ISSN 0100-8862

Comunicado Técnico 622

Concórdia, SC / Setembro, 2024

Eficiência agronômica dos dejetos de suínos como fonte de nitrogênio para o milho

Rodrigo da Silveira Nicoloso[1], Evandro Carlos Barros[2] e Camila Rosana Wuaden[3]

[1]Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. [2]Analista, Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. [3]Pós-doutoranda, bolsista na Embrapa Suínos e Aves Concórdia, SC

Introdução

Os dejetos líquidos de suínos (DLS) são resíduos orgânicos gerados em grandes quantidades em unidades de produção de animais em confinamento. Estes resíduos contêm quantidades significativas de carbono, macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) e micronutrientes (cobre, zinco, entre outros), o que torna interessante reciclá-los como adubos orgânicos na agricultura. Historicamente, esta tem sido a prática preferencial para manejo e destinação do DLS no Brasil e no mundo. Quando utilizado seguindo critérios agronômicos, estes fertilizantes orgânicos promovem a melhoria da fertilidade do solo e, consequentemente, o aumento da produtividade das culturas agrícolas (Manual..., 2016).

No entanto, a concentração de nutrientes nos adubos orgânicos é geralmente baixa, o que demanda a aplicação de volumes maiores, em comparação aos fertilizantes minerais, para se suprir a mesma quantidade de nutrientes às plantas (Manual..., 2016). Isto implica em maior custo de transporte e aplicação dos fertilizantes orgânicos em comparação aos fertilizantes minerais. Sabe-se também que a disponibilidade dos nutrientes e a eficiência dos adubos orgânicos em suprir estes nutrientes às plantas depende, além da concentração de nutrientes no material, da qualidade dos adubos orgânicos. Além disso, as tecnologias de aplicação dos adubos orgânicos no solo têm grande influência sobre a eficiência agronômica destes materiais, dependendo da forma (superfície, injetados ou incorporados), época (pré-plantio ou cobertura) e dose (única ou parcelada) de aplicação (Figura 1).

Foto: Lucas Scherer Cardoso

Figura 1. Tanque injetor de dejetos líquidos no solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de diferentes fontes de adubos orgânicos em fornecer nitrogênio para a cultura do milho sob diferentes

sistemas de preparo do solo, assim como determinar o efeito da tecnologia de aplicação dos dejetos líquidos de suínos no solo sobre o acúmulo de nitrogênio e produtividade da cultura do milho.

Material e métodos

Estudo I – fontes de N e sistemas de preparo do solo

O experimento foi instalado em setembro de 2012 após a conversão de uma área de pastagem natural para agricultura em Concórdia, Santa Catarina (27º18'53''S, 51º59'25"O). O clima do local é subtropical úmido (Cfa), com temperatura e precipitação média anual de 18 ºC e 1.800 mm, respectivamente (Wrege et al., 2012). O solo é classificado com um Nitossolo Vermelho distroférrico (Santos et al., 2018) de textura siltosa, com 250, 460 e 290 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente, na camada 0-10 cm do solo.

Neste local, foi implantado um sistema de culturas de milho no verão (*Zea mays* L.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Screb) no inverno em parcelas experimentais medindo 10x25 m (comprimento x largura), dispostas em blocos ao acaso com quatro repetições. Nestas parcelas foram testados dois sistemas de preparo do solo: preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). O PC consistia na aração e gradagem do solo antes do plantio do milho e na gradagem do solo antes do plantio da aveia-preta. Nas áreas de PD, o milho e a aveia foram semeados sob os resíduos da cultura antecessora sem prévia mobilização do solo. Após as operações de preparo do solo no tratamento PC, todas as parcelas (PC e PD) foram divididas em subparcelas medindo 10x5 m (comprimento x largura), onde testaram-se as seguintes fontes de N para a cultura do milho: ureia (UR), dejeto líquido de suínos armazenados em esterqueiras (DLS), dejeto líquido de suínos tratado por biodigestão (BIO) e dejeto líquido de suínos tratado por compostagem (COMP), além de um tratamento controle sem adubação (CTR).

