

LUIZ PAULO RAUBER

**TEORES DE NITROGÊNIO NO SOLO E VOLATILIZAÇÃO DE
AMÔNIA APÓS INJEÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E
USO DE INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ciências Agrárias da Universidade do Estado
de Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Dr.Álvaro Luiz Mafra

LAGES, SC

2015

R239t Rauber, Luiz Paulo

Teores de nitrogênio no solo e volatilização de amônia após injeção de dejetos líquidos de suínos e uso de inibidor de nitrificação / Luiz Paulo Rauber. - Lages, 2015.

115 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Álvaro Luiz Mafra

Inclui bibliografia.

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Lages, 2015.

1. Diclanodiamida. 2. Esterco suíno. 3. Nitrogênio mineral. I. Rauber, Luiz Paulo. II. Mafra, Álvaro Luiz. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

CDD: 631.422 - 20.ed.

LUIZ PAULO RAUBER

TEORES DE NITROGÊNIO NO SOLO E VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA APÓS INJEÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E USO DE INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca Examinadora

Orientador/Presidente:	Dr. Álvaro Luiz Mafrá (UDESC – Lages-SC)
Co-orientador:	Dr. Luciano C. Gatiboni (UDESC – Lages-SC)
Membro externo:	Dr ^a . Sandra A. Antonini Agne (IFSC – Chapecó-SC)
Membro externo:	Dr. Rodrigo da S. Nicoloso (EMBRAPA – Concórdia-SC)
Membro interno:	Dr ^a . Andréia Patrícia Andrade (UDESC – Lages-SC)
Membro interno:	Dr. Fabrício T. Barbosa (UDESC – Lages-SC)

Lages, SC, 02/02/2015

À meus pais e a minha esposa,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente a oportunidade divina que me foi dada.

Aos meus queridos pais, por todo o esforço, dedicação e pelas sábias palavras que sempre foram e são colocadas nos momentos certos.

Aos professores orientadores Álvaro Luiz Mafra, Luciano Colpo Gatiboni e Paulo Cesar Cassol, pela confiança e pelos inúmeros auxílios durante este período.

Aos amigos e colegas que sempre estiveram juntos em algum momento desta empreitada, Myrcia, Ana, Augusto, Walter, Daniel, Andréia, Ana Claudia, Carmem, Ariane, Rita, Gilson, Lele, Paulinha, Sueli e os inúmeros outros colaboradores, os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço especialmente aos bolsistas que colaboraram durante a condução do trabalho, Ana Carolina, Myrcia, Augusto e Walter e ao colega de trabalho Daniel.

À UDESC- CAV e ao Programa de Pós – Graduação em Ciências Agrárias, a todos os professores e funcionários.

À CAPES pela bolsa concedida e ao CNPq pela disponibilidade de recurso financeiro para a execução desse trabalho.

Aos colegas da UFSM, Alexandre Doneda e Rogério Gonzatto pelo auxílio nas instalações dos experimentos.

Aos pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves, Juliano C. Correa e Rodrigo da S. Nicolosso, pelos ensinamentos e troca de informações.

Ao prof. André Brandt pelo auxílio na disponibilidade da área experimental e na condução do experimento.

Ao agricultor Gilson Manfroi e seus funcionários, pelo auxílio inicial na condução do experimento no distrito de Santa Terezinha do Salto.

A minha esposa Alessandra, pelo apoio, carinho e dedicação para conquistar essa nova etapa.

Cada etapa deste trabalho só se concretizou com o auxílio de todos vocês!

A todos, sou infinitamente grato! Muito obrigado!

RESUMO

Estratégias para melhorar o aproveitamento dos nutrientes e redução do impacto ambiental do dejetos líquido de suínos (DLS) podem valorizar o uso deste resíduo no solo, principalmente na região Sul do Brasil. Diante disso, estudos foram realizados com o objetivo de avaliar as transformações do N no sistema solo-atmosfera. Inicialmente dois estudos foram conduzidos, com dejetos líquido de suínos em sistema de plantio direto, testando a injeção ao solo e uso de inibidor da nitrificação (DCD). O estudo I foi conduzido em um Nitossolo Bruno e em um Cambisolo Húmico Alumínico em Lages/SC. Os tratamentos foram estruturados em um fatorial 2x5 dispostos em um delineamento blocos casualizados com quatro repetições. O fator “A” foi forma de aplicação de DLS com dois níveis (1-injetado; 2- superfície), e o fator “B” foram tipos de fertilizantes (1- Uréia; 2- Uréia+DCD; 3- dejetos líquido de suíno (DLS); 4- DLS+DCD; 5- Controle sem fertilizante). Os tratamentos foram aplicados aos solos com cultivo de milho nas safras 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 e de trigo na safra 2013. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em cada parcela. As avaliações no solo foram realizadas em dias alternados após a aplicação dos fertilizantes e constaram do teor de N-mineral (NH_4^+ e NO_3^-). No estudo II, conduziu-se um experimento em condições controladas, a fim de se avaliar a volatilização de amônia, com aplicação de DLS. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial 4 x 2 x 2 x 2 com três repetições. O fator “A” foi o tipo de fertilizante: testemunha, ureia, dejetos líquido de suínos (DLS) e DLS + inibidor de nitrificação; o fator “B” foi o tipo de solo: arenoso e argiloso; o fator “C” foi a condição de pH: natural e corrigido; o fator “D” foi a forma de aplicação dos fertilizantes: Injetado e superficial. A dose de DLS aplicado foi de $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, a DCD

foi de 10 kg ha⁻¹, sendo que todos os tratamentos adubados adicionaram a dose equivalente a 130 kg ha⁻¹ de N. As avaliações constaram da volatilização de amônia realizadas durante 14 dias após a aplicação dos fertilizantes e do teor de N-mineral no solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. No estudo I o uso de inibidor reduziu a nitrificação apenas da ureia, quando adicionado ao Nitossolo, enquanto que no Cambissolo, a adição do inibidor junto a ureia e ao DLS, foi eficiente no bloqueio na nitrificação nas três safras avaliadas nos primeiros dias de avaliação. A injeção dos fertilizantes mostrou teores de NH₄⁺ maiores que os de NO₃⁻, nas três safras avaliadas. No estudo II a DCD não aumentou a emissão de NH₃ quando misturada ao DLS aplicado. A injeção dos fertilizantes reduziu a volatilização de NH₃.

Palavras-chave: dicianodiamida, esterco suíno, nitrogênio mineral.

ABSTRACT

Strategies to improve the use of nutrients and reducing the environmental impact of pig slurry (DLS) can enhance the use of this residue in the soil, especially in southern Brazil. Therefore, studies were conducted to evaluate the transformations of N in the soil-atmosphere system. Initially two studies were conducted with pig slurry in no-till system, testing the injection to the ground and use of nitrification inhibitor (DCD). The study was conducted in a I Hapludox Bruno and a Aluminic Humic Cambisol in Lages / SC. Treatments were structured in a 2x5 factorial arranged in a randomized block design with four replications. The factor "A" was as DLS application with two levels (1-injected; 2 surface) and "B" types of fertilizers have been factor (1- Urea, Urea + DCD 2-, 3- slurry of pig (DLS); 4- DLS + DCD; 5- Control without fertilizer). Treatments were applied to soils with corn crops cultivation in 2011/2012, 2012/2013 and 2013/2014 and wheat harvest in 2013. The samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm in each plot. The reviews on the ground were performed on alternate days after the application of fertilizers and consisted of mineral N content (NH_4^+ and NO_3^-). In Study II, an experiment was conducted under controlled conditions in order to evaluate the ammonia volatilization, applying DLS. The experimental design was completely randomized with a factorial $4 \times 2 \times 2 \times 2$ with three replications. The factor "A" was the type of fertilizer: control, urea, pig slurry (DLS) and DLS + nitrification inhibitor; the factor "B" was the type of soil: sandy and clay; "C" factor was the pH condition, natural and corrected; "D" factor was the form of fertilizer application: Injected and superficial. The dose of DLS applied was $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, DCD was 10 kg ha^{-1} , and all the fertilized ones added dose equivalent to 130 kg ha^{-1} of N. The evaluations consisted of ammonia volatilization held 14

days after the application of fertilizers and mineral N content in the soil. The results were submitted to analysis of variance and comparison of means by Tukey test at 5% probability. In study I inhibitor reduced the use of nitrification of urea alone, when added to Hapludox Cambisol while in the addition of the inhibitor from DLS and the urea was efficient in blocking the nitrification evaluated in three crops in early assessment . The injection of fertilizers in the NH_4^+ showed higher levels than those of NO_3^- in the three crop seasons. In Study II DCD did not increase the emission of NH_3 when mixed with applied DLS. The injection of fertilizers reduced volatilization of NH_3 .

Keywords: dicyandiamide, pig manure, mineral nitrogen.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo I

Figura 1 - Efeito principal para o tipo de fertilizante, modo de aplicação e profundidade para os teores de amônio e nitrato, dias após a adubação, num Nitossolo na safra 2011/2012, na camada de 0-20cm.....59

Figura 2 - Efeito principal para o tipo de fertilizante referente aos teores de amônio e nitrato, para as safra 2012/2013, 2013 e 2013/2014, observados dias após a adubação juntamente com a umidade gravimétrica do solo (%), num Cambissolo Húmico Alumínico, na camada de 0-20 cm.
.....**Err
o! Indicador não definido.**

Figura 3- Efeito principal para o modo de aplicação, referente aos teores de amônio e nitrato, para as safra 2012/2013, 2013 e 2013/2014, observados dias após a adubação, juntamente com a umidade gravimétrica do solo (%), em um Cambissolo Húmico Alumínico, na camada de 0-20 cm.
.....**Err
o! Indicador não definido.**

Figura 4- Efeito principal da profundidade do solo, referente aos teores de amônio e nitrato, para as safra 2012/2013, 2013 e 2013/2014, observados dias após a adubação, juntamente com a umidade gravimétrica do solo (%), em um Cambissolo Húmico Alumínico.....68

Artigo II

Figura 1 - Temperatura mínima, máxima e média ocorridas durante o período de condução do experimento, sob condições controladas.85

Figura 2 - Efeito principal do tipo de fertilizantes, modo de aplicação, e pH sobre a emissão de NH_3 (mg kg^{-1}) em um Nitossolo Vermelho Eutrófico e num Argissolo Vermelho Amarelo durante 14 dias de avaliação. A barra vertical representa a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (5%).89

Figura 3 - Fluxo de N-NH_3 volatilizado acumulado (mg kg^{-1}) num Nitossolo após adição de fertilizantes, em dois modos de e duas condições de pH. A barra vertical representam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (5%).93

Figura 4 - Fluxo de N-NH_3 volatilizado acumulado (mg kg^{-1}) num Argissolo após adição de fertilizantes, em dois modos de aplicação e duas condições de pH. A barra vertical representa a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (5%). ...96

LISTA DE TABELAS

Artigo I

Tabela 1 - Valores de precipitação pluviométrica acumulada (mm) e temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) verificadas no período de amostragem de solo.53

Tabela 2 - Composição do dejetos líquido de suínos expressos em base úmida e teores de nutrientes aplicados na safra 2011/2012 sobre um Nitossolo e nas safras 2012/2013, 2013 e 2013/2014, sobre um Cambisol.55

Tabela 3 - Interação entre o modo de aplicação com tipo de fertilizante, para os teores de amônio e nitrato, 28 dias após a adubação, sobre um Nitossolo na safra 2011/2012.60

Tabela 4 - Interação entre modo de aplicação com tipo de fertilizante, para os teores de amônio e nitrato (mg kg^{-1}), dias após a adubação (1 e 8 dias), em um Cambissolo Húmico Alumínico na safra de milho 2012/2013.[70](#)

Tabela 5- Interação entre o modo de aplicação com tipo de fertilizante, para os teores de amônio, nos dias após a adubação, na safra de trigo 2013 e milho 2013/2014, sobre um Cambissolo Húmico Alumínico. (Continua).....71

Artigo II

Tabela 1 - Interação entre tipo de fertilizantes x modo de aplicação, sobre os teores de amônia ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) emm Nitossolo Vermelho Eutrófico, no 2º, 3º e 6º dias e em um Argissolo Vermelho Amarelo, no 2º dia após a adição dos fertilizantes.91

Tabela 2 - Interação entre tipo de fertilizantes (ureia, DLS, DLS+DCD e testemunha) com pH (natural e corrigido), sobre os teores de amônia ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) em um Nitossolo Vermelho Eutrófico, no 3º e 6º dias e em um Argissolo Vermelho Amarelo, no 3º, 4º, 8º e 11º dias após a adição dos fertilizantes.92

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	29
2REVISÃO DE LITERATURA	31
2.1 CENÁRIO PRODUTIVO DA SUINOCULTURA	31
2.2 POTENCIAL POLUENTE	32
2.3 ALTERNATIVAS MITIGATÓRIAS PARA O USO AGRÍCOLA DOS DEJETOS SUÍNOS.....	33
2.4 UTILIZAÇÃO DOS DEJETOS COMO FONTE DE NUTRIENTES	35
3HIPÓTESES	45
4OBJETIVO GERAL	46
5OBJETIVO ESPECÍFICO.....	47
6 ARTIGO I.....	48
6.1 INTRODUÇÃO	50
6.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
6.4 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS.....	73
7 ARTIGO II.....	80
7.1 INTRODUÇÃO	82
7.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	83
7.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	86
7.4 CONCLUSÃO.....	99

REFERÊNCIAS	100
10 APÊNDICES	108
APÊNDICE A	108
APÊNDICE B.....	109
APÊNDICE C.....	111
APÊNDICE D	113
APÊNDICE E	114
APÊNDICE F	115

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura desenvolvida no Brasil possui grande importância socioeconômica, notadamente em Santa Catarina, como fonte de renda e trabalho para comunidades rurais e urbanas do interior do país. A modernização dos sistemas de criação de suínos nos últimos anos no Brasil levou à intensificação e concentração dos animais em pequenas áreas, visando à redução dos custos de produção e o aumento na produção de carne. Entretanto, a produção de suínos gera expressivo volume de dejetos líquidos de alto potencial poluente, concentrando-se em regiões, com propriedades rurais baseadas em sistema de produção confinado, localizadas, na maioria dos casos, em área com relevo acidentado e pouca área agricultável, resultando em grande quantidade de dejetos em pequenas áreas.

Embora os dejetos suínos possam ser utilizados como fonte de nutrientes às culturas, especialmente devido ao seu conteúdo em nitrogênio, apresentam alto potencial poluidor, devido a forma e frequência de disposição e pela quantidade aplicada.

A expansão sustentável desta atividade depende de alternativas tecnológicas que minimizem o impacto ambiental negativo provocado pelos dejetos gerados. Nesse contexto, a mitigação dos impactos negativos do descarte final do dejetos líquidos de suíno (DLS) ao ambiente, demanda novos processos, práticas e tecnologias que tornem esse material um fertilizante orgânico seguro para o uso na agricultura.

Diante deste cenário a pesquisa tem concentrado esforços para reduzir o impacto dos dejetos de animais sobre as perdas de N para o ambiente, onde se buscam novas tecnologias para mitigar os efeitos poluidores e para seu melhor aproveitamento agrônômico, dentre as quais, se tem avaliado a Injeção no solo para reduzir as perdas por volatilização de amônia e o uso de inibidor de nitrificação

adicionado no momento da aplicação dos dejetos para reduzir as emissões de óxido nitroso e lixiviação de nitrato.

O presente trabalho insere-se nesse contexto, visando avaliar esses aspectos supracitados, com vistas a validar a utilização da estratégia de uso agrícola de dejetos líquido de suínos e difundir a adoção dessas novas tecnologias entre os suinocultores, mitigando o potencial poluidor dessa atividade agropecuária.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CENÁRIO PRODUTIVO DA SUINOCULTURA

Atividade com significativa importância no setor agropecuário brasileiro, a suinocultura, destaca o país entre os principais produtores, exportadores e consumidores de carne suína do mundo, estando esta atividade concentrada principalmente nos estados da região Sul (IBGE, 2014). Nesta região, a atividade é praticada principalmente em áreas com relevo acidentado, e sob sistema de confinamento intensivo dos animais em todas as fases do ciclo produtivo, exigindo a higienização frequente das instalações, resultando em alto consumo de água e na geração de grande volume de dejetos. Considerando a produção média de dejetos por suíno em fase de terminação, de 7 litros de dejetos dia^{-1} (Konzen et al., 1997), o rebanho da região Sul do Brasil produz em torno de 130 mil m^{-3} de dejetos dia^{-1} , para os quais é necessário um destino adequado.

Segundo a Associação Catarinense de Criadores de Suínos (ACCS, 2013), a importância da suinocultura, consiste não só no grande contingente de produtores envolvidos, como também, no volume de empregos diretos e indiretos. Atualmente, de Santa Catarina é maior produtor de suínos do país, seguido do Rio Grande do Sul e Paraná, com um plantel de 6,2 milhões de animais, localizado 80% na região oeste, 7% na região sul e 13% nas demais regiões, garantindo assim índices de produtividade responsável por 25% da produção nacional, que é de 2,7 milhões de toneladas/ano; produz 0,7% da produção mundial; participa com 28% das exportações brasileiras.

2.2 POTENCIAL POLUENTE

Quando doses excessivas de dejetos são aplicadas ao solo, parte do N não é absorvida pelas plantas, o que pode saturar a capacidade de suporte do solo em receber N (Luo et al., 2013). Como consequência, o N que não foi absorvido, fica suscetível a perdas para a atmosfera via emissão de amônia (NH_3), dinitrogênio (N_2) e óxidos de N (NO_x), incluindo o óxido nitroso (N_2O), que é considerado um dos principais gases de efeito estufa (GEE) (Cerri et al., 2010). Além das emissões gasosas, o N excedente pode ser lixiviado ou transportado pela água de escoamento como amônio (NH_4^+) e, principalmente, como nitrato (NO_3^-).

