da Ds, referente à parte subjacente do horizonte superficial (20 cm de profundidade, aproximadamente). Dessa forma, é esperada uma melhora progressiva das condições de desenvolvimento radicular das plantas com a ampliação do tempo de práticas relacionadas à semeadura direta. Por fim, a adoção do SPD também proporcionou um aumento da umidade do solo, o que pode favorecer expressivamente o desenvolvimento de organismos (Tabela 1). Esse resultado possivelmente é devido ao aumento da MOS e a reestruturação do sistema de poros pela melhor agregação em SPD.

A análise de componentes principais (ACP), utilizada para avaliar os padrões de comportamento dos sistemas de produção em relação às variáveis de solo, explicou 88,6% da variância total dos dados, sendo esse percentual bastante satisfatório para descrever a realidade do estudo (Figura 2). Aproximadamente 67,4% da variância total está contida no CP 1 (componente principal 1 – eixo “x” do gráfico de ordenação) e 21,2% no segundo componente principal (eixo “y”). Dessa forma, o CP 1 explica a maior parte da variação dos

dados, sendo que o comportamento das variáveis e unidades amostrais em torno do eixo “x” respondem aos padrões mais importantes, comparativamente ao CP 2. Ambos os eixos foram significativos ao teste de reamostragem bootstrap ($p < 0,05$), sendo o padrão de dispersão das variáveis considerado estável e, portanto, passível de ser interpretado.

As variáveis que se correlacionaram mais fortemente com o CP 1 (eixo “x”) foram: i) argila; ii) pH (água e CaCl_2); iii) teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e P; iv) CTC efetiva; v) soma de bases (SB); vi) teor de Al^{+3} ; vii) valores de V% e m%; viii) densidade do solo (Ds); ix) teores de C e N e relação C/N.

Em relação ao CP 2 (eixo “y”), as variáveis que apresentaram correlação mais forte foram: i) Condutividade elétrica (C.E.) e; ii) umidade do solo. Em síntese, o CP 1 é uma variável produzida a partir das principais variáveis de fertilidade do solo (físicas e químicas). Por sua vez, o CP 2 é uma variável construída a partir de aspectos relacionados à umidade e à natureza da solução do solo (condutividade elétrica).

Em relação ao CP 1 (eixo “x” – que explica a maior parte da variação dos dados) pode se verificar que as amostras de SPC e SPC (sobretudo das camadas superficiais – 0-5, 5-10 e 10-20 cm) aparecem discriminadas à direita da origem (ponto $x,y = 0,0$), destacando-se pelos maiores teores de MOS e melhores atributos químicos de solo, ao passo que as amostras das camadas mais profundas aparecem à esquerda da origem (Figura 2). Entre as situações analisadas, a posição (em relação ao CP 1) destaca sua maior capacidade na retenção de MOS e maior capacidade de retenção de nutrientes, mais evidente nas camadas superficiais. Possivelmente, com o aumento do tempo de SPD (anos futuros) essas tendências devem se tornar ainda mais evidentes.