Os fertilizantes orgânicos e minerais foram distribuídos na superfície do solo de modo a aportar 140 kg N-total ha^{-1} em única aplicação antes do plantio do milho, considerando uma expectativa de produtividade de 9 Mg ha^{-1} (Manual..., 2016). Os adubos orgânicos foram obtidos nas granjas experimentais da Embrapa Suínos e Aves. O DLS foi coletado de esterqueiras anaeróbicas, o BIO de tanques de armazenamento de digestato tratado em um reator anaeróbio de fluxo ascendente e o COMP foi coletado em uma plataforma de compostagem de dejetos de suínos em mistura com serragem e maravalha. Quando necessário, também foram aplicados superfosfato triplo e cloreto de potássio de modo a suprir ao menos 115 kg P_2O_5 ha^{-1} e 75 kg K_2O ha^{-1} em todos os tratamentos. O milho foi semeado em linhas espaçadas 0,80 m e uma população de 65.000 plantas ha^{-1}. A aveia-preta não recebeu adubação. Nos tratamentos sob PC, os fertilizantes foram incorporados no solo com uma passagem de grade de discos. Maiores detalhes sobre as práticas de preparo do solo, adubação e manejo das culturas agrícolas estão disponíveis em Wuaden et al. (2023; 2020).

Estudo II - fontes de N e forma de aplicação dos dejetos de suínos

Este estudo utiliza dados de dois experimentos instalados em Concórdia, Santa Catarina. O primeiro, conduzido entre 2011 e 2013, estava localizado em área experimental (27°18'42"S, 51°59'26"O) distante 350 m do local descrito no Estudo I. O solo também é classificado com um Nitossolo Vermelho distroférrico (Santos et al., 2018), porém de textura argilosa, com 660, 274 e 66 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente, na camada 0-10 cm do solo (Rech et al., 2018). O segundo experimento foi conduzido na safra 2017-2018 em área (27°18'53"S, 51°59'29"O) distante 100 m do local descrito no Estudo I, apresentando as mesmas características de classe e textura de solo.

Em ambas as áreas, foram instaladas parcelas experimentais medindo 10x5 m (comprimento x largura), dispostas em blocos ao acaso com quatro repetições, onde foi estabelecido um sistema de culturas com milho no verão e aveia-preta no inverno. Nestas parcelas foram testadas diferentes fontes de nitrogênio e formas de aplicação para o milho, a saber: ureia distribuída à lanço na superfície do solo (UR), dejeto líquido de suínos distribuído na superfície do solo (DLS) e dejeto líquido de suínos injetado em linha no solo (DLSI), além de um tratamento controle sem adubação (CTR). Os dejetos líquidos de suínos foram coletados em esterqueiras anaeróbias das granjas experimentais da Embrapa Suínos e Aves. No primeiro experimento e em ambas as safras de milho 2011-2012 e 2012-2013, para o tratamento UR foram aplicados 148 kg N ha^{-1}, distribuídos 30% no pré-plantio e o restante em duas aplicações em cobertura do milho, todas na superfície do solo. No tratamento DLS e DLSI, foram aplicados 185 kg N-total ha^{-1}, distribuídos respectivamente na superfície do solo e injetados em linhas, ambos em

dose única no pré-plantio do milho. No segundo experimento, conduzido na safra 2017-2018, todas as parcelas receberam 140 kg N-total ha^{-1}, aplicados conforme já descrito para cada tratamento. Os dejetos foram aplicados utilizando um tanque de 4 m^3 equipado com bomba e sistema de distribuição através de sete conjuntos de disco-duplos e sulcadores, dispostos em linhas espaçadas 0,35 m, que faziam a distribuição do DLS em superfície quando levantados ou injetados a aproximadamente 0,10 m de profundidade no solo quando acionados (Mepel, Estação, RS). O milho foi semeado em linhas espaçadas 0,80 m e uma população de 65.000 plantas ha^{-1}. Quando necessário, também foram aplicados superfosfato triplo e cloreto de potássio, de modo a suprir ao menos 115 kg P_2O_5 ha^{-1} e 75 kg K_2O ha^{-1} em todos os tratamentos. A aveia-preta não recebeu adubação.

