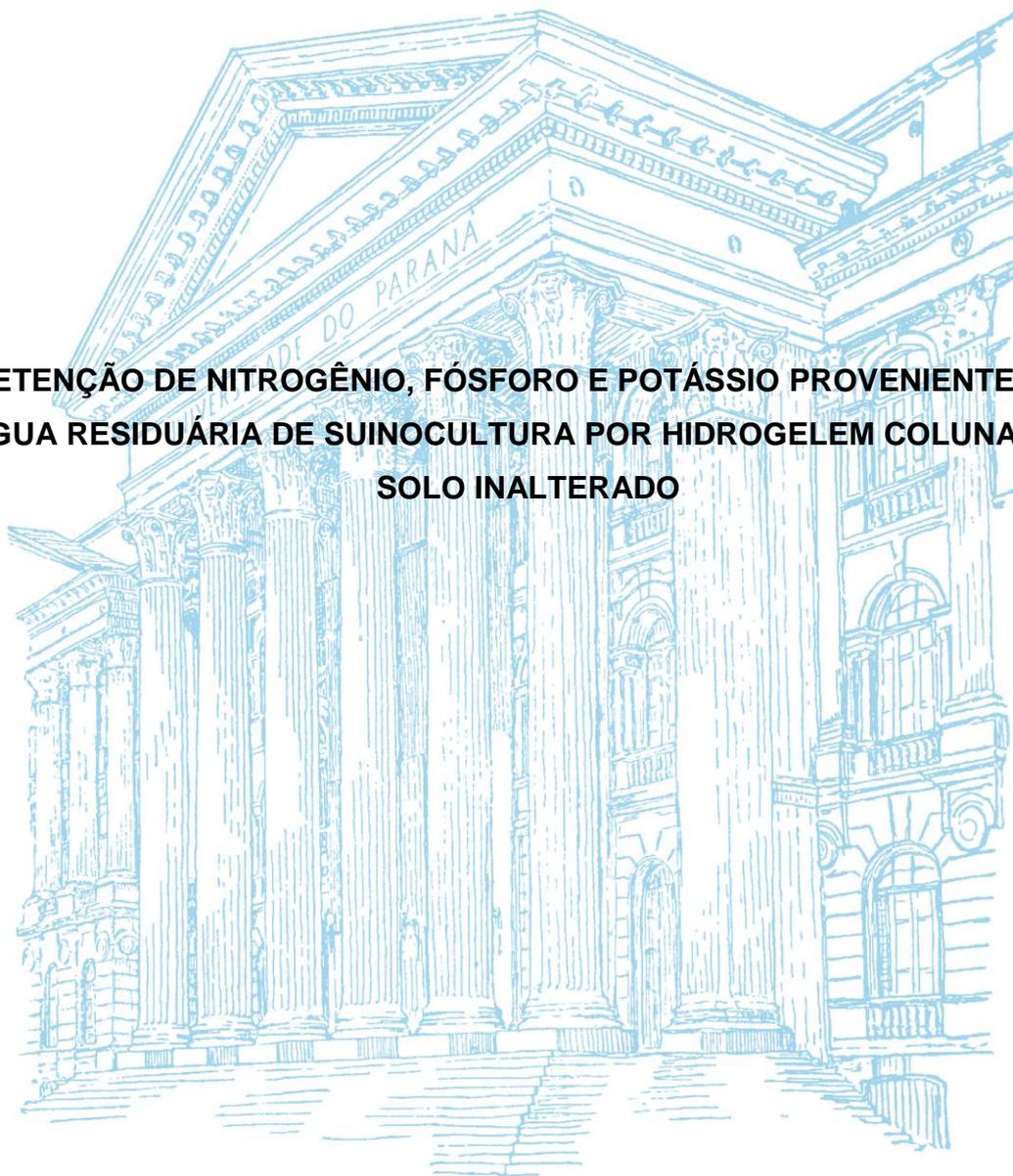


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – SETOR PALOTINA

CAMILA JUSSARA SCHMIDT

**RETENÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PROVENIENTES DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA POR HIDROGELEM COLUNAS DE
SOLO INALTERADO**



PALOTINA

2015

CAMILA JUSSARA SCHMIDT

**RETENÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PROVENIENTES DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA POR HIDROGELEM COLUNAS DE
SOLO INALTERADO**

Trabalho apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheira Agrônoma da
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

Orientador: Prof. Dr. Jonathan Dieter

PALOTINA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

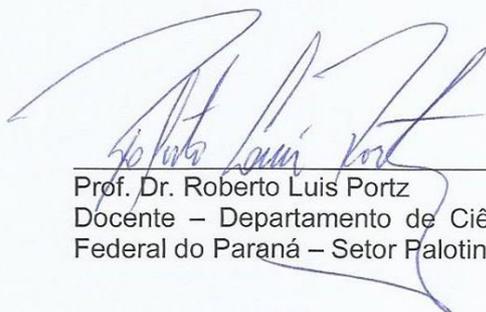
CAMILA JUSSARA SCHMIDT

RETENÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PROVENIENTES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA POR HIDROGEL EM COLUNAS DE SOLO INALTERADO

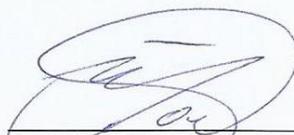
Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo no curso de Agronomia, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Jonathan Dieter
Orientador – Departamento de Engenharias e Exatas da Universidade
Federal do Paraná – Setor Palotina, UFPR.