<http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2022v31n2p64-76>

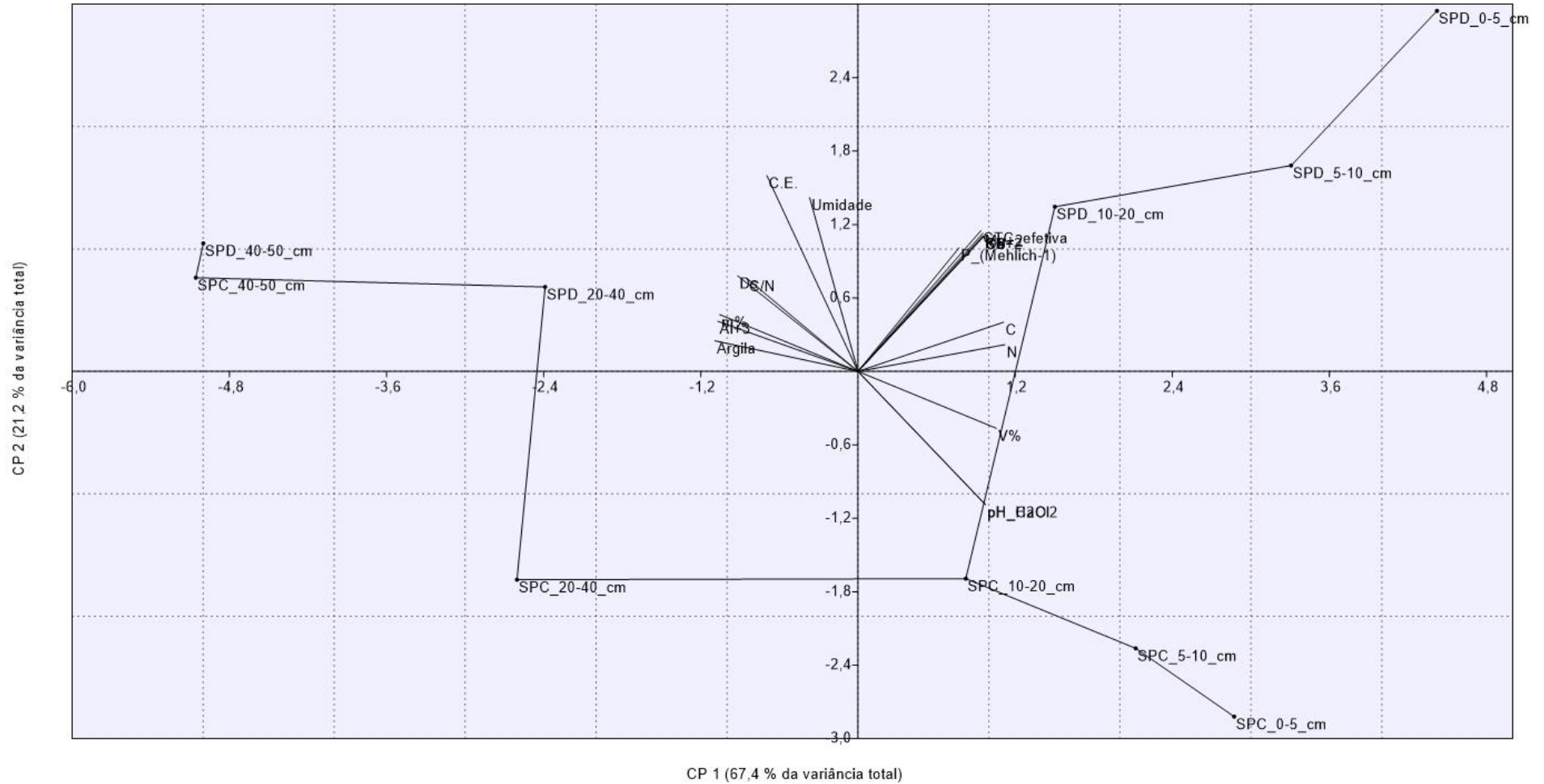


Figura 2. Diagrama de dispersão pelo método de componentes principais (ACP) das variáveis de solo e unidades amostrais avaliadas em SPC e SPD. *Dispersion diagram by the principal component method (PCA) of the soil variables and sample units evaluated in SPC and SPD.*
 Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Em relação ao CP 2 (eixo “y” – que explica a menor parte da variação dos dados), há uma discriminação mais clara dos sistemas SPD e SPC, que estão essencialmente relacionadas a maior capacidade de retenção de água (umidade) e maior condutividade elétrica da solução (C.E.) do solo em SPD, comparativamente ao SPC (Figura 2). Isso pode ser visualizado pela posição acima da origem, em relação ao eixo “y”, que separa nitidamente as unidades amostrais de SPD de SPC. Em outras palavras: os atributos mais fortes para expressar as diferenças, na atual etapa de desenvolvimento desses sistemas, são a umidade do solo e a condutividade elétrica.

Com a evolução do SPD, espera-se que os demais atributos de solo ganhem mais importância para explicar a variação entre os sistemas de manejo do solo. Dessa forma, pode-se destacar o efeito, à curto prazo, ocasionado pela conversão da produção convencional para semeadura direta, na capacidade de retenção de água e aumento da atividade dos íons em solução. Essas características podem ser muito importantes para a evolução do cenário agrícola na região da Campanha Gaúcha meridional, sobretudo em épocas de estiagem durante as estações mais quentes.

CONCLUSÃO

O sistema plantio direto resultou em melhorias de diversos atributos do solo relacionados ao teor de matéria orgânica e fertilidade.