Análises realizadas

O adubos orgânicos utilizados em ambos os estudos foram caracterizados quanto a sua composição físico-química utilizando metodologia padrão (APHA, 1998), com resultados médios listados na Tabela 1. A produção de biomassa do milho foi determinada através da coleta de 12 plantas de tamanho médio selecionadas aleatoriamente no interior de cada parcela no momento do pleno florescimento da cultura. As amostras foram secas em estufa à 65 ºC até peso constante, trituradas e analisadas quanto aos teores de Nitrogênio Total Kjedahl (NTK) (Silva, 2009). A produtividade de grãos do milho foi determinada pela coleta das espigas das plantas presentes em dois metros lineares selecionados aleatoriamente em seis locais das parcelas. Os grãos foram separados das espigas, pesados e triturados para determinação da umidade em estufa à 65 ºC e teor de NTK utilizando metodologia padrão. A produtividade de grãos de milho foi expressa considerando 13 ºC de umidade nos grãos.

A eficiência de cada fonte de fertilizante e forma de aplicação em fornecer nitrogênio ao milho foi avaliada para ambos os estudos através dos indicadores eficiência agronômica de nitrogênio (EAN) e recuperação aparente de nitrogênio (RAN), que são calculados conforme descrito a seguir (Baligar et al., 2001):

$$\textbf{EAN (kg kg}^{-1}\textbf{) = (Pt - Pc) / DNt} \quad \text{(Eq.1)}$$

$$\textbf{RAN (\%) = (Nt - Nc) / DNt} \quad \text{(Eq.2)}$$

Onde:

Pt e Pc: produtividade de grãos de milho no tratamento a ser avaliado e controle, respectivamente, expressos em kg ha^{-1}

Nt e Nc: quantidade de nitrogênio na biomassa e grãos de milho no tratamento a ser avaliado e controle, respectivamente, expressos em kg ha^{-1}

DNt: dose de nitrogênio aplicada no tratamento a ser avaliado, expresso em kg ha^{-1}

Os dados obtidos em ambos os experimentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para o Estudo I, foi utilizado um modelo de parcelas subdivididas para avaliar os sistemas de preparo nas parcelas principais, as fontes de N como subparcelas e as seis safras de avaliação como medidas repetidas. Para o Estudo II, foram testados os efeitos das fontes de N e formas de aplicação nas parcelas principais e as três safras avaliadas como medidas repetidas. Quando o teste F demonstrou haver diferenças significativas para os fatores testados ou suas interações ($p<0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando o teste de Tukey com $\alpha = 0,05$ de nível de probabilidade.

Tabela 1. Caracterização média dos adubos orgânicos utilizados nos experimentos em ambos os estudos e obtidos junto às granjas de suínos da Embrapa Suínos e Aves, sendo: DLS: dejeto líquido de suínos, BIO: dejeto líquido de suínos tratado por biodigestão, COMP: dejeto líquido de suínos tratado por compostagem e n: número de amostras analisadas.

Adubo[1]	Parâmetro									
	MS	C	N	N-NH_3	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	Cu	Zn
	---------- kg m^{-3} ----------								------- g m^{-3} -------	
DLS (n=9)	5,9	24,9	4,2	2,6	2,5	1,9	1,4	0,7	8,8	60,5
BIO (n=6)	2,6	6,1	2,5	1,8	1,6	1,1	0,2	0,1	3,2	19,5
	--- % ---	---------- g kg^{-1} ----------							------- mg kg^{-1} -------	
COMP (n=6)	37,0	115,8	7,3	0,2	13,2	5,0	12,2	3,1	124,6	384,4

[1]Valores expressos em base natural.

Resultados e discussão

Estudo I – fontes de N e sistemas de preparo do solo

Na média das seis safras de milho avaliadas, não houve diferença significativa quanto à produtividade de grãos e acúmulo de N pelo milho entre os dois sistemas de preparo de solo (Tabela 2). No entanto, observou-se que o milho cultivado nas áreas sob PC apresentou maior produtividade e acúmulo de N do que aquele sob PD nas safras de 2014 e 2015. Estes resultados se devem à maior taxa de mineralização dos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo nos primeiros anos após a conversão da pastagem natural para agricultura sob preparo convencional, conforme demonstrado por Wuaden et al. (2023, 2020), o que supriu maiores quantidades de nitrogênio para o milho nestas áreas. Tal efeito não foi observado a partir do quarto ano de avaliação (2016), quando os estoques de nitrogênio total nas áreas sob PC já haviam decaído e se estabilizado em níveis inferiores aos das áreas sob PD.