Alguns aspectos inerentes aos dejetos líquidos de suínos contribuem para o seu elevado potencial poluidor, relativamente ao N, quando esses são utilizados como fertilizantes. O primeiro aspecto está ligado à dieta altamente proteica dos animais, o que implica na produção de dejetos (fezes + urina) com teor elevado de N. O segundo está ligado à forma como os dejetos são armazenados até a sua aplicação no campo, com predominância de esterqueiras anaeróbicas. Nesses ambientes, a deficiência de oxigênio (O_2) limita a ação das bactérias nitrificadoras, o que resulta no acúmulo de N na forma amoniacal. Ao analisarem diversas amostras de dejetos líquidos de suínos Mooleki et al., (2002) constaram que em média 60% do N total dos dejetos estavam na forma amoniacal. Já o terceiro aspecto a ser destacado é a rápida oxidação desse N amoniacal dos dejetos até NO_3^- pelas bactérias nitrificadoras, após sua aplicação no solo (Aita et al., 2007).

Destaca-se também a volatilização de NH_3 que contribui para as emissões indiretas de N_2O (Zaman et al., 2010), e pode prejudicar a saúde humana (Gay e Knowlton, 2009), produzir chuva ácida (Zaman et al., 2009) e, após sua deposição, pode levar à eutrofização de ecossistemas aquáticos e acidificação do solo (Ndegwa et al., 2008). Além de poluírem

o ambiente, as emissões gasosas de N, tanto na forma de NH_3 como de N_2O , reduzem o potencial fertilizante dos dejetos, como fonte de N às plantas resultando em prejuízo econômico.

Sabe-se que o aumento das emissões de N_2O é atribuído ao fato de os dejetos estimularem a atividade microbiana do solo pela adição de N e carbono (C) orgânico de fácil oxidação, além da adição de quantidades elevadas de líquidos (Chadwick et al., 2001).

Além disso, a disposição intensiva de dejetos de suínos pode acumular outros nutrientes na camada superficial do solo, principalmente daqueles elementos com menor mobilidade, entre os quais P, Cu e Zn, o que pode potencializar sua transferência via escoamento superficial (Scherer et al., 2010).

2.3 ALTERNATIVAS MITIGATÓRIAS PARA O USO AGRÍCOLA DOS DEJETOS SUÍNOS

Algumas alternativas vêm sendo avaliadas a fim de reduzir as perdas de N decorrentes do uso dos dejetos de suínos.

No sistema convencional de manejo do solo, esses dejetos são aplicados ao solo e Injetados com as operações de preparo. Entretanto, esta forma de aplicação pode resultar em importantes perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (Smith et al., 2009) e de nutrientes por escoamento superficial.

Uma estratégia eficiente no controle da volatilização é a injeção dos dejetos no solo (Søgaard et al., 2002; Huijsmans et al., 2003). A injeção subsuperficial mostra-se uma alternativa eficiente no controle da volatilização de NH_3 , pois reduz a área de exposição dos dejetos à ação do sol e do vento em relação à sua aplicação na superfície do solo (Maguire et al., 2011; Dell et al., 2012).

Webb et al., (2010), verificaram que a Injeção dos dejetos no solo pode reduzir a volatilização de NH_3 em pelo menos 90 % em relação a aplicação superficial. Damasceno

(2010) ao injetar dejetos líquidos de suínos no solo, no cultivo de milho, em plantio direto, encontrou que essa prática reduziu em 27 vezes a emissão de NH_3 em relação à aplicação superficial dos dejetos.

Outra estratégia que apresenta potencial para reduzir o passivo ambiental decorrente do uso agrícola dos dejetos de suínos são os inibidores de nitrificação (IN), com destaque para a dicianodiamida (DCD) (Sanz-Cobeña et al., 2012; Schils et al., 2013). A DCD, também denominada de cianoguanidina, é uma amida orgânica cuja composição química é $\text{C}_2\text{N}_4\text{H}_4$, constituída da forma dimérica da cianamida, que possui solubilidade relativamente elevada em água (23 g L^{-1} a 13°C), contendo pelo menos 65% de N, não é higroscópica e nem volátil, sendo biodegradada no solo até CO_2 , NH_3 e H_2O (Singh et al., 2008).

Conforme revisão realizada por Subbarão et al., (2006), a descoberta do efeito inibitório da nitrificação pela dicianodiamida ocorreu por volta de 1920, e a partir de então tem sido um dos produtos mais usados para esse fim em outros países, com destaque para a Nova Zelândia (Moir et al., 2007; Zaman et al., 2009), tendo ação bacteriostática, inibindo o primeiro estágio da nitrificação, que consiste na oxidação de NH_4 para nitrito (NO_2), principalmente por *Nitrosomonas europaea* agindo especificamente sobre a enzima amônia monooxigenase, bloqueando o sítio ativo onde a amônia é convertida em nitrito. Com isso, ocorre também a redução na taxa de formação de NO_3^- . Quanto a permanência da dicianodiamida no solo, embora não haja um consenso na literatura, a temperatura tem sido relacionada como um dos principais fatores responsáveis pela degradação no solo e pela perda gradativa da sua eficiência na inibição da nitrificação (Kelliher et al., 2008).

Os efeitos positivos do inibidor de nitrificação ligados à inibição temporária da oxidação de NH_4^+ para NO_3^- são a redução da emissão de N_2O e da lixiviação de NO_3^- , dois dos

principais problemas ambientais decorrentes do uso agrícola dos dejetos de animais (Asing et al., 2008).

Resultados observados por Li et al., (2014), verificaram que a adição de DCD em esterco de gado adicionado a um solo na Nova Zelândia, diminui a emissão de N_2O . Hatch et al., (2005), relataram que a mistura de DCD com esterco de gado reduziu as emissões de N_2O em 96%.

Vallejo et al., (2005) na Espanha, verificaram que a injeção de DLS no solo, associada ao uso de DCD, foi eficiente em mitigar as emissões de N_2O . Esses autores encontraram redução de 83% nas emissões de N_2O quando combinaram DLS com DCD, comparadas somente à injeção dos dejetos. Di e Cameron et al., (2005) e Singh et al., (2009), verificaram a eficiência do DCD em reduzir as perdas de N por lixiviação de nitrato.

Estudos realizados por Zaman et al., (2009) e Zaman e Blennerhassett (2010), com dejetos de animais, constataram que a DCD aumentou a volatilização de NH_3 . No entanto, outros estudos não reportam efeito da DCD sobre a volatilização (Tao et al., 2008; Pujol, 2012).

Apesar dessa possibilidade de utilizar inibidor de nitrificação e a injeção subsuperficial do DLS como estratégias para reduzir o impacto ambiental, elas ainda não foram suficientemente avaliadas pela pesquisa, sobretudo para as condições do Sul do Brasil, onde predomina o uso dos dejetos em sistema de plantio direto.

2.4 UTILIZAÇÃO DOS DEJETOS COMO FONTE DE NUTRIENTES

O dejetos líquido de suínos tem sido usado em áreas de lavoura e pastagem como fonte de nutrientes, sendo importante na ciclagem dos mesmos dentro das próprias unidades de produção. O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são dois importantes

constituintes do dejetos sob o ponto de vista nutricional de plantas.

Atualmente, a utilização de dejetos líquidos de suínos como fertilizantes nas culturas ou como biofertilizante (Meade et al., 2011), constituindo boa alternativa para a disposição final desse material orgânico. Os dejetos líquidos, ao serem aplicados ao solo podem proporcionar rendimentos satisfatórios das culturas, substituindo parcialmente ou completamente a adubação mineral, e indiretamente fornecer carbono (C) ao sistema, contribuindo para o aumento da matéria orgânica do solo (Giacomini et al., 2009).

Estes, muitas vezes, são a única ou a mais importante fonte de nutrientes para as culturas em pequenas propriedades. Embora sejam conhecidas diversas alternativas para a reciclagem dos dejetos, sua utilização como fertilizante do solo é a mais adotada por ser de mais fácil operação nas propriedades rurais.

Nos dejetos de suínos são encontrados diversos macronutrientes e micronutrientes, com destaque para o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), sendo que o N, além de ser o nutriente presente em maior quantidade (Biau et al., 2012), encontra-se principalmente na forma amoniacal (N-NH_4^+) prontamente disponível às plantas, quando os dejetos são aplicados no campo. Entretanto, é preciso lembrar, que as espécies vegetais absorvem o N sob duas formas inorgânicas, como nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+).

No entanto, a falta de sincronismo entre a disponibilidade de N proveniente do dejetos e a demanda da cultura, é um problema que preocupa com relação ao uso do dejetos como fonte de N, porque cerca de 60% do N total do dejetos está na forma mineral. Aliado a isso, como geralmente a aplicação do dejetos ocorre antes da semeadura das culturas, se ocorrerem intensas precipitações pode haver movimentação vertical de NO_3^- no perfil do solo, principalmente durante os

estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, quando a demanda de N ainda é pequena (Basso et al., 2003).

Neste contexto, ao mesmo tempo em que promovem incremento na produção agrícola, os DLS podem representar importante fonte de contaminação ambiental, pois as formas de N-mineral no solo são passíveis de rápidos processos de transformação e o DLS pode passar de uma fonte de nutriente a um resíduo com reflexos ambientais econômicos negativos.

REFERENCIAS

ACCS. Associação Catarinense dos Criadores de Suínos. **Relatório Anual 2011**. Disponível em: <http://www.accs.org.br/index>. Acesso em: 12 de janeiro de 2014.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P. **Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42: 95-102, 2007.

ASING, J.; VERMA A. **Assessment of nitrogen losses from urea and garden galore with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide applied to lettuce under glasshouse conditions**. Australian Journal Soil Reseach, 46:535-541, 2008.

BASSO, C. J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**. 125f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BIAU, A. et al. **The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions**. European Journal Soil and Biology, 53:32-40, 2012.

CERRI, C. C. et al. **Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture**. Scientia Agrícola 67:102-116, 2010.

CHADWICK, D. et al. **Manure management: Implications for greenhouse gas emissions.** Animal Feed Sci. Techn., 166-167:514-531, 2011.

DAMASCENO, F. **Injeção de dejetos líquidos suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nitroso.** Santa Maria: UFSM, 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

DELL, C.J. et al. **Low-Disturbance manure incorporation effects on ammonia and nitrate loss.** Journal Environmental Quality, 41:928-937, 2012.

DI, H.J.; CAMERON, K.C. **How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures?** Soil Use Management, 28: 54-61, 2005.

GAY, S.W.; KNOWLTON, K.F. **Ammonia emissions and animal agriculture.** Virginia Cooperative Extension, Petersburg: Virginia State University, 2009. 5p. (Publication, 442-110)

GIACOMINI, S. J., et al. **Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:761-768, 2009.

HATCH, D. et al. **Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact of diurnal temperature cycle.** *Biology and Fertility of Soils*, 41:225-232, 2005.

HUIJSMANS, J.F.M.; HOL, J. M. G.; VERMEULEN, G.G. **Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land.** *Atmospheric Environment.*, 37:3669-3680, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Efetivo de suínos.** Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2014.

KELLIHER, F.M. et al. **The temperature dependence of dicyandiamide (DCD) degradation in soils: A data synthesis.** *Soil Biology Biochemistry*. 40:1878–1882, 2008.

KONZEN, E.A. et al. **Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho.** Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 31 p. (Circular Técnica, 25).

LI, J. et al. **Use of nitrogen process inhibitors for reducing gaseous nitrogen losses from land-applied farm effluents.** *Biology and Fertility of Soils*, 50:133-145, 2014.

LUO, J.; LEDGARD, S. F.; LINDSEY, S. B. **Nitrous oxide and greenhouse gas emissions from grazed pastures as affected by use of nitrification inhibitor and restricted grazing regime.** *Scienc Total Environmental*, 465:107-114, 2013.

MAGUIRE, R.O. et al. **Manure application technology in reduced tillage and forage systems: A review.** *Journal Environmental Quality*, 40:292-301, 2011.

MEADE, G. et al. **Ammonia and nitrous oxide emissions following land application of high and low nitrogen pig manures to winter wheat at three growth stages.** *Agriculture Ecosystems Environmental*, 140:208-217, 2011.

MOIR, J. L.; CAMERON, K. C.; DI, H. J. **Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system.** *Soil Use and Management*, 23: 111-120, 2007.

MOOLEKI, S.P. et al. **Effect of rate, frequency and method of liquid swine manure application on soil nitrogen availability, crop performance and N use efficiency in east-central Saskatchewan.** *Canadian Journal of Soil Science*, 82:457-467, 2002.

NDEGWA, P.M. et al. **A review of ammonia emissions mitigation techniques for concentrated animal feeding operations.** *Biosystems Engineering*, 100:453-469, 2008.

PUJOL, S.B. **Emissão de amônia e dinâmica do nitrogênio no solo com parcelamento da dose e adição de inibidor de nitrificação em dejetos de suínos.** Santa Maria: UFSM, 100f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

SANZ-COBENA, A. et al. **Gaseous emissions of N_2O and NO and NO_3^- leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitors to a maize (*Zea mays*) crop.** Agriculture Ecosystems and Environmental, 149:64-73, 2012.

SCHERER, E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. **Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:1375-1383, 2010.

SCHILS R.L.M. et al. **Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from herbivore production systems.** Animal, 7:29-40, 2013.

SCHIRMAN, J. et al. **Inibidor de nitrificação e aplicação parcelada de dejetos de suínos nas culturas do milho e trigo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37:271-280, 2013.

SINGH, J.; SAGGAR, S.; BOLAN, N. S. **Influence of dicyandiamide on nitrogen transformation and losses in cow-urine-amended soil cores from grazed pasture.** Animal Production Scienci, 49:253-261, 2009.

SINGH, N.S.; VERMA, A. **The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: a review.** Environmental Practice, 4:266-279, 2008.

SMITH, L. C.; DEKLEIN, C. A. M.; CATTO, V. D. **Simulated management effects on ammonia emissions from field applied manure.** Journal Environmental of Management, 90:2531-2536, 2009.

SØGAARD H.T.; SOMMER, S. G.; HULCHINGS, N. J. **Ammonia volatilization from field-applied animal manure: the ALFAM model.** Atmosphere Environmental, 36:3309-3319, 2002.

SUBBARAO, G.V. et al. **Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems: Challenges and opportunities.** Plant of Scienci, 25:303-335, 2006.

VALLEJO, A. et al. **Comparison of N losses (NO_3^- , N_2O) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate.** Plant Soil, 272:313-325, 2005.

WEBB, J. et al. **The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response: A review.** Agriculture Ecosystems and Environmental, 137:39-46, 2010.

YAGÜE, M.R.; QUÍLEZ, D. Cumulative and residual effects of swine slurry and mineral nitrogen in irrigated maize. Agronomy Journal, 102: 682-1691, 2010.

ZAMAN, M.; BLENNERHASSETT, J.D. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. Agriculture Ecosystems and Environmental, 136:236-246, 2010.

ZAMAN, M. et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. Soil Biology Biochemistry., 41:1270-1280, 2009.

3 HIPÓTESES

- O uso de inibidor de nitrificação aplicado junto com o dejetos líquido de suínos no solo reduz o acúmulo do elemento no solo na forma de NO_3^- , mas pode favorecer as perdas de N por volatilização de NH_3 .

- A injeção de dejetos suínos no solo diminui a perda de N por volatilização de amônia em relação à aplicação superficial.

4 OBJETIVO GERAL

Avaliar a efeito da injeção no solo do dejetos líquido de suínos e do uso de inibidor da nitrificação em solos sob plantio direto, sobre os teores de nitrogênio no solo e em condições controladas sobre a volatilização de NH_3 .

5 OBJETIVO ESPECÍFICO

Avaliar o efeito da adição do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD) aos dejetos líquidos de suínos, nas cultura de milho e trigo sobre os seguintes processos do ciclo N:

- a) Quantidade de N-mineral, avaliando teores de amônio e nitrato no solo logo após a aplicação de DLS em plantio direto;
- b) Volatilização de NH_3 , mensurada após a aplicação de DLS injetado e em superfície em condições controladas;

6 ARTIGO I

DICIANODIAMIDA REDUZ A NITRIFICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS INJETADO NUM NITOSSOLO BRUNO E UM CAMBISSOLO EHÚMICO ALUMÍNICO

RESUMO

Alternativas tecnológicas para minimizar o impacto da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) ao solo constituem um dos principais desafios nessa atividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em condições de campo, as formas de N-mineral no solo, em sistema de plantio direto, testando a injeção e uso de inibidor da nitrificação com DLS. Foi conduzido um experimento em um Nitossolo Háplico e em um Cambissolo Húmico Alumínico em Lages/SC. Os tratamentos foram estruturados em um fatorial 2x5 dispostos em um delineamento blocos casualizados, com quatro repetições. O fator “A” é forma de aplicação de DLS, com dois níveis (injetado e superfície), e o fator “B” são tipos de fertilizantes: ureia; ureia+ inibidor da nitrificação (DCD); dejetos líquidos de suíno (DLS); DLS+DCD; controle sem fertilizante. Os tratamentos foram aplicados ao solo com cultivo de milho nas safras 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 e de trigo na safra 2013. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em diferentes dias após a adubação. O inibidor de nitrificação preservou, na forma amoniacal, o N dos dejetos e na ureia aplicados ao Cambissolo, enquanto que no Nitossolo o efeito inibitório foi observado na primeira avaliação quando o DCD foi misturado à ureia. A injeção dos fertilizantes aumentou os teores de amônio em relação à aplicação superficial em todas as safras.

Palavras chave: dicianodiamida, dejetos suínos, Injeção.

ABSTRACT

DICYANODIAMIDE REDUCES THE NITRIFICATION OF MANURE LIQUID SWINE INJECTED IN A KANDUIDOX AND AN DYSTRUPEPT

Technological alternatives to minimize the impact of the application of pig slurry (DLS) to the soil are one of the main challenges in this activity. The objective of this study was to evaluate, under field conditions, the forms of mineral N in the soil, in no-till system, testing the injection and use of nitrification inhibitor with DLS. An experiment was conducted in a Hapludox and a Cambisol Humic aluminic in Lages / SC. Treatments were structured in a 2x5 factorial arranged in a randomized block design with four replications. The factor "A" is the form of application of DLS, with two levels (injected and surface), and the "B" factor are types of fertilizers: urea; urea + nitrification inhibitor (DCD); liquid swine manure (DLS); DLS + DCD; without fertilizer control. Treatments were applied to the soil with maize cultivation in crop 2011/2012, 2012/2013 and 2013/2014 and wheat harvest in 2013. The samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, on different days after fertilization. The nitrification inhibitor preserved in the ammonium form, the N of the urea and the slurry applied to Inceptisol, while in Nitosol the inhibitory effect was observed at the first assessment when the DCD was mixed with urea. The injection of fertilizers increased ammonium levels in relation to surface application in all crops.