Apesar de terem sido identificados alguns fatores como aumento de acidez e maior densidade de solo que o plantio convencional na camada arável (0,0 – 0,20 m), o plantio direto ainda excede-se ao convencional, pois foi constatada superioridade de solo em fatores como: o aumento da disponibilidade de nutrientes como cálcio, magnésio e potássio nutrientes estes importantes ao desenvolvimento de plantas; além do estoque de carbono e nitrogênio, acarretando a diminuição da liberação de gases do efeito estufa, melhor absorção de água e também manutenção dos níveis de umidade por mais tempo, visto que este é um fator de suma importância, sabendo-se que na região da campanha tem ocorrido períodos de déficit hídrico nos últimos anos.

É válido ressaltar que a densidade de solo e aumento de acidez nos níveis observados, não acarretam nenhum dano ao desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARREÑA, M.; KNOLL, P.; SFORMO, L. Importancia de la soja, la carne y la energía como condicionantes de la Restricción Externa Argentina entre 1950-1975 y 1997-2016. **RIVAR** Santiago, v. 7, n. 19, p.44-68, 2020.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D., PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p.147-157, 2009.

SILVA LEMOS, G.; RIZZI, R. **A expansão da soja no bioma pampa brasileiro e sua interação espaço-temporal com arroz e campo.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, v. 35, p.9-26, 2020.

AMARAL, G. C.; SILVA BERTI, M. P.; SILVA, A. A.; SILVA JÚNIOR, G. S.; CUSTÓDIO, J. P. C.; PEIXOTO, W. A. Características agronômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 29, n. 4, p.437-447, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPBRAPA. **Embrapa Soja em números.** [s. l.], [s. n.], 2019. (safra 2018/19). <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 09 de nov. de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. D. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p.771-780, 2007.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; VALDES, C.; BACCHI, M. R. P. Total factor productivity in Brazilian agriculture. **Productivity growth in agriculture: an international perspective**, p.145-162, 2012.

GAVIOLI, A. P. R.; NUNES, J. S. A soja transgênica no brasil e suas influências à saúde e ao meio ambiente. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Rondônia, v. 2, n. 6, p.1-16, 2015.

GILIOLI, J. L.; TERASAWA, F.; WILLEMANN, W.; ARTIAGA, O. P. E.; MOURA, A. V.; PEREIRA, W.V. **Soja: Série 100.** Cristalina: FT Sementes, 1995. 18 p. (Boletim Técnico 3).

HANKE, D.; DICK, D. P. Organic matter stocks and the interactions of humic substances with metals in araucaria moist forest soil with humic and histic horizons. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, p. 01-20, 2017.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70 p. ((Documentos / Embrapa Soja, n. 349)

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Plantio direto: caminho para uma agricultura sustentável.** Campinas. 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176491/1/Agricultura-sustentavel.pdf>. Acesso em: dia set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dom Pedrito.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/panorama>. Acesso em: 10 nov. 2020.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Manejo sustentável dos solos dos cerrados. *In*: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2003. p. 61-104.

LOPES, G. R.; LIMA, M. G. B.; REIS, T. N. Revisitando o conceito de mau desenvolvimento: Inclusão e impactos sociais da expansão da soja no Cerrado do Matopiba. **World Development**, [s. l.], v. 139, p.105316, 2021.

MATTE, A.; SPANEVELLO, R. M.; ANDREATTA, T. Perspectivas de sucessão em propriedades de pecuária familiar no Município de Dom Pedrito – RS. **Holos**, Brasil, v. 1, n., p.141-159, 2015.

NASCIMENTO, S. G.; NASCIMENTO, J. C.; HANKE, D.; ÁVILA, M. R.; SILVA, F. N. Gestão ambiental e agricultura familiar: um olhar sobre o município de Dom Pedrito-RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Brasil, v. 9, n. 3, p.480-499, 2020.

PILLON, C. N.; ÁVILA, M. R. Princípios para conservação e uso sustentável dos recursos naturais e da biodiversidade: bases teóricas para processos de capacitação. *In*: PILLON, C. N. *et al.* **Manejo conservacionista e qualidade do solo**. [S. l.]: Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2020. p. 13-17. ((Documentos / Embrapa Clima Temperado, 490)