Na comparação entre os tratamentos de adubação, observou-se diferenças significativas quanto ao acúmulo de N pelas plantas de milho apenas na média dos seis anos avaliados. Neste caso, verificou-se que o milho adubado com DLS, UR e BIO acumulou quantidades maiores e similares de N nos grãos e biomassa do que o milho adubado com COMP e sem adubação (CTR). Estes resultados indicam que o DLS e BIO, embora contendo 38 e 28% do N, respectivamente, na forma orgânica, foram capazes de suprir o milho com quantidades de N similares à UR, que tem 100% do N na forma mineral e imediatamente disponível para as plantas. Já o COMP teve baixa eficiência em fornecer N para o milho, não diferindo das áreas sem adubação.

Tabela 2. Produtividade de grãos e acúmulo de nitrogênio pelo milho cultivado sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) sob diferentes fontes de nitrogênio em um Nitossolo de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. CTR: controle sem adubação, UR: ureia, DLS: dejeto líquido de suínos armazenados em esterqueiras, BIO: dejeto líquido de suínos tratado por biodigestão, COMP: dejeto líquido de suínos tratado por compostagem.

Tratamentos[1]		Safra						Média
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	
		Produtividade de grãos de milho						
		---------- Mg ha^{-1} ----------						
Médias	PC	8,8^{ns}	10,2A	11,2A	4,7^{ns}	8,0^{ns}	10,4^{ns}	8,9^{ns}
	PD	8,9	9,0B	9,9B	5,4	7,5	10,6	8,5
Médias	CTR	8,6^{ns}	8,2c	9,2b	4,4^{ns}	5,6c	9,6b	7,6c
	UR	9,3	9,5abc	10,8a	4,9	9,6a	10,6ab	9,1a
	DLS	9,1	11,0ab	11,3a	5,7	8,5ab	12,4a	9,7a
	BIO	9,0	11,1a	11,5a	4,8	8,1ab	9,8b	9,0ab
	COMP	8,4	8,2c	9,8ab	5,5	6,7bc	10,0b	8,1bc
		Acúmulo de nitrogênio nos grãos e biomassa do milho						
		---------- kg ha^{-1} ----------						
Médias	PC	233,0^{ns}	163,8A	209,2A	110,4^{ns}	159,4^{ns}	175,9^{ns}	175,3^{ns}
	PD	260,0	131,2B	169,6B	122,0	141,5	178,4	167,1
Médias	CTR	222,9	110,8	154,6	91,3	106,6	158,4	140,8b
	UR	262,9	155,5	201,2	125,8	186,6	173,8	184,3a
	DLS	272,8	176,6	209,9	129,0	169,5	221,7	196,6a
	BIO	236,3	175,9	216,2	126,9	170,0	171,5	182,8a
	COMP	237,6	118,4	165,1	108,1	120,0	160,2	151,6b

[1]Todos os tratamentos receberam 140 kg N-total ha^{-1} distribuídos na superfície do solo em dose única no pré-plantio do milho, com exceção do CTR; ns: não significativo pelo teste Tukey (p>0,05); Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05) na comparação dos sistemas de preparo de solo; Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05) na comparação das fontes de nitrogênio.

Resultados semelhantes se verificam quanto à produtividade de grãos de milho. Na comparação entre as diferentes fontes de N, verificaram-se diferenças significativas entre os tratamentos em quatro das seis safras, assim como na média dos seis anos de avaliação. Na primeira safra, a maior taxa de mineralização da matéria orgânica do solo recém convertido para agricultura com aração e gradagem pode ter aumentado a disponibilidade de N no solo (Wuaden et al., 2023; 2020), suprimindo as diferenças entre as diferentes fontes de N testadas naquele estudo. Já a safra 2015-2016 foi caracterizada por forte restrição hídrica, que reduziu a produtividade do milho e pode explicar a ausência de respostas da cultura à adubação. De qualquer maneira, as maiores produtividades de grãos foram observadas consistentemente nos tratamentos DLS, UR e BIO, variando entre 9,0 e 9,7 Mg ha^{-1} na média das seis safras. O tratamento COMP apresentou produtividade intermediária (8,1 Mg ha^{-1}), não diferindo das áreas adubadas com BIO e sem adubação (CTR).