Keywords: dicyandiamide, swine manure incorporation.

6.1 INTRODUÇÃO

A suinocultura busca o descarte apropriado dos dejetos animais, especialmente no sistema de produção em regime de confinamento. Embora esses resíduos possam ser utilizados como fonte de nutrientes às culturas, especialmente devido ao seu conteúdo em nitrogênio (Hernández et al., 2013), apresentam alto potencial poluidor (Lourenzi et al., 2014; Li et al., 2014), o que é dependente da forma e frequência de aplicação.

As principais vias de perda de N são as emissões de gases para a atmosfera, lixiviação e perdas por escoamento para as águas subterrâneas e de superfície (Cameron et al., 2013). Para potencializar o suprimento de N às plantas a partir do dejetos, deve-se mitigar as perdas de N, podendo-se injetar esse material ao solo, que pode reduzir as emissões de amônia (NH_3) (Webb et al., 2010), limitando a exposição ao ar, aumentando a adsorção de amônio (NH_4^+) devido o maior contato do DLS com as partículas do solo (Dell et al., 2011), embora possa aumentar as perdas de N por desnitrificação (Velthof e Mosquera, 2011).

Inibidores da nitrificação estão sendo investigados em vários países como uma estratégia para mitigar a lixiviação de NO_3^- (Di e Cameron, 2005; Zaman e Blennerhassett, 2010;) e a emissão de óxido nitroso (N_2O) (Zaman et al., 2009), apresentando, potencial para aumentar a disponibilidade de N no solo, assim como, eficiência do uso do N pelas culturas agrícolas (O'Connor et al., 2012). A dicianidiamida, (DCD) é um inibidor de nitrificação que bloqueia a ação da enzima amônia monooxigenase, responsável pela oxidação de NH_4^+ para nitrito (NO_2^-) ocasionando principalmente por bactérias do gênero *Nitrosomonas*, na primeira etapa da nitrificação (Singh e Verma, 2008).

Trabalhos com aplicação de DLS no solo e inibidor de nitrificação (Vallejo et al., 2005; Cahalan, et al., 2014; Aita et

al., 2014), têm verificado redução na nitrificação do N amoniacal dos dejetos, com menor emissão de N_2O e na lixiviação de nitrato (NO_3^-).

Encontrar tecnologias que reduzam perdas de N após a aplicação do fertilizante orgânico ou inorgânico no solo é uma das prioridades da pesquisa global. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da injeção de DLS no solo com inibidor de nitrificação, na evolução dos teores de amônio e nitrato.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2011 a abril de 2012 em um Nitossolo Bruno (Embrapa, 2013), com as seguintes características químicas e físicas coletadas na camada de 0-20 cm: pH (H_2O): 4,9; SMP: 5,3; Al: 5,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Ca: 5,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Mg: 3,2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; P: 17,9 mg/dm^3 ; K: 206 mg/dm^3 ; argila: 650 g gkg^{-1} ; matéria orgânica: 34 g kg^{-1} , em condições de lavoura convencional, na localidade de Santa Terezinha do Salto a 27°49'09'' de latitude Sul e 50°18'10'' de longitude Oeste, com altitude média de 855m no município de Lages/SC.

No período de novembro de 2012 a abril de 2014, as avaliações ocorreram em um Cambissolo Húmico Alumínico. (EMBRAPA, 2013), coletado na camada de 0-20 cm com as seguintes características químicas e físicas, pH (H_2O): 5,4; SMP: 5,9; Al: 5,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Ca: 5,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Mg: 1,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; P: 3,1 mg/dm^3 ; K: 92 mg/dm^3 ; argila: 455 g kg^{-1} ; matéria orgânica: 46 g kg^{-1} , na área experimental do CAV/UDESC-Lages/SC, localizada a 27°49'00'' de latitude Sul e 50°35'50'' de longitude Oeste, com altitude média de 892m.

O clima é tipo mesotérmico úmido (tipo Cfb, de acordo com Köppen) (Embrapa 2004). As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.400 mm e 15,6 °C, respectivamente. As precipitações pluviais mensais ocorridas durante os cultivos do milho e do

trigo, as precipitações médias dos últimos 30 anos e a temperatura média do ar para o período são apresentadas na tabela 1.

A área do Nitossolo Bruno era cultivada com pastagem de azevém no inverno e soja/milho no verão. Cerca de dois meses antes da instalação do experimento foi aplicado ao solo calcário (CaCO_3) na dose de 4 Mg ha^{-1} . A pastagem foi dessecada com herbicida glifosato na dose de 2 L ha^{-1} , com posterior acamamento das plantas, com rolo-faca.

O Cambissolo Húmico Alumínico encontrava-se em pousio há 10 anos. Em junho de 2012, a área recebeu aplicação superficial de CaCO_3 na dose de 10 Mg ha^{-1} , e se fez a semeadura de trigo. Um mês antes da implantação do experimento, estas plantas foram dessecadas com herbicida glifosato na dose de 2 L ha^{-1} , com posterior acamamento com rolo-faca.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, com arranjo fatorial. Os tratamentos, aplicados em parcelas de $33,6 \text{ m}^2$ ($4,2 \times 8 \text{ m}$), consistiram da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) e fertilizante mineral (NPK), ambos em dose única e, com e sem o uso de inibidor de nitrificação (Dicianodiamida).

O esquema fatorial adotado foi 2×5 , onde o fator “A” é forma de aplicação de fertilizantes: 1-incorporado; 2-superfície, e o fator “B” são tipos de fertilizantes com cinco níveis: 1- Testemunha; 2- Ureia; 3- Ureia+ inibidor da nitrificação (Dicianodiamida-DCD); 4- dejetos líquidos de suíno (DLS); 5- DLS+DCD.

Tabela 1 - Valores de precipitação pluviométrica acumulada (mm) e temperatura média do ar (°C) verificadas no período de amostragem de solo.

Período	Precipitação acumulada (mm)	Temperatura média (°C)
Safr 2011/2012-Milho		
Média últimos 30 anos*	184,5	---
Novembro	39,18	15,3
Dezembro	142,4	18,0
Janeiro	200,2	19,1
Fevereiro	195,6	21,3
Safr 2012/2013-Milho		
Média últimos 30 anos*	142,3	---
30 dias antes das coletas	103,6	18,5
4ª semana de novembro	8,4	18,8
1ª semana de dezembro	6,9	21,9
2ª semana de dezembro	29,2	21,1
Safr 2013-Trigo		
Média último 30 anos*	138,8	---
30 dias antes das coletas	132,7	11,7
3ª semana de junho	71,1	12,7
4ª semana de junho	80,6	11,5
1ª semana de julho	1,9	11,7
2ª semana de julho	8,5	12,5
Safr 2013/2014-Milho		
Média último 30 anos*	142,3	---
30 dias antes das coletas	192,5	17,8
2ª semana d dezembro	42,1	18,5
3ª semana d dezembro	8,8	20,6

*Valor médio de precipitação ocorrido no mesmo período de amostragem de solo de cada safra.

Fonte: Epagri\Ciram, 2014.

A composição dos dejetos líquidos de suínos foi determinada conforme Tedesco et al. (1995), (Tabela 2) e as doses de nutrientes foram definidas visando o rendimento de 8,0 Mg ha⁻¹, para a cultura do milho e 3,0 Mg ha⁻¹ para a cultura do trigo, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Nos tratamentos contendo ureia, estes foram complementados com adubos mineral contendo P (superfosfato triplo-SFT) e K (cloreto de potássio-KCl).

O inibidor de nitrificação utilizado foi a dicianodiamida (DCD), contido no produto Agrotain Plus®, na forma de pó branco, tendo em sua formulação 81,0% de DCD, foi misturado aos dejetos no momento da sua aplicação ao solo, na dose de 10 kg ha⁻¹.

A injeção do DLS ao solo foi realizada com um equipamento desenvolvido pela empresa MEPEL®, composto de um tanque metálico com capacidade para 4.000L, com bomba para pressurização e aplicação do DLS. Na parte traseira, o equipamento contém um conjunto de linhas de injeção distanciadas em 35 cm, as quais são fixadas ao chassi do equipamento, sendo o conjunto acionado por sistema hidráulico. Sobre o Nitossolo, a injeção do DLS utilizou-se 8 linhas de injeção e no Cambissolo foram 6 linhas de injeção. Para a injeção da Uréia, SFT e KCl, antes de injetar o dejetos no solo, com o auxílio o equipamento de injeção, fez-se as linhas de injeção para aplicar os fertilizantes manualmente nos sulcos.

A aplicação superficial dos dejetos foi realizada com as linhas de injeção erguidas sobre o Cambissolo, movimentada por um trator de 75 cv de potência, enquanto que no Nitossolo foi realizado com regadores. A injeção dos dejetos líquidos no solo foi realizada com o mesmo equipamento com as linhas de injeção inseridas no solo. A profundidade de injeção média dos dejetos foi de aproximadamente 8 cm e a faixa de solo mobilizado média na superfície do sulco foi de 11 cm. Nas

parcelas testemunhas mesmo sem receber fertilizantes tiveram os sulcos de injeção abertos com o mesmo equipamento.

Tabela 2 - Composição do dejetos líquido de suínos expressos em base úmida e teores de nutrientes aplicados na safra 2011/2012 sobre um Nitossolo e nas safras 2012/2013, 2013 e 2013/2014, sobre um Cambisolo.

Avaliações	Milho 2011/2012	Milho 2012/2013
Características dos DLS		
Nitrogênio total ($kg\ m^{-3}$)	3,4	3,9
N-amoniaco ($kg\ m^{-3}$)	1,8	2,5
N-nítrico ($kg\ m^{-3}$)	0,1	0,1
Fósforo ($kg\ m^{-3}$)	3,5	3,0
Potássio ($kg\ m^{-3}$)	1,3	1,3
pH	5,9	6,0
Massa seca ($g\ kg^{-1}$)	55,0	58,0
--- Quantidade de fertilizante adicionado ---		
Dose DLS ($m^3\ ha^{-1}$)	48	42
N ($kg\ ha^{-1}$)*	163	163
P ($kg\ ha^{-1}$)	81	81
K ($kg\ ha^{-1}$)	58	58
Avaliações	Trigo 2013	Milho 2013/2014
----- Características dos DLS -----		
Nitrogênio total ($kg\ m^{-3}$)	5,7	5,3
N-amoniaco ($kg\ m^{-3}$)	2,5	2,7
N-nítrico ($kg\ m^{-3}$)	0,1	0,1
Fósforo ($kg\ m^{-3}$)	3,8	3,1
Potássio ($kg\ m^{-3}$)	1,6	3,7
pH	6,5	6,3
Massa seca ($g\ kg^{-1}$)	44,0	68,0
--- Quantidade de fertilizante adicionado ---		
Dose DLS ($m^3\ ha^{-1}$)	20	35
N ($kg\ ha^{-1}$)*	114	185
P ($kg\ ha^{-1}$)	37	63
K ($kg\ ha^{-1}$)	25	58

DLS: dejetos líquido de suínos. *Considerar índice de eficiência de 80% para o DLS, segundo a CQFS RS/SC (2004).

Fonte: Próprio autor, 2015.

As coletas de solo foram realizadas com trado holandês, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. As amostras foram compostas por 5 sub amostras em cada parcela, sendo que para as parcelas com a injeção dos fertilizantes, as amostras foram coletadas duas nas linhas de injeção e três nas entrelinhas, enquanto que para os fertilizantes aplicados superficialmente, estas foram coletadas aleatoriamente. As amostras foram mantidas câmara fria a 8° C e umidade de 57%, durante 20 dias, com posterior determinação dos teores de amônio e nitrato do solo.

Na safra de milho (2011/2012), o DLS foi proveniente de animais em unidade produtora de suínos (ciclo completo), sendo 50% retirado de biodigestor e 50% de lagoa anaeróbica. O milho Pioneer 30F53, foi semeado em 11/11/11, após aplicação dos fertilizantes realizada no mesmo dia. As coletas foram realizadas no 28°, 40°, 59° e 84° dia após a aplicação dos fertilizantes.

Na safra de milho (2012/2013), foi utilizado DLS de mesma procedência. A aplicação dos fertilizantes foi realizada no dia 27/11/12, e a semeadura do cultivar Pioneer 30F53 em 06/12/12. As coletas de solo foram realizadas no 1°, 6°, 8°, 10°, 15° e 17° dia após a aplicação dos fertilizantes.

Na safra de trigo (2013) e de milho (2013/2014), o DLS foi obtido de uma unidade de recria de leitões, armazenado em esterqueira anaeróbica. A aplicação dos fertilizantes foi realizada no dia 17/06/13 e a semeadura do trigo Quartzo foi realizada um dia após a fertilização. As coletas de solo foram realizadas no 1°, 7°, 8°, 14° e 22° dia após a aplicação dos fertilizantes. O milho cultivar Pioneer 30F53 foi semeado em 12/12/13. As coletas de solo foram realizadas no 1°, 3° e 6° dia após a aplicação dos fertilizantes.

No laboratório, as amostras foram homogeneizadas e retirada uma amostra para extração com KCl 1 mol L⁻¹ e posterior destilação (Tedesco et al., 1995), para determinação dos teores de N-mineral (NH₄⁺ + NO₃⁻).

Os resultados referentes aos teores de N-mineral foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados os efeitos principais e as interações significativas (Apêndice A) observados no Nitossolo Bruno, na safra de milho 2011/2012, para os seguintes fatores: tipo de fertilizante nos teores de NH_4^+ ($P<,0001$) e NO_3^- ($P<,0,05$), 28 dias após a adubação (Figuras 1 a, b); modo de aplicação para os teores de NH_4^+ ($P<,0,01$) e NO_3^- ($P<,0001$) na primeira avaliação realizada (Figura 1 c, d); e profundidade, apenas para o teor de NO_3^- ($P<,0,01$) na primeira avaliação (Figura 1 f); interação entre modo de aplicação e tipo de fertilizantes ($P<,0,0001$) ambas aos 28 dias.

Apesar das avaliações terem sido realizadas após o período em que a reação de nitrificação atinge o seu máximo, ou seja, de 15 a 20 dias após a aplicação de fertilizantes, observa-se que a adição de DCD junto ao NPK foi eficiente na inibição da nitrificação mostrando teores de NH_4^+ superior ao tratamento DLS+DCD (Figura 1 a), 28 dias após a aplicação dos fertilizantes.

Em trabalho realizado por Zaman et al., (2004) com mistura de DCD+inibidor de urease (NBPT) com ureia aplicanda em pastagem na Nova Zelândia e concluiu-se que a DCD pode ter benefícios ambientais no uso da ureia, com a possível redução da lixiviação de NO_3^- .

O menor teor de NH_4^+ observado no tratamento DLS+DCD, pode ser relacionado à maior facilidade de ocorrência de transformações microbianas no solo que contenha resíduos culturais, especialmente gramíneas (Giacomini, et al., 2009) com a adição de DLS, que apresenta predomínio do N na forma amoniacal (Tabela 2), acelerando a velocidade de decomposição dos resíduos do presente no solo,

ocorrendo a assimilação do C e do N simultaneamente (Rescous et al., 1995).

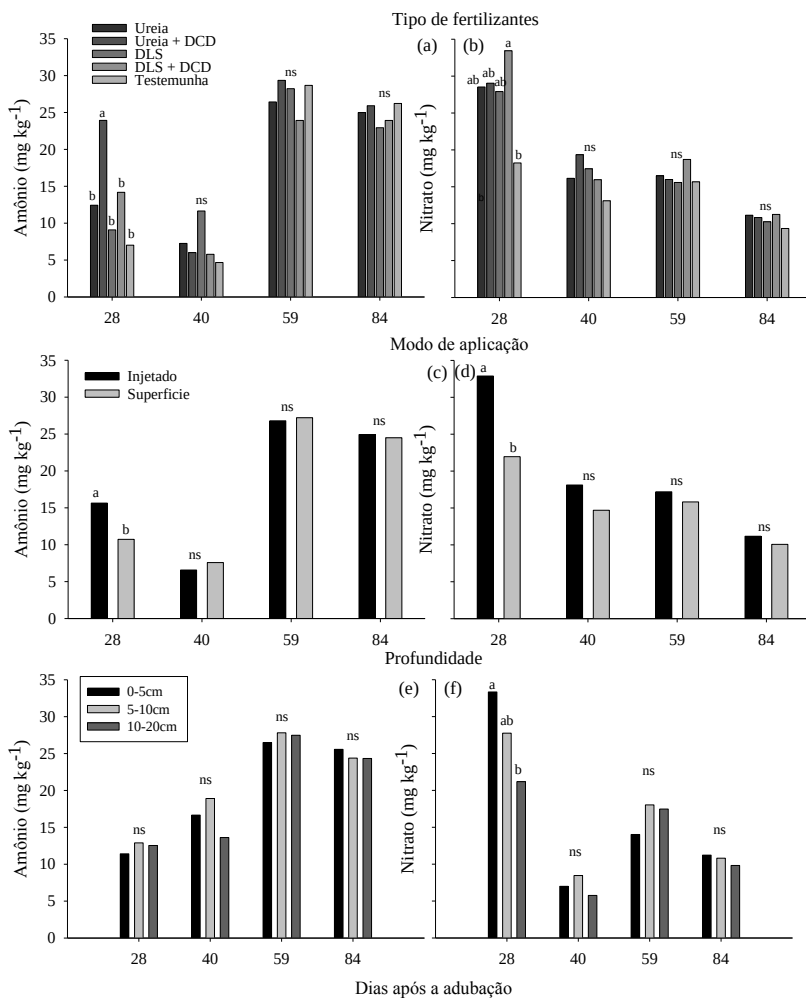
Avaliando a taxa de nitrificação do N amoniacal do DLS aplicado em um Argissolo Vermelho com 150 g kg⁻¹ de argila, sob plantio direto, durante três anos, Aita et al., (2007), observaram aumento na taxa de nitrificação quando aplicam-se DLS sobre resíduos de aveia/milho, pois as condições de temperatura e umidade são favoráveis ao processo.