Na Tabela 3, observa-se os indicadores de eficiência de uso de N pelo milho (Baligar et al., 2001) determinados para os fertilizantes UR, DLS, BIO e COMP. A EAN indica o ganho de produtividade de grãos de milho em função da quantidade de N aportada ao solo pelos fertilizantes testados. Neste estudo, verifica-se que para cada 1 kg ha^{-1} de N total aportado ao solo na forma de DLS, UR e BIO houve um ganho de produtividade de 10 até 15 kg ha^{-1} de grãos de milho, sem diferenças entre os tratamentos. Já para o COMP, a EAN foi de apenas 3,6 kg kg^{-1}, apenas 24 a 36% da eficiência observada para os demais tratamentos. Já a RAN estima quanto do aumento no acúmulo de N pelas plantas de milho foi devido ao aporte de N ao solo pelos fertilizantes testados. De maneira similar, os maiores valores de RAN foram observados nos tratamentos DLS, UR e BIO, variando de 30,0 a 39,9%. O tratamento COMP apresentou a menor RAN, de apenas 7,7% da quantidade de N adicionada ao solo na forma de composto orgânico.

O Manual..., (2016) sumariza índices de eficiência agronômica de 0,8 e 0,2 para o N presente nos dejetos líquidos de suínos e composto de dejetos de suínos, respectivamente, obtidos a partir da compilação de diversos estudos realizados no Sul do Brasil. Estes valores indicam que, em média, pode-se esperar que 80 e 20% da quantidade total de N presente nestes adubos orgânicos serão disponibilizados para a cultura a ser adubada no primeiro cultivo após a aplicação do adubo ao solo. Assim, estabelecida a demanda de N pela cultura a ser adubada, deve-se aumentar a dose de N aplicada via DLS e COMP em 25 e 400%, de modo a se fornecer às plantas a mesma quantidade de N disponível que seria disponibilizada caso fossem utilizados fertilizantes 100% solúveis, como os minerais.

Ocorre que os índices de eficiência agronômica estabelecidos pelo Manual..., (2016) foram baseados em estudos que compararam, na sua grande maioria, diferentes práticas de adubação entre os adubos orgânicos e os fertilizantes minerais. Normalmente, estes estudos compararam a aplicação superficial do DLS e COMP em dose única e superficial no pré-plantio das culturas, enquanto que os fertilizantes minerais foram aplicados de forma parcelada entre o plantio e uma ou mais aplicações em cobertura da cultura a ser adubada. A aplicação parcelada de N é uma estratégia de adubação recomendada por aumentar o sincronismo entre a disponibilidade de N no solo e as fases de maior taxa de absorção de N pelas culturas agrícolas, especialmente as gramíneas. Schirmann et al. (2013) demonstraram que a aplicação parcelada de DLS elevou o acúmulo de N pelas plantas de milho para valores similares ao milho adubado com ureia em aplicações parceladas durante o ciclo da cultura.

Desta maneira, é de se esperar que, quando as práticas de adubação são as mesmas, a EAN e RAN de N para o DLS e BIO se aproximem dos valores observados para a UR. Desta maneira, nossos resultados indicam que, sob estas condições de práticas similares de aplicação, o DLS e BIO podem

Tabela 3. Eficiência agronômica (EAN) e recuperação aparente (RAN) de nitrogênio pelo milho adubado com diferentes fontes de nitrogênio em um Nitossolo de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. UR: ureia, DLS: dejeto líquido de suínos armazenado em esterqueiras, BIO: dejeto líquido de suínos tratado por biodigestão, COMP: dejeto líquido de suínos tratado por compostagem.

Indicadores	Tratamentos[1]			
	UR	DLS	BIO	COMP
Eficiência agronômica de N (kg kg^{-1})	10,7a	15,0a	10,0a	3,6b
Recuperação aparente de N (%)	31,1a	39,9a	30,0a	7,7b

[1]Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p>0,05$) na comparação das fontes de nitrogênio.

substituir de maneira equivalente os fertilizantes minerais, considerando-se os valores similares de EAN e RAN observados neste estudo. Já para o COMP, devido à elevada recalcitrância do material demonstrada pela sua baixa taxa de decomposição no solo (Grave et al., 2015), a grande proporção de N na forma orgânica (Tabela 1) e a menor RAN (Tabela 3) deste adubo orgânico, calcula-se que para se fornecer a mesma quantidade de N disponibilizada pelos demais fertilizantes testados neste estudo deveria ser aumentada a taxa de aplicação do COMP em 337%, em média. Este resultado indica uma eficiência agronômica de 0,23, valor próximo ao estabelecido e calculado pela metodologia do Manual..., (2016). Considerando estes resultados e observando que o COMP tem elevado potencial para recuperar os estoques de matéria orgânica do solo (Grave et al., 2015; Wuaden et al., 2023; 2020), este adubo orgânico deve ser posicionado preferencialmente como um insumo para recuperação de solos degradados do que como fonte de nutrientes para as culturas agrícolas.

Estudo II - fontes de N e forma de aplicação dos dejetos de suínos

Neste estudo, houve resposta à adubação em termos de produtividade e acúmulo de N pelo milho em todas as safras avaliadas (Tabela 4). Na média das três safras, verificou-se que as maiores produtividades de milho foram observadas nos tratamentos sob adubação mineral (UR) e aplicação dos dejetos líquidos de suínos injetados no solo (DLSI). O tratamento com aplicação superficial de dejeto (DLS) teve produtividade intermediária e inferior aos tratamentos UR e DLSI, mas superior às áreas sem adubação (CTR). Resultados similares foram observados quanto ao acúmulo de N nos grãos e biomassa do milho, com os maiores valores sendo observados nos tratamentos UR, DLSI e DLS, que não diferiram entre si na média das três safras.

A EAN foi similar entre os tratamentos UR e DLSI, alcançando valores de 25,0 e 21,9 kg kg^{-1}, respectivamente (Tabela 5). Porém, a EAN foi inferior no tratamento DLS (12,3 kg kg^{-1}), indicando menor eficiência de uso do N quando aplicado na superfície do solo. A RAN apresentou comportamento similar, sendo superior no tratamento UR (42,7%), intermediário no tratamento DLSI (33,4%) e inferior no tratamento DLS (22,1%). Estes resultados corroboram estudos anteriores que relataram menor produtividade e eficiência de uso de N dos DLS aplicados em dose única na superfície do solo no pré-plantio do milho em comparação com os fertilizantes minerais

Tabela 4. Produtividade de grãos e acúmulo de nitrogênio pelo milho cultivado sob plantio direto e adubado com diferentes fontes de nitrogênio e métodos de aplicação de dejetos em um Nitossolo de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. CTR: controle sem adubação, UR: ureia aplicada na superfície do solo, DLS: dejeto líquido de suínos armazenado em esterqueira e aplicado na superfície do solo, DLS_I: dejeto líquido de suínos armazenado em esterqueira e injetado no solo.

Tratamentos	Safra			Média
	2012	2013	2018	
Produtividade de grãos de milho				
	---------- Mg ha^{-1} ----------			
CTR	6,8b	9,2b	3,3b	6,4c
UR[1]	10,4a	12,9a	6,9a	10,1a
DLS[2]	7,9ab	10,2ab	6,9a	8,3b
DLSI[3]	11,1a	10,9ab	8,0a	10,0a
Acúmulo de nitrogênio nos grãos e biomassa do milho				
	---------- kg ha^{-1} ----------			
CTR	119,9b	154,2b	53,0b	109,1b
UR	172,7ab	260,5a	81,8ab	171,7a
DLS	35,0ab	187,0b	109,6a	143,9a
DLSI	186,5a	200,5b	108,0a	165,0a

[1] Em 2012 e 2013, foram aplicados 148 kg N ha^{-1} distribuídos 30% no pré-plantio e o restante em duas aplicações em cobertura do milho, todas na superfície do solo. Em 2018, foram aplicados 140 kg N ha^{-1} distribuídos na superfície do solo no pré-plantio do milho. [2] Em 2012 e 2013, foram aplicados 185 kg N-total ha^{-1} distribuídos na superfície do solo no pré-plantio do milho. Em 2018, a dose utilizada foi de 140 kg N-total ha^{-1} distribuídos na superfície do solo no pré-plantio do milho. [3] Em 2012 e 2013, foram aplicados 185 kg N-total ha^{-1} injetados no em linhas espaçadas 35 cm no solo no pré-plantio do milho. Em 2018, a dose utilizada foi de 140 kg N-total ha^{-1} injetados no em linhas espaçadas 35 cm no solo no pré-plantio do milho. ns: não significativo pelo teste Tukey (p>0,05); Médias seguidas pelas mesmas letras na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05) na comparação das fontes de nitrogênio e métodos de aplicação..