A eficácia da DCD é influenciada por fatores como a temperatura (Subbarão et al., 2006). A decomposição da DCD é diretamente proporcional ao aumento da temperatura (Kelliher et al., 2008), sendo a ação da DCD em 6 °C é de 100 dias (Williamson et al., 1996), e 18-25 dias a 20 °C (Di e Cameron, 2005). Percebe-se que a temperatura média no mês de novembro e dezembro (Tabela 1) foi de 16,5 °C, contribuindo na redução do seu efeito inibitório.

Observa-se que a adição de todas as fontes de N no solo mostraram altos teores de NO₃⁻ (Figura 1 b). A adição de DLS+DCD ao solo apresentou rápida nitrificação na fase inicial da cultura de milho, deixando o N na forma de NO₃⁻, mais suscetível a perdas para o sistema solo-atmosfera.

A injeção das fontes de N ao solo (Figuras 1 c e d) ocasionou teor de NH₄⁺ superior à aplicação superficial 28 dias após a aplicação dos fertilizantes, o que pode ser atribuído a redução nas emissões gasosas de N por volatilização de NH₃ (Soares et al., 2012), embora a aplicação de DLS possa potencializar as perdas de N por desnitrificação (Velthof e Mosquera, 2011), uma vez que concentra no sulco C-solúvel, N-mineral e água (urina).

Figura 1 - Efeito principal para o tipo de fertilizante, modo de aplicação e profundidade para os teores de amônio e nitrato, dias após a adubação, num Nitossolo na safra 2011/2012, na camada de 0-20cm.



Fonte: Produção do autor, 2015.

O menor teor de NH_4^+ observado na aplicação superficial pode ser relacionado às perdas gasosas de N (NH_3 e N_2O), pois com a baixa precipitação ocorrida neste período (Tabela 1) as perdas de N por lixiviação de NO_3^- são menores. Condições climáticas tais como baixa umidade do solo e alta temperatura média do ar (Liu et al., 2007; Clay et al., 1990) e fatores de solo como o alto pH, e presença de resíduos vegetais (Sengik et al., 2001; Sangoi et al., 2003; Rochette et al., 2009), favorecem a volatilização da NH_3 , enquanto que as emissões de N_2O ocorrem em condições aeróbias (Zaman et al., 2009).

Tabela 3 - Interação entre o modo de aplicação com tipo de fertilizante, para os teores de amônio e nitrato, 28 dias após a adubação, sobre um Nitossolo na safra 2011/2012.

Fertilizante	Amônio (mg kg^{-1})		Nitrato (mg kg^{-1})	
	Injetado	Superfície	Injetado	Superfície
-----28 dias após a adubação -----				
Ureia	12,9 Ba	11,8Aa	34,8 Ba	22,2 Aa
Ureia+DCD	33,2 Aa	13,4 Ab	34,3 Ba	23,8 Aa
DLS	10,2 Ba	8,0 Aa	36,8 Ba	18,9 Ab
DLS+DCD	16,5 Ba	11,8 Aa	45,8 Aa	21,9 Ab
Testemunha	5,5 Ba	8,5Aa	12,7 CBa	23,8 Aa

Letras maiúsculas comparam fertilizantes e minúsculas comparam forma de aplicação.

Fonte: Próprio autor, 2015.

A profundidade (ver Figuras 1 e, f) não influenciou nos teores de NH_4^+ no período avaliado, porém nos teores de NO_3^- , estes foram influenciados aos 28 dias após a adubação. O maior teor de NO_3^- foi observado na camada de 0-5 cm com quase 35 mg kg^{-1} , mas que não se diferiu da camada de 5-10cm.

Na interação entre tipo de fertilizante e modo de aplicação, observada 28 dias após a adubação para os teores de

NH_4^+ e NO_3^- (Tabela 3), indica que o teor de NH_4^+ não diferiu da testemunha quando os fertilizantes foram aplicado na superfície do solo. Na aplicação injetada das fontes de N, a adição de DCD ao NPK, apresentou um teor de NH_4^+ 33,2 mg kg^{-1} , diferindo-se da testemunha e dos demais fertilizantes.

Pode-se atribuir este maior valor ao efeito do inibidor de nitrificação, onde o tratamento NPK+DCD aplicado na superfície (Tabela 3), manteve por um maior período o N na forma de amônio.

Nota-se que os teores de NO_3^- do solo são superiores em relação aos de NH_4^+ em todos os tratamentos fertilizados (Tabela 3), o que pode ter sido influenciado pela baixa ocorrência de chuva (Tabela 1) em quantidade que pudesse ter provocado a perda de NO_3^- por lixiviação.

Quanto aos teores de NO_3^- observados quando se aplicou os fertilizantes na superfície do solo, não houve diferença entre os ele e nem com a testemunha, entretanto na aplicação injetada, observou-se que a mistura do DCD com o DLS apresentou o maior de NO_3^- diferindo-se dos demais fertilizantes.

A injeção de DLS com e sem DCD diferiu dos teores de NO_3^- observados em superfície, mostrando que a rapidez com que o N amoniacal dos dejetos é nitrificado, após a sua aplicação no campo, irá condicionar a quantidade de NO_3^- no solo, neste caso maiores teores. Se a taxa de nitrificação for elevada, os teores de N na forma de nitrato (N-NO_3^-) aumentarão rapidamente, muitas vezes em época em que a demanda de N pelas culturas ainda é pequena (Aita, et al., 2007).

Com base nos resultados da análise de variância (Apêndices B, C e D) realizada para cada safra conduzidas no Cambissolo Húmico Aluminico, serão apresentados os efeitos principais e as interações significativas.

Com base nos resultados da análise de variância, serão apresentados os efeitos principais e as interações para o tipo de

fertilizante e o modo de aplicação dos fertilizantes nas três safras avaliadas.

Analisando conjuntamente os resultados relativos ao N na forma amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) no solo referente à aplicação de fertilizantes nas safras 2012/2013, 2013 e 2013/2014 (Figura 1), observa-se variação temporal influenciada pelo tipo de fertilizante aplicado no solo, sendo que a adição de DCD ao DLS ocasionou teores superiores de NH_4^+ somente na 1ª avaliação, em relação às mesmas fontes de N sem DCD (Figura 1).

Isso se deve à ação bacteriostática da DCD, inibindo o primeiro estágio da nitrificação, onde ocorre o bloqueio do sistema enzimático envolvido na etapa de oxidação de amônio para nitrito, realizado por *Nitrosomonas ssp* e *Nitrosospira ssp* (Singh & Verma 2008) mantendo por mais tempo o N-mineral na forma de NH_4^+ . O bloqueio da reação pode aumentar a oportunidade da imobilização microbiana na forma de NH_4^+ (Cookson e Cornforth, 2002) ou permanecer ligado ao solo eletrostaticamente nas superfícies de argila com carga negativa e aos grupos funcionais da matéria orgânica do solo (Subarrão et al., 2015), favorecendo a manutenção do N na forma orgânica.

Observando as três safras, a aplicação de DLS sem a DCD acarretou menores teores de NH_4^+ em relação à aplicação do DLS+DCD, e em especificamente na safra 2012/2013 (Figura 1 a) no 1º e 8º dias após a adubação, na safra 2013 (Figura 1 c) e na safra 2013/2014 (Figura 1 e) ambas no 1º dia após a adubação. Chadwick et al., (2001) relatam a imobilização temporária de N após a adição de DLS, devido à rápida decomposição de C facilmente decomponível adicionado com os dejetos, evidenciando o efeito positivo da DCD sobre o bloqueio temporário da primeira reação da nitrificação, quando este inibidor é misturado ao DLS. Resultados observados por Li et al., (2014), verificaram que a

adição de DCD em esterco de gado adicionado a um Latossolo Vermelho na Nova Zelândia, diminuiu a taxa de nitrificação.

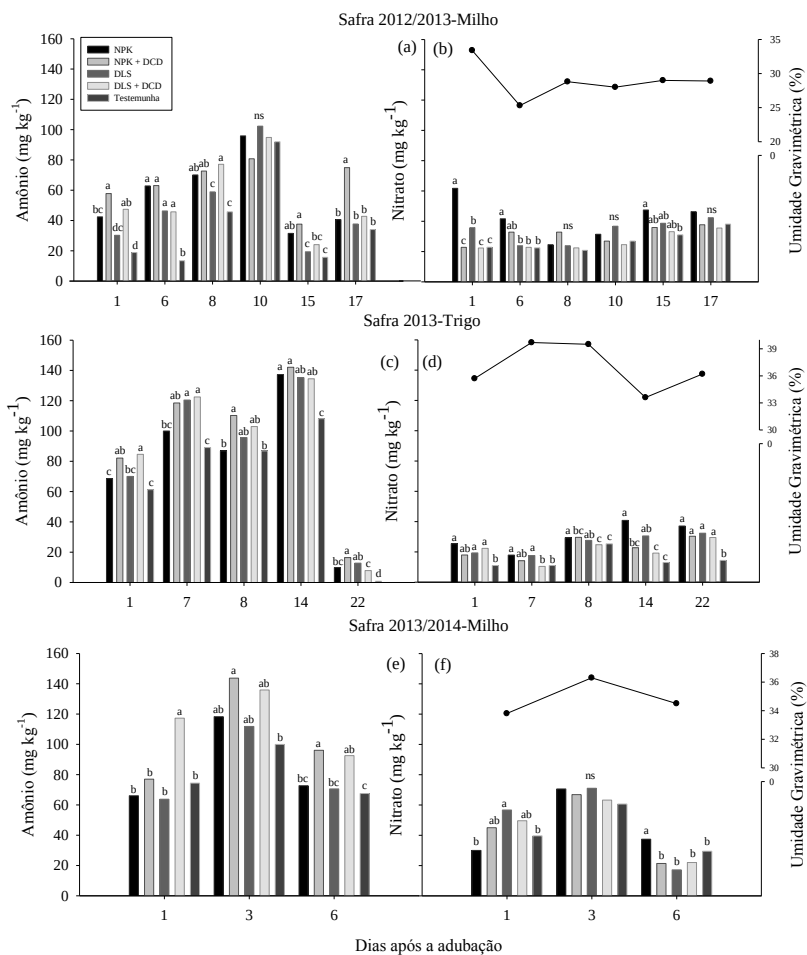
No Brasil, Aita et al., (2013), adicionaram DCD a cama de aviário num Argissolo, e novamente verificaram redução na taxa de nitrificação do N amoniacal da cama de aves no solo. Noutro trabalho, Aita et al., (2014) adicionando DCD ao DLS, aplicado em Latossolo, verificaram efeito positivo no retardo do processo de nitrificação, permitindo redução nas emissões de N_2O .

Efeito semelhante da DCD ocorreu sobre a ureia, onde, na safra de milho 2012/2013 (Figura 2 a) a ação inibitória da DCD é verificada no N presente na ureia (Ureia+DCD) em todos os dias avaliados, exceto no 10º dia após a adubação. No 17º dia, o teor de NH_4^+ chega a 75 mg kg^{-1} , enquanto que sem a adição do DCD o teor foi 41 mg kg^{-1} para o tratamento ureia sem DCD. Na safra de trigo, este efeito é observado no 1º, 8º e 22º e para safra de milho (2013/2014) somente no 6º após a adubação.

De forma geral, nota-se que a inibição da DCD sobre a nitrificação do N no DLS ocorreu até a primeira semana de avaliação, enquanto que na ureia esta inibição foi observada por mais tempo (22º na safra de milho 2012/2013). O menor período de ação da DCD no DLS pode ser atribuído ao aumento da atividade microbiana pela alta concentração de material orgânico de fácil decomposição. Subbarão et al., (2006), relatam, que o poder inibitório da DCD vai diminuindo em razão da decomposição microbiana, onde, esta é mais rápida em solos com maiores teores de matéria orgânica.

Outra consideração sobre o efeito do tempo de ação da DCD é a temperatura. Observa-se que na safra de trigo (inverno), ação inibitória é mais prolongada em relação a as demais safras, especificamente a safra 2012/2013 que teve um maior período de avaliação. Um estudo realizado sobre um solo silte-argisolo na Nova Zelândia, com adição de DCD sobre a urina de bovinos em pastagem Zaman & Nguyen (2012),

Figura 2 - Efeito principal para o tipo de fertilizante referente aos teores de amônio e nitrato, para as safras 2012/2013, 2013 e 2013/2014, observados dias após a adubação juntamente com a umidade gravimétrica do solo (%), num Cambissolo Húmico Aluminico, na camada de 0-20 cm.



Fonte: Próprio autor, 2015.

observaram que o teor de NH_4^+ foi maior quando aplicado DCD no outono em relação à primavera, provavelmente por causa da menor decomposição do inibidor por baixas temperaturas no outono.

A permanência do N na forma de NH_4^+ por um maior período no solo tem importância ambiental e agrônômica, uma vez que a rápida nitrificação origina o NO_3^- , que não se liga ao solo e fica propenso à lixiviação, contaminando águas superficiais e subsuperficiais ou pode sofrer desnitrificação, gerando o N_2O , que contribui como gás de efeito estufa.

Para os teores de NO_3^- observados no solo, nos tratamentos com o uso da DCD, observa-se na safra 2012/2013 que o menor teor de NO_3^- ocorreu no tratamento ureia com DCD e DLS com DCD (Figura 1b) no 1º dia pós a adubação. No 6º de avaliação, verifica-se o teor de NO_3^- não se diferiu entre o tratamento ureia e ureia com DCD. Na safra de trigo observa-se que a mistura da DCD ao DLS diminuiu os teores de NO_3^- no 7º, 8º e 14 dia de avaliação em relação a aplicação de DLS sem DCD.

Di & Cameron, (2005) e Singh & Verma, (2008), também verificaram a eficiência da DCD quando misturada a fezes de animais, na redução de perdas de N por lixiviação de NO_3^- . Selbie et al., (2011) relataram que a adição de DCD em urina de bovinos aplicada em solos irlandeses, reduziu em 45 % a lixiviação de NO_3^- e 70% as emissões de N_2O .

Baixos teores de NO_3^- foram observados na safra de trigo (Figura 2 d) quando comparados às demais safras (Figuras 1 b, e), podem relacionar-se, com uma fase de latência no processo de nitrificação, relacionado ao período requerido para a síntese de enzimas durante o crescimento inicial da população de bactérias nitrificadoras (Malhi & McGill, 1982) ou mesmo, com as menores temperaturas.

Quanto ao modo de aplicação dos fertilizantes no solo (Figura 3), observou-se que nas três safras a injeção dos fertilizantes ocasionou maior teor de NH_4^+ (Figuras 3 a, c, e), em relação à aplicação superficial, resultado da menor área de exposição dos fertilizantes quando injetados, o que pode reduzir as perdas por volatilização de NH_3 (Aita et al., 2014).

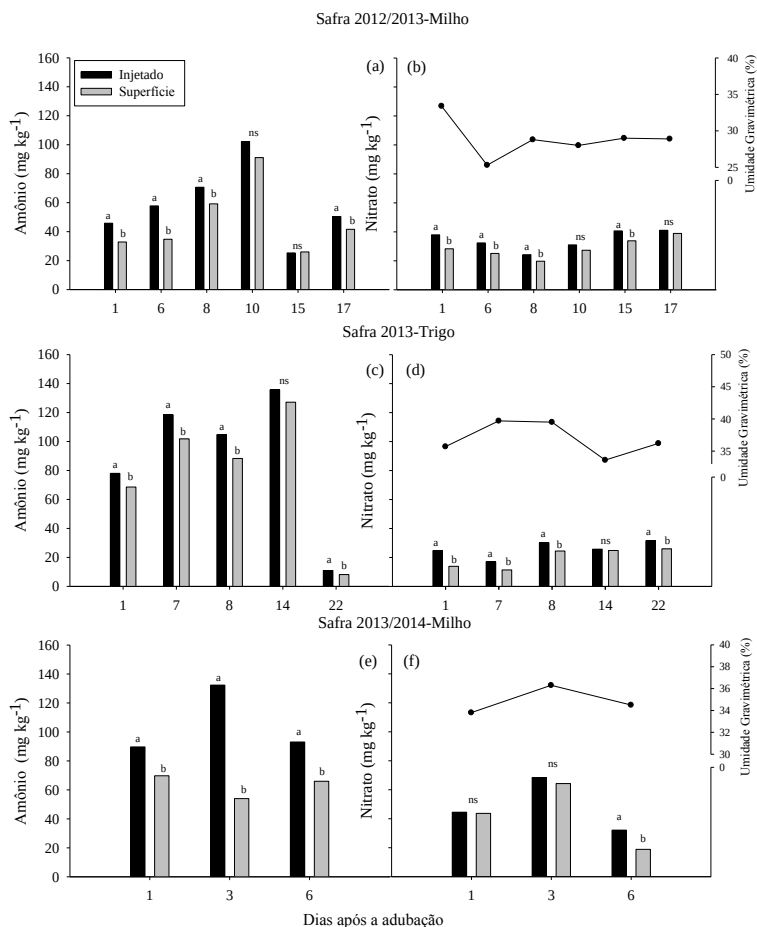
No primeiro período de condução do experimento (2012/2013), a aplicação injetada dos fertilizantes ocasionou teores de NH_4^+ em torno de 71 mg kg^{-1} , 8 dias após a adubação, enquanto que a aplicação na superfície foi de 59 mg kg^{-1} . Nas safras de trigo 2013 e milho 2013/2014 (Figuras 3 c, d), os teores de NH_4^+ ficaram próximos de 120 mg kg^{-1} .

Vallejo et al., (2005), trabalhando com aplicação de DLS injetado e superficial com DCD num Latossolo na Espanha, verificaram que a injeção de DLS com o uso de DCD foi significativa na diminuição de perdas de N nas formas de N_2O e de NO_3^- .