com aplicação parcelada (Schirmann et al., 2013). Este fato fica ainda mais claro quando se observa os dados das safras 2012 e 2013, quando a produtividade de grãos de milho no tratamento DLS foi cerca de 78% da observada no tratamento UR, mesmo com um aporte de N 25% superior no tratamento DLS, conforme preconizado pelo Manual..., (2016). Já na safra de 2018, os tratamentos UR e DLS tiveram a mesma produtividade quando foram utilizadas doses equivalentes de N total e mesma prática de aplicação em superfície e dose única. Na média das três safras, a eficiência do DLS aplicado

Tabela 5. Eficiência fisiológica, eficiência agronômica e recuperação aparente de nitrogênio pelo milho adubado com diferentes fontes de nitrogênio em um Nitossolo de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. UR: ureia aplicada na superfície do solo, DLS: dejeto líquido de suínos armazenado em esterqueira e aplicado na superfície do solo, DLS_I: dejeto líquido de suínos armazenado em esterqueira e injetado no solo.

Indicadores	Tratamentos[1]		
	UR	DLS	DLSI
Eficiência agronômica de N (kg kg^{-1})	25,0a	12,3b	21,9a
Recuperação aparente de N (%)	42,7a	22,1c	33,4b

[1]Médias seguidas pelas mesmas letras na mesma linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p>0,05) na comparação das fontes de nitrogênio e métodos de aplicação.

em superfície foi de apenas 50% da UR na média dos dois indicadores avaliados.

A injeção dos dejetos no solo aumentou em 78 e 51% da EAN e RAN no tratamento DLSI em comparação ao tratamento DLS com aplicação dos dejetos em superfície. Estudo anterior também relatou incremento de 55% na RAN amoniacal quando os dejetos líquidos de suínos foram injetados no solo em comparação à sua aplicação superficial na cultura do milho (Gonzatto et al., 2016). Esta maior eficiência se deve principalmente à redução das perdas de N por volatilização de amônia do solo pela injeção dos dejetos em comparação à aplicação superficial (Aita et al., 2014). Devido a esta maior eficiência, o uso da injeção (DLSI) promoveu o incremento da produtividade de grãos de milho para valores comparáveis aos da adubação mineral (UR).

Conclusões

Quando empregadas as mesmas práticas de adubação, os dejetos líquidos de suínos armazenados em esterqueiras e os dejetos de suínos tratados por biodigestão têm índices de eficiência agronômica similares aos fertilizantes minerais, como a ureia, podendo substituí-los como fontes de N para as culturas agrícolas com recomendações de adubação baseadas em 100% de disponibilidade dos seus conteúdos de N total. No entanto, o composto orgânico produzido pelo tratamento por compostagem de dejetos líquidos de suínos e mistura com substrato formado por serragem ou maravalha tem baixa eficiência agronômica, com aproximadamente 20% do seu conteúdo de N total disponível para fins de recomendação de adubação. A injeção dos dejetos líquidos de suínos (armazenados em esterqueiras) no solo promoveu o incremento de aproximadamente 50% na recuperação aparente de N pelo milho em comparação aos dejetos aplicados em superfície, sendo alternativa para se aumentar a eficiência agronômica deste adubo orgânico, mesmo quando aplicado no pré-plantio do milho.