Os menores teores de NH_4^+ ocorridos na aplicação superficial nas três safras avaliadas podem ser atribuídos, a maior exposição destes fertilizantes a influencia da temperatura e dos ventos, onde a perda de N por volatilização de NH_3 é alta (Smith et al., 2009).

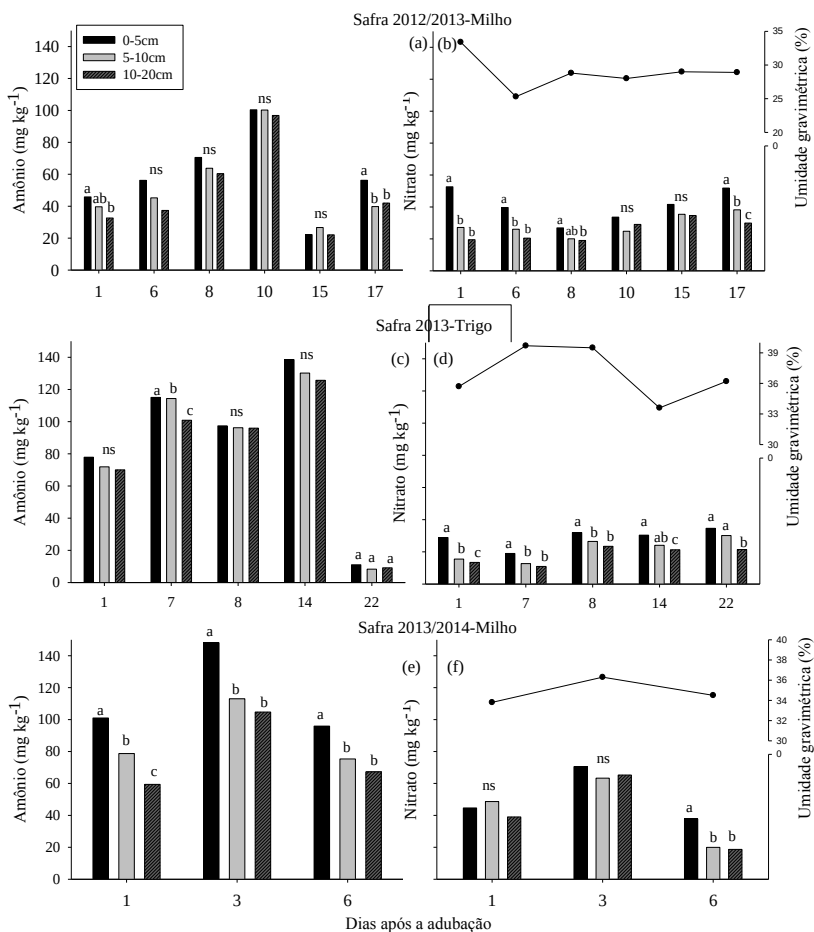
Para as três safras avaliadas, os teores de NO_3^- foram maiores com a injeção dos tratamentos e relação à aplicação superficial. A injeção dos fertilizantes permite que ocorra uma menor perda de N por volatilização de NH_3 , e ao mesmo tempo preserva o N nas cargas do solo, sendo este, passível a sofrer a nitrificados.

Figura 3- Efeito principal para o modo de aplicação, referente aos teores de amônio e nitrato, para as safras 2012/2013, 2013 e 2013/2014, observados dias após a adubação, juntamente com a umidade gravimétrica do solo (%), em um Cambissolo Húmico Alumínico, na camada de 0-20 cm.



Fonte: Próprio autor, 2015.

Figura 4- Efeito principal da profundidade do solo, referente aos teores de amônio e nitrato, para as safras 2012/2013, 2013 e 2013/2014, observados dias após a adubação, juntamente com a umidade gravimétrica do solo (%), em um Cambissolo Húmico Aluminico.



Fonte: Próprio autor, 2015.

Os teores de N-mineral verificados em profundidade (Figura 4) nas três safras avaliadas, quando significativos, mostraram maiores teores de NH_4^+ e NO_3^- na camada de 0-5 cm e diminuindo no perfil do solo avaliado. Os menores valores observados nas camadas inferiores podem ser relacionadas com perdas de N por emissões de NH_3 , o que impede que o N seja lixiviado.

Efeito significativo da interação entre tipo de fertilizante e modo de aplicação ocorreu no 1º e no 8º dia após a adubação na safra de milho 2012/2013 (Tabela 4).

Os maiores teores de NH_4^+ foram observados com a adição da DCD com o DLS aplicado na superfície um dia após a adubação (Tabela 4). No 8º dia o maior teor de NH_4^+ foi observado com a mistura da DCD ao DLS e a ureia, ambos injetados, porém o tratamento com ureia +DCD não teve diferença entre os modos de aplicação (Tabela 4).

Um dia após a aplicação do DLS, a mineralização do N presente no mesmo é baixa. Assim os teores de NH_4^+ são maiores na aplicação superficial. Com 8 dias após a adubação, a nitrificação foi retardada, mantando o N na forma de NH_4^+ que pode ser adsorvido nas cargas do solo, explicando assim, o maior teor de NH_4^+ com a injeção do DLS+DCD, em relação ao DLS sem DCD. Em superfície, mesma bloqueando a nitrificação com o uso da DCD, o teor de NH_4^+ é menor do que o tratamento DLS+DCD, devido a transformação do NH_4^+ no gás NH_3 . A ampliação do tempo que amônio permanece no solo, proporciona mais oportunidade para que a sua absorção pelas plantas, que podem melhorar a recuperação N e eficiência de uso em sistemas agrícolas (Subbarão et al. 2012).

Com relação ao nitrato, a aplicação da ureia sem DCD em superfície (Tabela 4) um dia após a adubação, teve o maior teor ($79,9 \text{ mg kg}^{-1}$), em relação aos demais tratamentos. No 8º dia (Tabela 4), o teor de NO_3^- no tratamento DLS sem DCD foi maior do que o tratamento DLS+DCD, reafirmando a eficiência do uso da DCD no bloqueio da nitrificação.

Tabela 4 - Interação entre modo de aplicação com tipo de fertilizante, para os teores de amônio e nitrato (mg kg^{-1}), dias após a adubação (1 e 8 dias), em um Cambissolo Húmico Aluminico na safra de milho 2012/2013.

Fertilizante	Amônio (mg kg^{-1})		Nitrato (mg kg^{-1})	
	Injetado	Superfície	Injetado	Superfície
-----1 dia após a adubação -----				
Ureia	35,1 ABa	49,7 Aa	43,6 Ab	79,9 Aa
Ureia+DCD	59,8 Aa	57,8Aa	18,5 Aa	27,1 Ba
DLS	21,1 Ba	39,4 ABa	30,3 Aa	41,4 Ba
DLS+DCD	30,5 Bb	64,7 Aa	22,7 Aa	21,9 Ba
Testemunha	18,2 Ba	19,5 Ba	26,3 Aa	19,4 Ba
----- 8 dias após adubação -----				
Ureia	63,8 Ba	76,5 Aa	27,2 ABa	21,9 Aa
Ureia+DCD	80,6 ABa	64,6 ABa	20,9 ABa	21,1 Aa
DLS	65,5 Ba	52,4 ABa	35,2 Aa	15,8Ab
DLS+DCD	93,2 Aa	61,0 ABb	17,2 Ba	18,8 Aa
Testemunha	50,1 Ba	41,4 Ba	20,7 Ba	20,9 Aa

Letras maiúscula compara fertilizante, minúscula compara modo de aplicação.

Fonte: Próprio autor, 2015

A interação entre modo de aplicação com tipo de fertilizante observada na safra de trigo 2013 ocorreu apenas nos valores de NH_4^+ (Tabela 5). O efeito da DCD foi mais expressivo quando usada com o fertilizante mineral (ureia). A injeção do fertilizante ureia+DCD mostrou maior teor de NH_4^+ quando comparada à ureia sem DCD, no 1º e 8º após adubação. No modo de aplicação, os tratamentos com DCD (ureia e DLS) injetados tiveram teores de NH_4^+ superiores em relação à aplicação superficial. Neste caso, além do efeito inibitório da DCD (Di & Cameron, 2005), observa o efeito da injeção no aumento da eficiência agrônômica do uso de fontes de N, pois a aplicação superficial colabora com as perdas deste elemento (Kim et al., 2012).

Tabela 5- Interação entre o modo de aplicação com tipo de fertilizante, para os teores de amônio, nos dias após a adubação, na safra de trigo 2013 e milho 2013/2014, sobre um Cambissolo Húmico Aluminico.

Fertilizante	Amônio (mg kg ⁻¹)	
	Injetado	Superfície
Safra- 2013 Trigo		
-----1 dia após a adubação -----		
Ureia	66,1 Ba	71,8 Aa
Ureia+DCD	93,4 Aa	70,5 Ab
DLS	69,7 ABa	70,3 Aa
DLS+DCD	98,3 Aa	71,6 Ab
Testemunha	62,6 B	60,9 Aa
-----8 dias após a adubação -----		
Ureia	71,3 Ba	102,6 ABa
Ureia+DCD	119,6 Aa	100,5 Aa
DLS	114,5 Aa	77,1 ABb
DLS+DCD	115,2 Aa	90,8 Aa
Testemunha	103,9 Ba	70,9 Ba
----- 22 dia após a adubação -----		
Ureia	9,4 Ba	11,5 ABa
Ureia+DCD	16,7 ABa	16,8 Aa
DLS	21,8 Aa	3,4 Bb
DLS+DCD	7,3 Ba	8,9 ABa
Testemunha	1,1 Ba	0,5 Ba

Letras maiúscula compara fertilizante, minúscula compara modo de aplicação.

Fonte: Próprio autor, 2015.

Observa-se que no 8º dia após a adubação, que a injeção do DLS foi eficiente para manter teores de NH_4^+ superiores a aplicação superficial, onde o mesmo benefício da injeção é observado 22 dias após a adubação com DLS (Tabela 5). Estudo feito por Zhang et al., 2015, na China, avaliou a mistura

de DCD junto com a ureia no cultivo de hortaliças, incorporados a 15 cm de profundidade em um solo siltoso, e observaram aumento no teor de NH_4^{+} quando comparado a ureia sem DCD, durante dois anos de avaliações.

O bloqueio da nitrificação no fertilizante orgânico (DLS) foi verificado no 22º dia após a adubação quando injetado ao solo (Tabela 5). A diferença nos teores de NH_4^{+} nos tratamentos com fertilizante orgânico (DLS e DLS+DCD) observados aos 22 dias, pode ser relacionado à atividade microbiana mais lenta, em função das menores temperaturas ocorridas durante o inverno.

Na safra de milho 2013/2014 (Tabela 5), novamente se observa-se que a injeção do DLS foi eficiente na manutenção no teor de NH_4^{+} em relação a aplicação superficial. Nesta safra a DCD inibiu a nitrificação no 1º dia após a adubação, quando misturada ao DLS e injetado no solo.

6.4 CONCLUSÃO

As estratégias de uso agrícola com o DLS apresentaram vantagem ambiental, sendo a a dicianodiamida foi eficiente no bloqueio da nitrificação aos 28 dias após a adubação quando misturado com a ureia no Nitossolo, enquanto que no Cambissolo a inibição ocorreu em ambos os fertilizantes com adição de DCD, enquanto que a injeção dos fertilizantes, eficiente na manutenção de maiores teores de amônio no solo.

REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P. **Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42: 95-102, 2007.

AITA, C. et al. **Redução na velocidade da nitrificação no solo após aplicação de cama de aviário com dicianodiamida.** Ciência Rural, 43: 1387-1392, 2013.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P. **Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42: 95-102, 2007.

AITA, C. et al. **Injection of dicyandiamide-treated pig slurry reduced ammonia volatilization without enhancing soil nitrous oxide emissions from no-till corn in southern Brazil.** Journal Environmental Quality, 43:789–800, 2014.

CAHALAN, E. et al. **The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide and methane emissions after cattle slurry application to Irish grassland.** Agriculture, Ecosystems & Environment, 199: 339–349, 2014.

CAMERON K.C.; DI H. J.; MOIR J. L. **Nitrogen losses from the soil/plant system: a review.** Annals of Applied Biology, 162:145–173, 2013.

CHADWICK, D. et al. **Manure management: Implications for greenhouse gas emissions.** *Animal Feed Science and Technology*, 166–167:514–531, 2001.

CLAY, D.E.; MALZER, G.L.; ANDERSON, J.L. **Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors.** *Soil Science Society of America*, 54:263–266, 1990.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 400p. 10. ed. Porto Alegre: SBRS-Núcleo Regional Sul, 2004.

COOKSON, W.R.; CORNFORTH, I.S. **Dicyandiamide slows nitrification in dairy cattle urine patches: effects on soil solution composition, soil pH and pasture yield.** *Soil Biol. & Biochemistry*, 34:1461–1465, 2002.

DI H. J.; CAMERON K. C. **How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures?** *Soil Use and Management* 28:54–61, 2005.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 3 ed. 356p., 2013.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Solos do Estado de Santa Catarina.** Rio de Janeiro, 2004. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46). 726p.

GIACOMINI, S. J. et al. **Imobilização do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:41-50, 2009.

HERNÁNDEZ, D.; POLO, A.; PLAZA, C. **Long-term effects of pig slurry on barley yield and N use efficiency under semiarid Mediterranean conditions.** European Journal Agronomy, 44:78– 86, 2013.

KELLIHER F.M. et al. **The temperature dependence of dicyandiamide (DCD) degradation in soils.** Soil Biology & Biochemistry, v. 40, p. 1878-1882, 2008.

KIM D.; SAGGAR, S.; ROUDIER, P. **The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a metaanalysis.** Nutrient Cycling Agroecosystems, 93:51–64, 2012.

LI, J. et al. **Use of nitrogen process inhibitors for reducing gaseous nitrogen losses from land-applied farm effluents.** Biology and Fertility of Soils, 50:133–145, 2014.

LIU, G.; LI, Y.; ALVA, A.K. **High water regime can reduce ammonia volatilization from soils under potato production.** Communications in Soil Science and Plant, 38:1203-1220, 2007.

LOURENZI, C., R. et al. **Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:949-958, 2014.

MALHI, S.S.; MCGILL, W.B. **Nitrification in three Alberta soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration.** Soil Biology and Biochemistry, 14:393-399, 1982.

O'CONNOR, P.J. et al. **The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on herbage production when applied at different times and rates in the autumn and winter.** Agriculture, Ecosystems and Environment 152: 79– 89, 2012.

O'CALLAGHAN, M. et al. **Effect of nitrification inhibitor dicyandiamide on microbial communities in a pasture soil amended of bovine urine.** Soil Biology & Biochemistry, 42: 1425-1436, 2010.

RECOUS, S. et al. **Soil inorganic N availability: Effect on maize residue decomposition.** Soil Biology and Biochemistry, 27:1529-1538, 1995.

ROCHETTE, P. et al. **Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison.** Soil Tillage Research, 103:310-315, 2009.

SANGOI, L. et al. **Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório.** Ciência Rural, 33:87-692, 2003.

SELBIE, D.R. et al. **Improving nitrogen efficiency using a nitrification inhibitor on urine-affected soil—a grassland lysimeter study.** In: Proceedings of Agricultural Research Forum. Tullamore, Co., Offaly, 2 pp. 2011.

SINGH, N.S.; VERMA, A. **The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: a review.** Environmental Practice 4:266-279, 2008.

SMITH, E, et al. **Simulated management effects on ammonia emissions from field applied manure.** Journal of Environmental Management. 90: p.2531-2536, 2009.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H. M.; MARCELLA L. de C. **Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors.** Soil Biology and Biochemistry 52:82-89, 2012.

SUBBARAO, G. V. et al. **Scope and Strategies for**

Regulation of Nitrification in Agricultural Systems—Challenges and Opportunities. Critical Reviews in Plant Sciences, 25: p.303-335, 2006.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VALLEJO, A. et al. **Comparison of N losses (NO_3^- , N_2O) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate.** Plant and soil, v.272, n.1-2, p.313-325, 2005.

VELTHOF, G. L.; MOSQUERA, J. **The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v.140, p.298-308, 2011.

WEBB, J. et al. **The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response – A review.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v.137, p.39-46, 2010.

WULF, S.; MAETING, M.; CLEMENS, J. **Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: Greenhouse gas emissions.** Journal Environmental Quality, 31:1795-1801, 2002.

WILLIAMSON, J.C.; MENNEER, J.C.; TORRENS, R.S.
Impact of dicyandiamide on the internal nitrogen cycle of a volcanic, silt loam soil receiving effluent. Applied Soil Ecology, 4, 39–48, 1996.

ZAMAN M. & BLENNERHASSETT JD. **Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system.** Agri Ecosys Environ 136:236–246, 2010.

ZAMAN, M. et al. **Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system.** Soil Biology and Biochemistry, v.41, p.1270-1280, 2009.

ZAMAN, M. et al. **Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts.** Biology and Fertility of Soils, 40:101–109, 2004.

7 ARTIGO II

INJEÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS AO SOLO COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO REDUZ A VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA.

RESUMO

A aplicação de dejetos suínos na superfície do solo pode potencializar as perdas de N por volatilização de NH_3 , reduzindo seu potencial fertilizante e aumentando a poluição ambiental. A injeção de fontes de N ao solo e o uso de inibidor de nitrificação podem melhorar a eficiência de utilização de N aplicada e minimizar perdas para o ambiente. O objetivo deste trabalho foi investigar o uso destas estratégias a fim de avaliar as perdas de N no sistema solo-atmosfera. O experimento foi conduzido em condições controladas, com delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2 \times 2$ com três repetições, onde o fator “A” foi fertilizantes (ureia, DLS, DLS+inibidor de nitrificação e testemunha) o fator “B” foi o tipo de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo e Nitossolo Vermelho Eutrófico) o fator “C” foi a condição de pH (natural e corrigido) e o fator “D” foi a forma de aplicação dos fertilizantes (injetado e superficial). A dose de DLS aplicado foi de $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e a dose do inibidor de nitrificação foi de 10 kg ha^{-1} . As avaliações de volatilização de NH_3 foram realizadas até o 14º dia após a fertilização. No final do experimento, realizaram-se as avaliações de NH_4^+ e NO_3^- no solo. O inibidor de nitrificação não afetou a emissão de NH_3 no Nitossolo enquanto no Argissolo a sua influência foi inferior a ao DLS sem DCD. A injeção dos fertilizantes reduziu a emissão de NH_3 .