Recomendações técnicas

Considerando os resultados obtidos nos dois estudos descritos neste documento, fazemos as seguintes recomendações técnicas para uso dos dejetos líquidos de suínos armazenados em esterqueiras, dejetos de suínos tratados por biodigestão e composto orgânico de dejetos de suínos na adubação das culturas agrícolas:

- O índice de eficiência agronômica de 80% para os dejetos líquidos de suínos (Manual..., 2016) deve ser empregado no cálculo da dose de adubação nitrogenada quando houver a aplicação do mesmo na superfície do solo e em dose total no pré-plantio das culturas agrícolas.
- Quando os dejetos líquidos de suínos armazenados em esterqueiras ou tratados por biodigestão forem aplicados ao solo utilizando estratégias de adubação recomendadas para os fertilizantes minerais, tais como a adubação parcelada no pré-plantio e em cobertura, o cálculo da dose de adubação nitrogenada deve considerar o índice de eficiência agronômica de 100% para estes adubos orgânicos.
- A injeção no solo deve ser adotada como tecnologia de aplicação preferencial para os dos dejetos líquidos de suínos de modo a se aumentar a eficiência de uso de nitrogênio pelas culturas agrícolas.
- Considerando a baixa eficiência agronômica do composto orgânico de dejetos de suínos de 20% para o nitrogênio (Manual..., 2016), recomenda-se a utilização deste adubo

orgânico preferencialmente para a recuperação dos estoques de matéria orgânica de solos degradados, contribuindo apenas secundariamente como fonte de nutrientes para as culturas agrícolas.

Referências

AITA, C.; GONZATTO, R.; MIOLA, E. C. C.; DOS SANTOS, D. B.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, D. A.; GIACOMINI, S. J. Injection of dicyandiamide-treated pig slurry reduced ammonia volatilization without enhancing soil nitrous oxide emissions from no-till corn in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 43, p. 789-800, May 2014. Doi: https://doi.org/10.2134/jeq2013.07.0301.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. ed. Washington, DC: APHA-AWWA-WEF, 1998.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient Use Efficiency in Plants. Communications in Soil Science and Plant **Analysis**, v. 32, p. 921-950, 2001. Doi: https://doi.org/10.1081/CSS-100104098

GONZATTO, R.; CHANTIGNY, M. H.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; PUJOL, S. B.; ZIRBES, E.; DE BASTIANI, G. G.;LUDKE, R. C. Injection and nitrification inhibitor improve the recovery of pig slurry ammonium nitrogen in grain crops in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 978-988, 2016. Doi: https://doi.org/10.2134/agronj2015.0462

GRAVE, R. A.; NICOLOSO, R. da S.; CASSOL, P. C.; AITA, C.; CORREA, J. C.; DALLA COSTA, M.; FRITZ, D. D. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 184-192, 2015. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.010.

MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

RECH, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; MAFRA, A. L.; BORTOLINI, D. Injection of liquid swine slurry and effects on properties of a Nitossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 4, p. 518-521, abril 2018. Doi: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000400014.

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; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHIRMANN, J.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, D. A.; GONZATTO, R.; OLIVO, J. Inibidor de nitrificação e aplicação parcelada de dejetos de suínos nas culturas do milho e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 271–280, 2013. https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100028

SILVA, F. C. da (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de (ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2ª edição Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 333 p. Doi: https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3.

WUADEN, C. R.; NICOLOSO, R. DA S.; CASSOL, P. C.; MATIAS, C. A.; PAWEUKIEVICZ, L. Carbon and nitrogen stocks in a Rhodic Nitisol under different tillage methods and mineral and organic fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 47, p. 1–17, 2023. Doi: https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230041

WUADEN, C. R.; NICOLOSO, R. da S.; BARROS, E. C.; GRAVE, R. A. Early adoption of no-till mitigates soil organic carbon and nitrogen losses due to land use change. **Soil & Tillage Research**, v. 204, 2020. Doi: https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104728.

Embrapa Suínos e Aves
Rodovia BR 153 - Km 110
Caixa Postal 321
89.715-899, Concórdia, SC
https://www.embrapa.br/suinos-e-aves
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Franco Muller Martins*

Secretário-executivo: *Tânia Maria Biavatti Celant*

Membros: *Clarissa Silveira Luiz Vaz, Catia Silene Klein, Gerson Neudi Scheuermann, Jane de Oliveira Peixoto e Joel Antônio Boff*

Comunicado Técnico 622
ISSN 0100-8862
Agosto, 2024

Revisão de texto: *Jean Carlos Porto Vilas Boas Souza*

Normalização bibliográfica: *Claudia Antunez Arrieche* (CRB-14/880)

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Vivian Fracasso*

Publicação digital: PDF

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA

Todos os direitos reservados à Embrapa.