Palavras chave: dicianodiamida, dejetos suínos, volatilização de amônia.

ABSTRACT

MANURE MERGER NET SWINE THE GROUND WITH
INHIBITOR NITRIFICATION INFLUENCE THE
AMMONIA VOLATILIZATION.

The application of swine manure on the soil surface can enhance the N losses by NH_3 volatilization, reducing their potential fertilizer and increasing environmental pollution. The injection of the N sources and the use of soil nitrification inhibitor can improve the utilization efficiency of nitrogen applied and to minimize losses to the environment. The objective of this study was to investigate the use of these strategies in order to evaluate the losses of N in the soil-atmosphere system. The experiment was conducted under controlled conditions in a completely randomized design in a factorial $4 \times 2 \times 2 \times 2$ with three replications, where factor "A" was fertilizers (urea, DLS, DLS + nitrification inhibitor and control) the factor "B" is the type of soil (Red-Yellow Ultisol and Rhodic Kandiudalf) the "C" factor was the pH condition (natural and corrected) and the factor "D" was the form of fertilizer application (injected and surface). The dose of DLS applied was $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, and the dose of the nitrification inhibitor was 10 kg ha^{-1} , reviews of NH_3 volatilization were performed until the 14th day after fertilization. At the end of the experiment, there were reviews of NH_4^+ and NO_3^- in the soil. The nitrification inhibitor did not affect the emission of NH_3 in Nitosol while in Argisol his influence was less than the DLS without DCD. The injection of fertilizers reduces the emission of NH_3 .

Keywords: dicyandiamide, swine manure, ammonia volatilization.

7.1 INTRODUÇÃO

Diversas áreas dedicadas à suinocultura na região Sul do Brasil encontram-se fortemente impactadas, principalmente, por aplicações excessivas e sucessivas de dejetos líquidos de suínos (DLS) (Aita, et al 2007) , resultando em passivo ambiental (Li et al., 2014).

Sabe-se que a aplicação de DLS e ureia na superfície do solo favorece perdas gasosas de amônia (NH_3) além do óxido nitroso (N_2O) para o DLS (Sangoi et al., 2003; Cameron et al., 2013), o que reduz o potencial fertilizante dos dejetos e impacta negativamente o ambiente (Zaman et al. 2009). Sua utilização eficiente está condicionada à Injeção no solo (Lara Cabezas et al., 2000), mas podem haver variações em função das condições climáticas e dos tipos de solos.

Entre as tecnologias para mitigar os efeitos poluidores e melhorar o aproveitamento agronômico (Di et al., 2009; Zhu et al., 2014), tem se avaliado a injeção dos adubos orgânicos ao solo, o que tem sido uma alternativa adotada a campo em países de clima temperado, mostrando-se eficiente para reduzir a volatilização de amônia (Dell et al., 2012; Pote e Meisinger, 2014).

A injeção de DLS no solo após a sua aplicação pode reduzir substancialmente emissões de amônia (Huijsmans et al., 2003; Webb et al. 2010; Aita et al., 2014), limitando a exposição ao ar e, aumentando a imobilização de NH_4^+ devido a um maior contato do dejetos com as partículas do solo (Dell et al., 2011).

O inibidor da nitrificação dicianodiamida (DCD) é investigado em muitos países, para diminuir a lixiviação de NO_3^- (Di e Cameron, 2005; O'Connor et al., 2012), pois bloqueia a ação da enzima amônia monooxigenase, responsável pela oxidação de NH_4^+ para nitrito (NO_2^-), principalmente por bactérias *Nitrosomonas* (Singh et al., 2008), permanecendo o N por mais tempo na forma de NH_4^+ no solo, o que pode

favorecer as perdas de N por volatilização de NH_3 . Todavia, os poucos resultados existentes são conflitantes, indicando aumento na volatilização de NH_3 , ausência de efeito e até mesmo redução na emissão de NH_3 (Kim et al., 2012).

Assim, o uso combinado de inibidores da nitrificação e a injeção de DLS podem reduzir perdas de N e aumentar a eficiência de uso. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de dejetos líquidos de suínos injetado no solo, e o uso de inibidor de nitrificação sobre a volatilização de amônia em ambiente controlado, com condições variadas de textura e pH do solo.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob delineamento inteiramente casualizado, em junho de 2014 em Lages-SC.

O esquema fatorial utilizado foi $4 \times 2 \times 2 \times 2$ com três repetições. O fator “A” foi o tipo de fertilizante: ureia, dejetos líquidos de suínos (DLS), DLS + inibidor de nitrificação e testemunha; o fator “B” foi o tipo de solo: arenoso e argiloso; o fator “C” foi a condição de pH: natural e corrigido; o fator “D” foi a forma de aplicação dos fertilizantes: injetado e superficial.

O DLS caracterizado apresentou massa seca de 156 g kg^{-1} ; NT; $8,2 \text{ kg m}^{-3}$; N-amoniaco: $4,2 \text{ kg m}^{-3}$; N-nítrico: $0,1 \text{ kg m}^{-3}$; P: $3,9 \text{ kg m}^{-3}$; K: $3,3 \text{ kg m}^{-3}$; pH: 6,6. A dose de dejetos líquidos de suínos foi de $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, baseada na recomendação de N de 140 kg m^{-3} , simulando uma produtividade de 8 Mg ha^{-1} de milho (CQFS-RS/SC, 2004). Para o fertilizante mineral, utilizou-se a ureia convencional com 45 % de N. Em ambas as fontes de N, a adição de nitrogênio em cada pote equivaleu a $70 \text{ mg N vaso}^{-1}$.

O inibidor de nitrificação utilizado foi a dicianodiamida (DCD), como produto puro Agrotain Plus®, na forma de pó branco, tendo em sua formulação 81% de DCD,

foi misturado aos dejetos no momento da aplicação ao solo, na dose de 10 kg ha^{-1} . dose de 10 kg ha^{-1} .

A injeção dos fertilizantes foi realizada misturando- os em 250 g de solo, adicionado em cada pote. Houve padronização da umidade considerando o mesmo volume do dejetos líquido, de água empregada na diluição da ureia, DLS e no tratamento testemunha. A aplicação superficial dos fertilizantes foi realizada com o auxílio de uma proveta de 50 ml com distribuição dos mesmos sobre o solo.

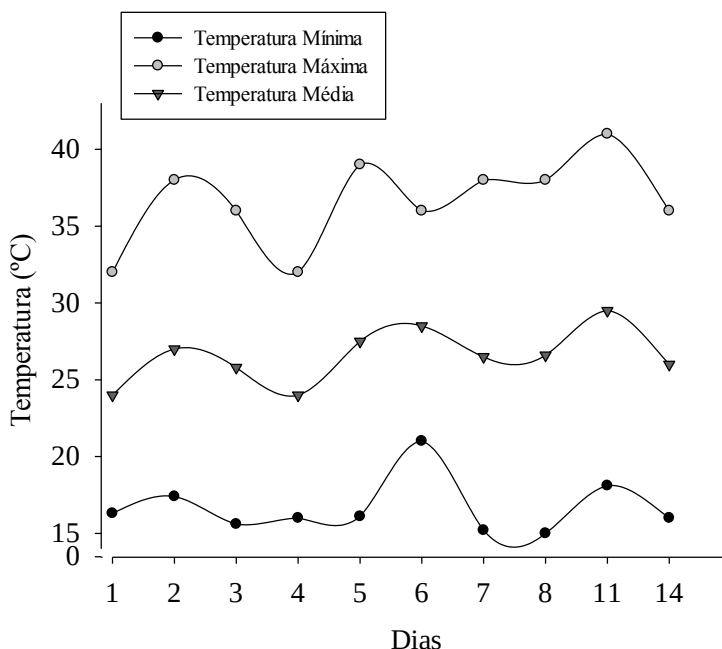
Os solos utilizados foram um Nitossolo Vermelho Eutrófico, proveniente de Concórdia/SC, e um Argissolo Vermelho Amarelo de Lauro Muller/SC (Embrapa 2013), coletados na camada de 0-20 cm, secos ao ar e peneirados em peneira com malha de 3 mm, tendo as seguintes características químicas e físicas para Nitossolo Vermelho Eutrófico com pH (H_2O): 4,8; P: $2,9 \text{ mg dm}^{-3}$; K: 71 mg dm^{-3} ; matéria orgânica: $3,6 \text{ g kg}^{-1}$; areia 90 g kg^{-1} ; silte: 160 g kg^{-1} ; argila: 750 g kg^{-1} , já o Argissolo Vermelho Amarelo apresentou pH (H_2O): 4,2; P: $7,1 \text{ mg dm}^{-3}$; K: 70 mg dm^{-3} ; matéria orgânica: $1,3 \text{ g kg}^{-1}$; areia 690 g kg^{-1} ; silte: 70 g kg^{-1} ; argila: 240 g kg^{-1} . Uma parte de cada solo teve o seu pH corrigido para pH 6,0 houve incubação com calcário dolomítico por 30 dias. A análise granulométrica foi determinada conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997), e sua caracterização química foi realizada com as metodologias descritas por Tedesco et al, (1995).

O solo foi adicionado aos potes com umidade mantida a 60 % da capacidade de campo (CC) para o Argissolo e 70% da CC para o Nitossolo. Estas umidades foram testadas previamente, onde se observou que a manutenção dos solos nessas umidades permite que os poros não sejam obstruídos com água, preservado o movimento dos gases.

A captação da NH_3^+ volatilizada do solo foi feita em tubos falcon com capacidade de 15 ml, contendo 10 ml de H_3PO_4 0,5 N. Dentro deste tubo colocou-se solução de H_3PO_4

(0,5 N), glicerina (1 %) e duas fitas de papel-filtro (1 x 8 cm) imersos nesta solução com a finalidade de aumentar a superfície de contato da NH_3^+ com o H_3PO_4 . As avaliações de NH_3^+ foram realizadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5, 6, 7, 8º, 11º e 14º dias após a aplicação dos fertilizantes, sendo monitoradas as temperaturas na casa de vegetação (Figura 1).

Figura 1 - Temperatura mínima, máxima e média ocorridas durante o período de condução do experimento, sob condições controladas.



Fonte: Próprio autor, 2015.

A quantidade de N-NH_3 volatilizada foi determinada no mesmo dia das coletas, por arraste de vapor, em aparelho semimicro Kjeldahl, com destilação de uma alíquota de 10 mL, adicionando-se 10 mL de NaOH 10 N em cada amostra.

Ao final das avaliações foram calculados os fluxos de NH_3 , as quantidades acumuladas de NH_3 que volatilizaram e a proporção do N aplicado que foi perdido por volatilização de NH_3 .

Após o 14º dia de avaliação, as amostras de solo foram homogeneizadas sendo retirada uma amostra para extração com KCl 1 mol L^{-1} e posterior destilação em equipamento de arraste de vapores do tipo semimicro Kjeldhal (Tedesco et al., 1995), para determinação dos teores de N-mineral (NH_4^+ + NO_3^-).

A análise estatística foi realizada considerando os fatores em cada solo separadamente, sendo realizada análise de variância e comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

7.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Com base nos resultados da análise de variância (Apêndice H e I) serão apresentados os efeitos principais e as interações significativas para as emissões de amônia.

Os efeitos principais significativos ($P < 0,05$) na emissão de NH_3 observados no Nitossolo Vermelho Eutrófico (Figuras 2 a, c, e) ocorreram para o tipo de fertilizante no 3º, 6º e 7º dia de avaliação. Para o modo de aplicação, foi observado efeito no 2º, 5º e 6º, dia após a aplicação dos fertilizantes. No Argissolo Vermelho Amarelo, os efeitos significativos ($P < 0,05$) para a emissão de NH_3 foram observados para os fertilizantes no 1º, 2º, 8º e 11º dia, para o modo de aplicação no 1º, 2º e 8º dia após a aplicação dos fertilizantes.

Os maiores fluxos de volatilização de amônia foram observados no 3º dia após a aplicação dos fertilizantes nos dois solos (Figura 1). As elevadas taxas iniciais de perda de N dos dejetos por volatilização de NH_3 observadas nos dois solos, (Figura 2) e são atribuídas à elevada concentração inicial de N amoniacal no solo, estando de acordo com a maioria dos trabalhos realizados com DLS (Misselbrook et al., 2002), da

mesma forma, essa cinética é observada em estudos com adição de ureia, pois o processo inicia logo após a adição da ureia, pela rápida hidrólise no solo (Costa et al., 2003). Normalmente, a máxima perda de amônia por volatilização concentra-se nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante (Sangoi et al., 2003).

O uso de inibidor de nitrificação aplicado junto com o DLS no Nitossolo (Figura 2 a), apresentou emissão de NH_3 inferior quando comparado ao DLS sem DCD no 3º dia após a adubação. No Argissolo este inibidor não apresentou efeito, quando adicionado ao DLS.

A ação inibidora da dicianodiamida é evidenciada quando, o N permanece por mais tempo na forma de NH_4^+ no solo, o que pode entretanto contribuir com perdas de N por volatilização de NH_3 . Os efeitos da DCD sobre a emissão NH_3 nem sempre são coerentes. Por exemplo, este resultado diverge de Zaman et al., (2009) e Zaman e Blennerhassett (2010), onde misturando DCD a urina de animais, observaram aumento nas emissões de NH_3 , bem como com Prakasa Rao e Puttanna (1987), que relataram aumento nas perdas por volatilização de NH_3 devido à aplicação de inibidor de nitrificação juntamente com adubo mineral. Entretanto, há convergência com Pujol (2012), onde adicionando DCD a DLS concluiu que a dicianodiamida preservou, na forma amoniacal, o N dos dejetos aplicados sobre um Argissolo Vermelho sem aumentar a emissão de NH_3 para a atmosfera.

A injeção das fontes de N no solo mostrou menor emissão de NH_3 em relação à aplicação superficial, terceiro dia de avaliação. Esta redução resulta da menor exposição da dejetos ao ar e favorece a adsorção e retenção de N-amoniacal em partículas de solo. (Dell et al., 2011). Este resultado esta de acordo com Webb et al., (2014), que testaram a Injeção imediata de esterco de suínos, bovinos e de aves em dois solos contrastantes na Inglaterra e verificaram redução na emissão de NH_3 em relação a aplicação na superfície.

O efeito do incremento da temperatura na volatilização de NH_3 , também favorece esta perda. Tasca et al., (2011) avaliaram o efeito da temperatura sobre a emissão de NH_3 com a adição de ureia, verificaram que as emissões foram dependente da temperatura, e as perdas foram 30% maiores na temperatura de 35° C, em relação a 18° C. Neste experimento, o pico de volatilização coincide com temperatura máxima superior a 35°C, o que também favoreceu a maior emissão de NH_3 .

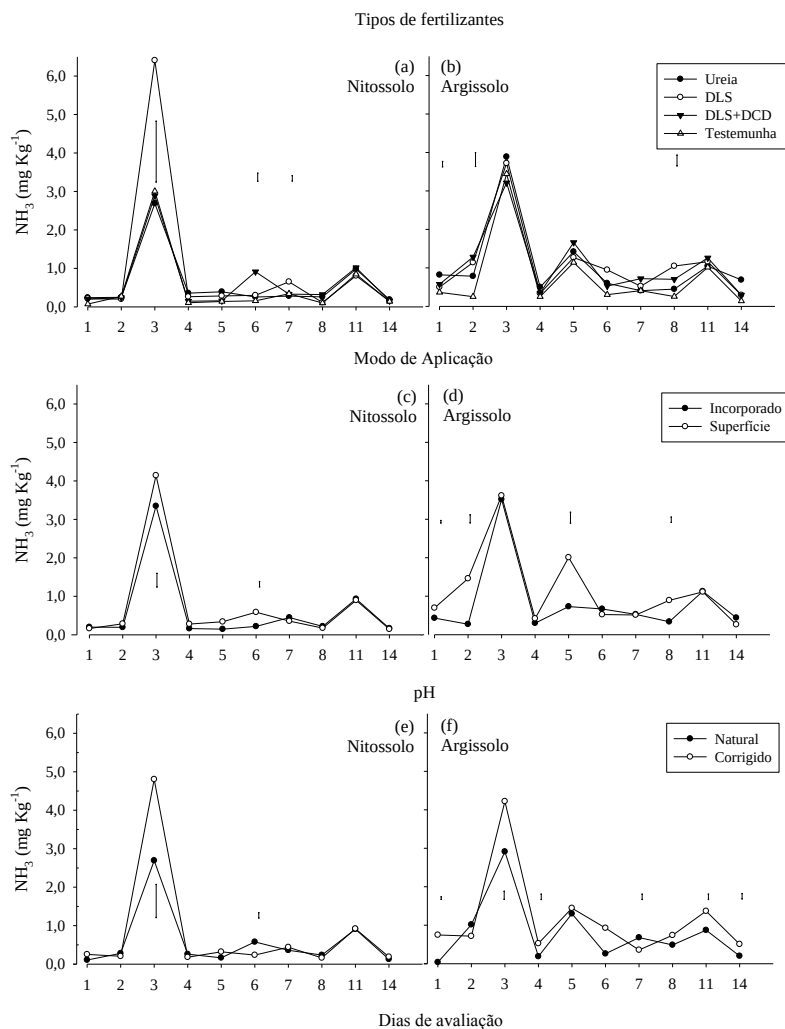
A análise da variância apresentou interação significativa entre o modo de aplicação com o tipo de fertilizantes (Tabela 1) e pH com o tipo de fertilizantes (Tabela 2).

No Nitossolo Vermelho Eutrófico, houve interação significativa entre modo de aplicação e tipo de fertilizante no 2º, 3º e 6º dia após a adubação (Tabela 1).

O pico de volatilização foi observado no 3º dia com a aplicação superficial de DLS (2240 μg vaso⁻¹). Este resultado está de acordo com Gonzatto et al., (2013), que adicionando 60 m³ ha⁻¹ DLS sobre a superfície de um Argissolo Vermelho sem resíduo vegetal, observaram aumento da volatilização de NH_3 quando comparado com a presença de resíduo vegetal.

Neste estudo, observou-se que no 6º dia de avaliação, a adição de DLS+DCD incorporados ao Nitossolo, emitiu menos NH_3 que o mesmo tratamento aplicado em superfície. Trabalho realizado por Aita et al., (2014) estudaram a Injeção de DLS com dicianodiamida em solo com mais de 400 g kg⁻¹ de areia, também verificaram que as emissões de amônia foram significativamente reduzidas, em relação a aplicação superficial de DLS+DCD, da mesma forma que Dell et al., 2012, observaram redução de emissão de amônia com a Injeção de DLS e esterco de bovinos sem o uso de inibidor de nitrificação, num Argissolo Vermelho sob plantio direto na América do Norte.

Figura 2 - Efeito principal do tipo de fertilizantes, modo de aplicação, e pH sobre a emissão de NH_3 (mg kg^{-1}) em um Nitossolo Vermelho Eutroférico e num Argissolo Vermelho Amarelo durante 14 dias de avaliação. A barra vertical representa a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (5%).



Fonte: Próprio autor, 2015.

O uso de inibidor de nitrificação aplicado junto com o DLS Injetado no Nitossolo (Tabela 1) no 2º dia após a adubação, promoveu maior emissão de NH_3 , em relação ao DLS sem DCD Injetado. Entretanto no 3º dia de avaliação onde ocorreu o pico de emissão o uso de DCD não se diferenciou dos demais fertilizantes tanto Injetados ou em superfície.

Observa-se no Argissolo (tabela 1), que no 2º dia após a adubação, a Injeção de DLS+DCD teve menor emissão de amônia que a aplicação superficial do mesmo fertilizante, relacionando também com a maior exposição ao ar. Este resultado também está de acordo com Lara Cabezas et al., (2000), ao observar que a Injeção de cama de aves ao solo evita a volatilização de amônia independente de sua origem, pois ao difundir para regiões com pH ácido esse gás se transforma em NH_4 .

Na interação significativa entre tipo de fertilizante e pH (Tabela 2), observa-se que a adição de calcário no Nitossolo e no Argissolo no 3º após a adubação, a maior emissão de NH_3 ocorreu com a aplicação de DLS, o mesmo ocorrendo com a ureia no Argissolo. Trabalho realizado por Tasca et al., (2011) avaliando a volatilização de NH_3 com adição de ureia num Cambissolo Húmico em laboratório com pH corrigido e natural (5,5), concluíram que a volatilização de NH_3 aumentou no solo calcariado. O efeito do pH na volatilização da NH_3 está ligado à hidrólise da ureia (Fan e Mackenzie, 1993), cuja velocidade de reação, que resulta na formação de NH_3 , aumenta com a diminuição da acidez (Sengik et al., 2001), predispondo o N a ser perdido para a atmosfera.

Tabela 1 - Interação entre tipo de fertilizantes x modo de aplicação, sobre os teores de amônia ($\mu\text{g vazo}^{-1}$) em um Nitossolo Vermelho Eutroférico, no 2º, 3º e 6º dias e em um Argissolo Vermelho Amarelo, no 2º dia após a adição dos fertilizantes.

Modo aplicação	Amônia ($\mu\text{g vazo}^{-1}$)			
	Ureia	DLS	DLS+DCD	Testemunha
-----Nitossolo Vermelho Eutrófico-----				
-----2º dia após a adubação-----				
Injetado	65,1 Aba	46,3 Ba	76,7 Aa	100,7Aa
Superfície	60,4 Aa	55,7 Aa	45, 4Aa	36,8 Ab
-----3º dia após a adubação-----				
Injetado	603,6 Aa	964,5 Ab	605,7 Aa	693,2 Aa
Superfície	735,4 Aa	2240,3 Aa	840,8 Aa	810,5 Aa
-----6º dia após a adubação-----				
Injetado	78,4 Aa	65,7 Aa	45,4 Ab	33, 2 Aa
Superfície	50,5 Aa	85,3 Ba	411,8 Aa	45, 5Aa
-----Argissolo Vermelho Amarelo-----				
-----2º dia após a adubação-----				
Injetado	88,1 Aa	95,6 Ab	43,7 Ab	46, 9Aa
Superfície	305,8 Ba	476,4 Aa	600,7 Aa	80,6 Ba

Letra maiúscula compara fertilizante e minúscula compara modo de aplicação.

Fonte: Próprio autor, 2015.

No Argissolo com pH corrigido (Tabela 2), a adição de DCD ao DLS ocasionou emissão de NH_3 menor que no DLS sem DCD no 3º e 8º dia após a adição de fertilizantes. Isso pode evidenciar que em condições de pH próximo a neutralidade que favoreceria a emissão de NH_3 , a presença do inibidor fez com que as emissões fossem inferiores as mesmas emissões que ocorrem com o DLS sem DCD.

Tabela 2 - Interação entre tipo de fertilizantes (ureia, DLS, DLS+DCD e testemunha) com pH (natural e corrigido), sobre os teores de amônia ($\mu\text{g vasso}^{-1}$) em um Nitossolo Vermelho Eutroférico, no 3º e 6º dias e em um Argissolo Vermelho Amarelo, no 3º, 4º, 8º e 11º dias após a adição dos fertilizantes.

pH	Amônia ($\mu\text{g vasso}^{-1}$)			
	Ureia	DLS	DLS+DCD	Testemunha
-----Nitossolo Vermelho Eutrófico-----				
-----3º dia após a adubação-----				
Natural	582,3 Aa	662 Ab	653 Aa	795 Aa
Corrigido	762,5 Ba	2543 Aa	792 Ba	708 Ba
-----6º dia após a adubação-----				
Natural	50,4 Ba	85 Ba	412 Aa	45 Ba
Corrigido	79,6 Aa	65 Aa	45 Ab	33 Aa
-----Argissolo Vermelho Amarelo-----				
-----3º dia após a adubação-----				
Natural	708,3 Ab	705,3 Ab	763,3 Aa	736,6 Aa
Corrigido	1236,6 Aa	1155,8 Aa	843,3 Ba	986,6 Aa
-----4º dia após a adubação-----				
Natural	23,3 Ab	75,8 Aa	26,6 Ab	66,6 Aa
Corrigido	228,3 Aa	93,3 Ba	148,3 Ba	60,2 Ba
-----8º dia após a adubação-----				
Natural	90,8 Aa	118,3Ab	213,3Aa	70,8 Aa
Corrigido	135,7 0Ba	406,6Aa	140,9Ba	58,3 Ba
-----11º dia após a adubação-----				
Natural	25,8 Ab	80,7Aa	53,3 Aa	43,3 Aa
Corrigido	320,5 Aa	66,6 Ba	95,8 Ba	26,6 Ba

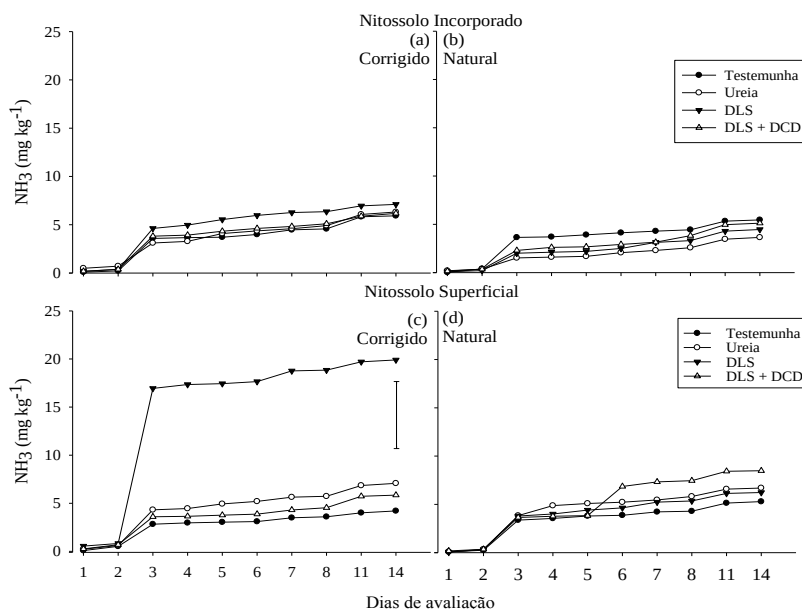
Letra maiúscula compara fertilizante e minúscula compara pH.

Fonte: Próprio autor, 2015.

A relação direta entre pH dos dejetos e volatilização de NH_3 após a aplicação dos mesmos no solo tem sido relatada em inúmeros trabalhos (Chantigny et al., 2007; Nyord et al., 2012). Nyord et al., (2012) compararam a emissão de NH_3 após a aplicação na superfície de DLS digerido anaerobicamente (pH=8,6) e de dejetos do mesmo lote de animais, porém in natura (pH 8,0). Apesar dos dois tipos de dejetos terem adicionado ao solo quantidades semelhantes, de N amoniacal a

emissão de NH_3 no tratamento com os dejetos biodigeridos foi quase o dobro daquela verificada no tratamento com dejetos in natura sendo que essa diferença foi atribuída pelos autores ao maior pH dos dejetos digeridos.

Figura 3 - Fluxo de N-NH_3 volatilizado acumulado (mg kg^{-1}) num Nitossolo após adição de fertilizantes, em dois modos de e duas condições de pH. A barra vertical representam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (5%).



Fonte: Próprio autor, 2015.

As emissões acumuladas de NH_3 mostram que as maiores perdas de N por volatilização ocorreram nas primeiras

72 horas após a aplicação dos fertilizantes no Nitossolo (Figura 3) e no Argissolo (Figura 3), em ambas as condições de pH e modo de aplicação dos fertilizantes.

Não houve efeito significativo de NH_3 acumulada para o Nitossolo com fertilizantes aplicado na superfície nas duas condições de pH e Injetado em pH natural. A maior emissão de NH_3 acumulada foi observada com a adição de DLS Injetado em condição de pH corrigido no Nitossolo (Figura 3 a). Esta emissão pode ser atribuída ao elevado teor de N amoniacal dos DLS ($4,2 \text{ kg m}^{-3}$), que constitui um dos principais fatores que influencia na volatilização de NH_3 (Sommer e Hutchings, 2001). Além do N amoniacal, o pH inicial elevado dos dejetos é outro fator que contribui para tais emissões (Mkhabela et al., 2009).

Tabela 3 - Valores de pH natural e corrigido observados 14 dias após a condução do experimento.

Solo	pH	
	Natural	Corrigido
Nitossolo	5,0	6,1
Argissolo	4,6	6,8

Fonte: Próprio autor, 2015.

Trabalho realizado por Dell et al., (2012), observaram que ao incorporar esterco suíno em lavoura de plantio direto, houve redução na emissão de NH_3 , em relação a aplicação superficial. No entanto, a alta emissão verificada neste estudo, pode ser relacionada ao pH, que em condições alcalinas o gás NH_3 não encontra sítios ácidos (H^+) que faria com que este gás volta-se a forma de NH_4^+ .

O inibidor de nitrificação, aplicado ao solo juntamente com o DLS não afetou a emissão de NH_3 observada no Nitossolo (Figura 3 a), nas duas condições de pH e de modo de aplicação. Com a aplicação de quantidades elevadas de N

amoniaco com os dejetos, especialmente em dose única era de se esperar que o inibidor de nitrificação favorecesse a volatilização de NH_3 . Isso porque a dicianodiamida (DCD) tem ação inibitória sobre a ação das bactérias responsáveis pela primeira etapa da nitrificação, preservando por mais tempo o N mineral na forma amoniacal, o que pode facilitar as perdas de NH_3 , conforme salientado por VanderZaag et al. (2011).

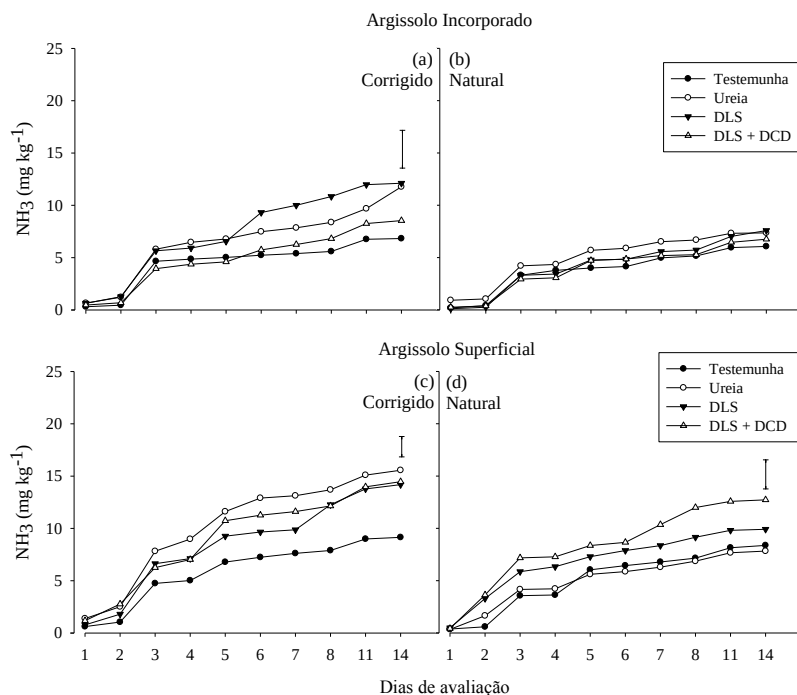
Observa-se efeito de fertilizantes nas emissões acumuladas de NH_3 no Argissolo com aplicação incorporada em pH corrigido (Figura 4a) e com a aplicação superficial nas duas condições de pH (Figuras 1c, d).

No Argissolo, (Figura 4 a), a maior emissão de NH_3 é verificada com a adição de ureia e DLS. Fontes de N adicionadas na superfície do solo com pH alcalino (ureia e DLS) apresentam perdas por emissão de NH_3 . Ernest e Massey (1960) relataram que a mudança de pH do solo de 5,0 para 7,5 aumentou cinco vezes a perda de N por NH_3 volatilizada. A elevação da temperatura aumenta a hidrólise da ureia e a taxa de transporte de NH_3 da solução para a atmosfera.

Nota-se que as emissões de NH_3 observadas no Argissolo (Figura 4) são maiores que as observadas no Nitossolo (Figura 3). Em solos com maior teor de argila, a perda por NH_3 é menor, devido ao maior poder tampão da acidez do solo e à maior capacidade do solo em reter o amônio produzido na hidrólise da ureia (Sommer, et al., 2004).

Todos os fertilizantes adicionados na superfície do solo em condição de pH corrigido (Figura 4 c) apresentam emissão de NH_3 maior que a testemunha, o que pode ser relacionado com o menor poder tampão do solo, com o pH alcalino do solo e com a aplicação superficial das fontes de N no solo. Já nas mesmas condições porém com pH natural (Figura 4 d) a adição de DLS e DLS+DCD emitiu mais NH_3 que a ureia e a testemunha.

Figura 4 - Fluxo de N-NH_3 volatilizado acumulado (mg kg^{-1}) num Argissolo após adição de fertilizantes, em dois modos de aplicação e duas condições de pH. A barra vertical representa a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (5%).



Fonte: Próprio autor, 2015.

Em relação à porcentagem N adicionado no solo com o N perdido por emissões de NH_3 , observa-se que dentre os fertilizantes adicionado no Nitossolo, o DLS Injetado e em condições de pH corrigido perdeu foi de 22,4% (Tabela 3).

Tabela 3- Quantidade de N perdido (%) em um Nitossolo Vermelho Eutrófico e em um Argissolo Vermelho Amarelo com dois modos de aplicação de fertilizantes e duas condições de pH.

Fertilizante	Argissolo - Injetado		Argissolo - Superfície	
	pH natural	pH corrigido	pH natural	pH corrigido
-----N perdido (%)-----				
Ureia	ns	7,1	2,0	9,2
DLS	ns	7,6	2,2	7,3
DLS+DCD	ns	2,6	6,2	7,7
Fertilizante	Nitossolo - Injetado		Nitossolo - Superfície	
	pH natural	pH corrigido	pH natural	pH corrigido
-----N perdido (%)-----				
Ureia	ns	ns	ns	4,1
DLS	ns	ns	ns	22,4
DLS+DCD	ns	ns	ns	2,36

ns: não significativo

Fonte: Próprio autor, 2015.

No Argissolo com fertilizantes injetados e em pH corrigido, as maiores porcentagem de perda de N são observados com a adição de ureia (7,1%) e DLS (7,6 %), enquanto a adição de fertilizantes na superfície e pH corrigido a maior perda de N é observada na ureia (9,2%). Apenas na condição de pH natura com adição de fertilizantes na superfície o DLS+DCD teve maior perda de N (6,2 %).

Observa-se que após 14 dias de avaliações, o inibidor de nitrificação não foi eficiente na manutenção dos teores de NH_4^+ no solo (Tabela 3), uma vez que no Argissolo o teor no DLS+DCD foi inferior ao teor de NH_4^+ no solo com aplicação de ureia, enquanto que no Nitossolo o teor de NH_4^+ não se diferiu da testemunha (sem fertilizante). Isto pode ser relacionado com a decomposição da DCD, onde a temperatura média ocorrida neste período foi superior a 25°C, pois ela sofre efeito direto e proporcional na decomposição em função da

temperatura (Di & Cameron, 2005). Os teores significativos de NO_3^- no solo (Tabela 3), foram observados no Nitossolo onde a adição de fertilizantes não ocasionou diferença entre os mesmos, apenas houve diferença dos fertilizantes com a testemunha.

Tabela 3: Efeito simples par tipo de fertilizante, para os teores de amônio (mg kg^{-1}) e nitrato (mg kg^{-1}), observado num Argissolo Vermelho Amarelo e num Nitossolo Vermelho Eutrófico, 14 dias após a adição dos fertilizantes.

Fertilizante	Amônio (mg kg^{-1})	Nitrato (mg kg^{-1})
----- Argissolo -----		
Uréia	131,7 A	30,5 ^{ns}
DLS	102,2 B	12,9 ^{ns}
DLS+DCD	89,8 B	16,0 ^{ns}
Testemunha	64,4 C	30,5 ^{ns}
----- Nitossolo -----		
Uréia	59,0 A	27,5 A
DLS	22,2 B	23,4 A
DLS+DCD	20,5 BC	25,7 A
Testemunha	8,2 C	18,2 B

Letra maiúscula compara fertilizantes na coluna. ns: não significativo

Fonte: Próprio autor, 2015.

A partir dos resultados do presente estudo, considera-se importante, que em pesquisas futuras, estas avaliações sejam realizadas em outras condições de solos presentes nas regiões produtoras de suínos e de descarte de DLS, para averiguação destas mesmas variáveis em condições controladas e de campo. Ademais além dos benefícios ambientais obtidos pela adoção destas tecnologias de uso agrícola de DLS, será interessante mensurar e apresentar o ganho financeiro das mesmas para os produtores rurais.

7.4 CONCLUSÃO

A injeção dos fertilizantes reduziu a emissão de NH_3 para a atmosfera nos dois solos avaliados.

A dicianodiamida misturada no DLS aplicado no Nitossolo não aumentou a emissão de NH_3 e não inibiu a nitrificação do amônio no solo.

REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P. **Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42: 95-102, 2007.

AITA, C. et al. **Injection of dicyandiamide-treated pig slurry reduced ammonia volatilization without enhancing soil nitrous oxide emissions from no-till corn in southern brazil.** Journal Environmental Quality. 43:789–800, 2014.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. **Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.631-637, 2003.

CHANTIGNY, M.H. et al. **Ammonia volatilization following surface application of raw and treated liquid swine manure.** Nutrient Cycling. Agroecosystems, 85:275-286, 2009.

CAMERON K.C.; DI H. J.; MOIR J. L. **Nitrogen losses from the soil/plant system: a review.** Annal Applied Biology 162:145–173, 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 400p.10. ed. Porto Alegre: SBRS-Núcleo Regional Sul, 2004.

DELL, C.J. et al. **Low-disturbance manure incorporation effects on ammonia and nitrate loss.** Journal Environ. Quality, 41:928-937, 2012.

DELL, C.J.; MEISINGER, J.J.; BEEGLE, D. E. **Subsurface application of manures slurries for conservation tillage and**

pasture soils and their impact on the nitrogen balance. Journal Environmental Quality, 40:352-361, 2001.

DI, H.J.; CAMERON, K.C. How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures? Soil Use and Management, 28: 54-61, 2005.

DI, H.J. et al. Nitrification driven by bacteria and not archaea in nitrogen-rich grassland soils. Nature Geoscience 2:621–624, 2009.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Rio de Janeiro, 2 ed. 306p., 2006.

ERNST, J.W.; MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. Soil Science Society America Proceedings, v. 24, p. 87-90, 1960.

FAN, M.X.; MACKENZIE, A.F. Ureia e interações de fertilizantes fosfatados em micrositos: volatilização de amônia e mudanças de pH. Sci. sol. Soc. Sou. J., 57:839-845, 1993.

GONZATTO, R. et al. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. Ciência Rural, v.43, n.9, p.1590-1596, set, 2013.

HUIJSMANS, J.F.M.; HOL, J.M.G.; VERMEULEN, G.D. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. Atmos. Environ. 37:3669-3680, 2003.

KIM, D.; SAGGAR, S.; ROUDIER, P. **The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a meta-analysis.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, 93:51-64, 2012.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. **Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:363-376, 2000.

LI, J. et al. **Use of nitrogen process inhibitors for reducing gaseous nitrogen losses from land-applied farm effluents.** Biology and Fertility of Soils, 50:133–145, 2014.

MISSELBROOK, T. H. et al. **Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: results of some UK field-scale experiments.** Biosystems Engineering, 81: 313-321, 2002.

NYORD, T.; HANSEN, M.N.; BIRKMOSE, T.S. **Ammonia volatilization and crop yield following land application of solid-liquid separated, anaerobically digested, and soil injection animal slurry to winter wheat.** Agriculture Ecosystems and Environment, 160:75–81, 2012.

O'CONNOR, P.J. et al. **The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on herbage production when applied at different times and rates in the autumn and winter.** Agriculture, Ecosystems and Environment 152: p.79– 89, 2012.

PRAKASA RAO, E.V.S., PUTTANNA, K. **Nitrification and ammonia volatilization losses from urea and dicyandiamide-treated urea in a sandy loam soil.** Plant Soil 92, 201–206, 1987.

PEREIRA, J. et al. **Effect of cattle slurry pre-treatment by separation and addition of nitrification inhibitors on gaseous emissions and N dynamics: A laboratory study.** Chemosphere 79: 620–627, 2010.

POTE, D.H.; MEISINGER, J.J. **Effect of poultry litter application method on ammonia volatilization from a conservation tillage system.** Soil and Water Conservation Society, 69:17-25, 2014.

PUJOL, S.B. **Emissão de amônia e dinâmica do nitrogênio no solo com parcelamento da dose e adição de inibidor de nitrificação em dejetos de suínos.** Santa Maria: UFSM, 100f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

ROCHETTE, P. et al. **Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands.** Nutr. Cycling Agroecosyst. 84:71-80, 2009.

SANGOI, L. **Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório.** Ciência Rural, v.33, p.87-692, 2003.

SENGIK, E.; KIEHL, J.C.; SILVA, M.A.G. **Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com ureia.** Acta scientiarum, 23:1099-1105, 2001.

SINGH, N.S.; VERMA, A. **The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: a review.** Environmental Practive, 4:266-279, 2008.

SOMMER, S.G.; SHJOERRING, J.K.; DENMEAD, O.T. **Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops.** Advances in Agronomy, v. 82, p.557-622, 2004.

SUBBARAO, G. V. et al. **Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems - Challenges and Opportunities.** Critical Reviews in Plant Sciences, 25: p.303-335, 2006.

TASCA, F. A. et al. **Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35:493-502, 2011.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

WEBB, J. et al. **The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response: A review.** Agric. Ecosys. Environ. 137:39-46, 2010.

WEBB, J. et al. **Emission factors for ammonia and nitrous oxide emissions following immediate manure incorporation on two contrasting soil types.** Atmospheric Environment 48, 280-287, 2014.

ZAMAN, M. et al. **Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system.** Soil Biology & Biochemistry 41 1270–1280, 2009.

ZAMAN, M.; BLENNERHASSETT, J.D. **Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate**

leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. Agriculture Ecosystems and Environment, 136:236-246, 2010.

ZHU, Z. et al. **The different effects of applying fresh, composted or charred manure on soil N₂O emissions.** Soil Biology & Biochemistry 74 61-69, 2014.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contemporaneamente, a atividade suinícola para ser competitiva e sustentável tanto econômico quanto ambientalmente, atendendo às demandas da sociedade requer que a mesma invista em tecnologia. A mitigação da poluição ambiental ocasionada pelos sistemas intensivos de criação, à criação, o manejo dos dejetos líquidos (DLS) é, ainda, um dos entraves a ser superados pelos suinocultores.

No entanto, diversas medidas de manejo e tratamento vêm sendo preconizadas e adaptadas para realidades distintas enfrentadas nos sistema de criação. Estratégias de uso agrícola com o dejetos líquido de suínos como a injeção do dejetos no solo e o uso de inibidor de nitrificação estão inseridas nesse contexto com potencial de expansão.

Esta tese é resultado de um trabalho iniciado em 2011, com o objetivo de avaliar estratégias de uso agrícola e de tratamentos dos DLS, em parceria com outras instituições de pesquisa de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, e os resultados obtidos após esses estudos, devem ser apresentados aos órgãos ambientais e governamentais para novos incentivos de pesquisa nesta área e difundir este conhecimento para os agricultores.

Conforme os trabalhos relatados dessa tese, e nos resultados obtidos da mesma, as estratégias de uso agrícola dos DLS apresentam vantagem ambiental, mostrando-se como interessante ação para reduzir o impacto ambiental dos DLS. Sugere-se que estes estudos continuem a ser avaliados e inseridos nos demais sistemas de produção do setor agropecuário, como por exemplo, os resíduos animais da bovinocultura de corte e de leite.

Mediante este exposto, sugerem-se avaliar a emissão de gases, os teores de N-mineral e produtividade em cada experimento e após um longo período de avaliação verificar se a mobilização do solo originada da injeção de DLS em solos

sob plantio direto influencia de maneira positiva, negativa ou não altera as propriedades do solo.

10 APÊNDICES

APÊNDICE A - Resultado da análise de variância para efeito aplicação, fertilizante, profundidade e interação (A x F; A x P; F x P) a 5 % de significância, sobre um Nitossolo, na safra 2011/2012.

Anova	Amônio	Nitrato
----- 28º dias após a adubação -----		
Bloco	0,0014	0,4965
Aplicação (A)	0,0101	<,0001
Fertilizante (F)	<,0001	0,0057
Profundidade (P)	0,7727	0,0008
A x F	0,0025	<,0001
A x P	0,5165	0,8025
F x P	0,7775	0,9116
----- 40º dias após a adubação -----		
Bloco	0,1344	<,0001
Aplicação	0,5714	0,0707
Fertilizante	0,1224	0,3157
Profundidade	0,4641	0,0729
A x F	0,9118	0,1027
A x P	0,6074	0,1747
F x P	0,5388	0,4964
----- 60º dias após a adubação -----		
Bloco	<,0001	0,2095
Aplicação	0,6337	0,4400
Fertilizante	0,4543	0,8017
Profundidade	0,8439	0,1405
A x F	0,8197	0,3978
A x P	0,9120	0,2448
F x P	0,9837	0,0809
----- 84º dias após a adubação -----		
Bloco	<,0001	<,0001
Aplicação	0,7885	0,3194
Fertilizante	0,3675	0,8799
Profundidade	0,6667	0,5655
A x F	0,0656	0,5349
A x P	0,6203	0,7614
F x P	0,5741	0,8827

Fonte: Próprio autor, 2015.

APÊNDICE B - Resultado da análise de variância para efeito aplicação, fertilizante, profundidade e interação (A x F; A x P; F x P) a 5 % de significância, sobre um Cambissolo, na safra de milho 2012/2013 (continua).

ANOVA	AMÔNIO	NITRATO
----- 1º dia após a adubação-----		
Bloco	0,5253	<,0001
Aplicação (A)	<,0001	0,0011
Fertilizante (F)	<,0001	<,0001
Profundidade (P)	0,0005	<,0001
A x F	0,0176	0,0131
A x P	0,7547	0,1791
F x P	<,0001	<,0001
----- 6º dia após a adubação-----		
Bloco	0,0667	0,0603
Aplicação	0,0007	0,0062
Fertilizante	<,0001	<,0001
Profundidade	0,0669	<,0001
A x F	0,0067	0,5970
A x P	0,5949	0,3035
F x P	0,0651	0,0608
----- 8º dia após a adubação-----		
Bloco	<,0001	0,9321
Aplicação	0,0031	0,0704
Fertilizante	<,0001	0,3124
Profundidade	0,0837	0,0221
A x F	0,0082	0,0446
A x P	0,0745	0,6151
F x P	0,6070	0,6575
----- 10º dia após a adubação-----		
Bloco	0,2786	0,1131
Aplicação	0,2483	0,2435
Fertilizante	0,1728	0,1017
Profundidade	0,8222	0,0760
A x F	0,0597	0,6570
A x P	0,4341	0,6681
F x P	0,7164	0,6538
----- 15º dia após a adubação-----		
Bloco	<,0001	0,4402
Aplicação	0,8099	0,0440
Fertilizante	<,0001	0,0261
Profundidade	0,3945	0,1132
A x F	0,2232	0,4188
A x P	0,2169	0,2562
F x P	0,7447	0,4967

APÊNDICE B - Resultado da análise de variância para efeito aplicação, fertilizante, profundidade e interação (A x F; A x P; F x P) a 5 % de significância, sobre um Cambissolo, na safra de milho 2012/2013 (Conclusão).

	----- 17º dia após a adubação-----	
Bloco	<,0001	<,0001
Aplicação	0,0422	0,4133
Fertilizante	<,0001	0,0796
Profundidade	0,0040	<,0001
A x F	0,2499	0,8768
A x P	0,3425	0,8013
F x P	<,0001	0,0271

Fonte: Próprio autor, 2015.

APÊNDICE C - Resultado da análise de variância para efeito aplicação, fertilizante, profundidade e interação (A x F; A x P; F x P) a 5 % de significância, sobre um Cambissolo Húmico Aluminico, na safra de trigo 2013 (Continua).

ANOVA	AMÔNIO	NITRATO
----- 1º dia após a adubação-----		
Bloco	0,0021	0,0138
Aplicação (A)	0,0014	<.0001
Fertilizante (F)	<.0001	0,0001
Profundidade (P)	0,0709	<.0001
A x F	0,0032	0,2852
A x P	0,7063	0,3476
F x P	0,0118	0,0411
----- 7º dia após a adubação-----		
Bloco	0,0082	0,7845
Aplicação	0,0005	0,0002
Fertilizante	<.0001	0,0020
Profundidade	0,0216	<.0001
A x F	0,0052	0,0615
A x P	0,1903	0,1688
F x P	0,0667	0,0006
----- 8º dia após a adubação-----		
Bloco	0,0054	<.0001
Aplicação	0,0026	0,0182
Fertilizante	0,0235	0,5842
Profundidade	0,9737	0,0154
A x F	0,0005	0,0684
A x P	0,7255	0,6539
F x P	0,4163	0,1740
----- 14º dia após a adubação-----		
Bloco	0,0566	0,0010
Aplicação	0,1917	0,7120
Fertilizante	0,0133	<.0001
Profundidade	0,2692	0,0144
A x F	0,0585	0,3929
A x P	0,9848	0,1250
F x P	0,5241	0,4265

APÊNDICE C - Resultado da análise de variância para efeito aplicação, fertilizante, profundidade e interação (A x F; A x P; F x P) a 5 % de significância, sobre um Cambissolo Húmico Alumínico, na safra de trigo 2013 (Conclusão).

	----- 22º dia após a adubação -----	
Bloco	0,1382	0,0001
Aplicação	0,0087	0,0523
Fertilizante	<0,0001	<0,0001
Profundidade	0,1041	0,0011
A x F	<0,0001	0,5418
A x P	0,4404	0,3034
F x P	0,0652	0,6957

Fonte: Próprio autor, 2015.

APÊNDICE D - Resultado da análise de variância para efeito aplicação, fertilizante, profundidade e interação (A x F; A x P; F x P) a 5 % de significância sobre um Cambissolo Húmico Alumínico, na safra de milho 2013/2014.

ANOVA	AMÔNIO	NITRATO
----- 1º dia após a adubação-----		

Bloco	<,0001	<,0001
Aplicação (A)	0,0014	0,8344
Fertilizante (F)	<,0001	0,0013
Profundidade (P)	<,0001	0,1595
A x F	0,0006	0,0808
A x P	0,1792	0,1154
F x P	0,0002	0,2249
----- 3º dia após a adubação-----		
Bloco	0,0042	0,0380
Aplicação	0,0262	0,2343
Fertilizante	0,2228	0,2045
Profundidade	0,0005	0,2156
A x F	0,1030	0,2131
A x P	0,7820	0,8376
F x P	0,0485	0,0194
----- 6º dia após a adubação-----		
Bloco	<,0001	<,0001
Aplicação	<,0001	<,0001
Fertilizante	0,0018	0,0001
Profundidade	<,0001	<,0001
A x F	0,0813	0,1040
A x P	0,7790	0,0533
F x P	0,0017	0,0020

Fonte: Próprio autor, 2015.

APÊNDICE E - Resultado da análise de variância para tipo de fertilizantes (ureia, DLS, DLS+DCD e testemunha), modo de aplicação (Injetado e superfície) e interação (aplicação x fertilizante; pH x fertilizante) a 5 % de significância ($p>0,05$), sobre os teores de amônia volatilizada num Nitossolo Vermelho Eutrófico

Dias de Avaliação	Aplicação (A)	Fertilizante			
		pH	(F)	A x F	pH x F
1º dia	0,4692	0,0052	0,0776	0,1781	0,2206
2º dia	0,0004	0,0032	0,2323	0,0007	0,6639
3º dia	0,3464	0,0156	0,0081	0,0439	0,0030
4º dia	0,2033	0,3774	0,2275	0,13	0,1154
5º dia	0,0336	0,0827	0,1502	0,4381	0,0688
6º dia	0,0248	0,0383	0,0069	0,0034	0,0035
7º dia	0,3414	0,4155	0,0348	0,192	0,9053
8º dia	0,6032	0,3514	0,1563	0,3763	0,9201
11º dia	0,6694	0,8547	0,2116	0,0648	0,2424
14º dia	0,5098	0,053	0,7012	0,6251	0,5213

APÊNDICE F - Resultado da análise de variância para tipo de fertilizantes (ureia, DLS, DLS+DCD e testemunha) x modo de aplicação (Injetado e superfície) e interação (aplicação x fertilizante; pH x fertilizante) a 5 % de significância ($p > 0,05$), sobre os teores de amônia (mg vaso^{-1}) num Argissolo Vermelho Amarelo.

Dias de Avaliação	Aplicação (A)	pH	Fertilizante (F)	Ax F	pH x F
1º dia	0,0029	<0,0001	0,0034	0,4735	0,5841
2º dia	<0,0001	0,0788	0,0004	0,0006	0,2447
3º dia	0,6009	<0,0001	0,0826	0,4968	0,0017
4º dia	0,0944	<0,0001	0,1089	0,1237	<0,0001
5º dia	<0,0001	0,6033	0,573	0,3894	0,6947
6º dia	0,5135	0,0035	0,2192	0,163	0,3239
7º dia	0,9201	0,0348	0,4408	0,1275	0,7898
8º dia	0,0004	0,0929	0,0025	0,0681	0,0021
11º dia	0,8682	<0,0001	0,2952	0,7502	0,215
14º dia	0,17	0,0200	0,0254	0,0813	0,0006