Prof. Dr. Roberto Luis Portz
Docente – Departamento de Ciências Agronômicas da Universidade
Federal do Paraná – Setor Palotina, UFPR.



Prof. Ms. Mauricio Guy de Andrade
Docente – Departamento de Engenharias e Exatas da Universidade
Federal do Paraná – Setor Palotina, UFPR.

Palotina, 15 de dezembro de 2015.

Dedico este trabalho ao meu filho, Gabriel, meu pai Adir e minha mãe Vanderléia,
que me apoiaram e estiveram ao meu lado durante toda a graduação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, pela família e amigos que sempre estiveram ao meu lado, pelas oportunidades que tive durante a graduação e ao sucesso alcançado em todas atividades.

A Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, juntamente com seu corpo docente, que transmitiram a mim todo o conhecimento e apoio para que hoje eu vislumbrasse um horizonte superior.

Ao meu orientador, Jonathan Dieter, que me orientou desde o começo da vida acadêmica, pelas correções e incentivos, me passando seu conhecimento, tendo ainda me dado alguns conselhos para a vida fora da Universidade, que com certeza levarei comigo.

A minha família, que me deram tanto amor, incentivo e apoio. A minha mãe Vanderléia, a qual eu recorria em momentos de desespero e sempre me ajudava com palavras maternas que acalmavam. Ao meu irmão Eduardo, que suportou todas as crises de nervos e mesmo assim não desistiu de mim. Um agradecimento especial ao meu pai Adir, que tantas vezes pensou em desistir, mas manteve-se firme em seu papel de pai, dando-me o suporte necessário durante a graduação, e principalmente pelo apoio nesta reta final com o trabalho de conclusão de curso, que me serviu como exemplo de empenho e dedicação, por tantos avisos e sermões, que hoje me fizeram chegar aqui, o qual sou eternamente grata. E ao meu filho Gabriel, que esteve ao meu lado em cada momento em Palotina e durante a graduação, que muitas vezes deixou de assistir desenhos para eu poder fazer trabalhos, e a quem eu mais dedico meu amor e dedicação.

As minha colegas de condomínio, que espero levar pra vida inteira, que me deram não somente suporte acadêmico, mas com o Gabriel, em especial a Bruna Portela, Rayssa Fernanda e Gessica dos Santos. E não podia deixar de lado, minha colega de apartamento Renata Menegatto, que por incansáveis vezes escutou minhas lamentações e choros do Gabriel, e mesmo assim esteve sempre disposta a ajudar e cooperar conosco.

A minha amiga, Vera Cremones, a tia do lanche, que me ajudou nas horas fáceis e difíceis, e que esteve sempre ao meu lado como uma segunda mãe, e juntamente com seu marido Vicente e seu filhos Paulo, Filipe, Sara e Ana me tornaram parte da família e me acolheram em muitos momentos difíceis durante esta

caminhada.

Aos meus amigos de faculdade, destacando Renata Thomé e Ana Nogueira, que estiveram ao meu lado durante tantas noites de trabalhos e pré provas, e a Milene Lacerda e Mirian Brustolin, que me ajudaram nos momentos estressantes no decorrer da faculdade. Não podendo deixar de citar os colegas de projeto Greici, Emenueli, Maikon, Marlon e Thiago, que permitiram que as tardes no laboratório não ficassem tão monótonas.

Agradecer aos amigos que fiz durante a graduação, que me proporcionaram momentos inesquecíveis e que me ajudaram até quando não podiam. Evelyn Marchioro, Raphael Dias e Fabrício Faveri, a vocês dedico este agradecimento. Não posso deixar de mencionar o Ruan Navarro, amigo ao qual devo muito do aprendizado destes cinco anos, tanto na graduação, quanto pessoal, gastando algumas de suas horas livres pra me ajudar e na medida do possível, me impulsionando para continuar.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A suinocultura é uma atividade intensa na região oeste do Paraná, o que em decorrência do volume significativo de dejetos gerados, provoca preocupações ambientais e de saúde pública. Na maior parte das propriedades é comum destinar os dejetos líquidos e sólidos ao solo no período de entressafra, como forma de complemento à adubação mineral e reúso de água na agricultura. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a possível retenção e posterior liberação no solo do Nitrogênio, Potássio e Fósforo provenientes de adubação orgânica e mineral pelo hidrogel em colunas de solo inalterado. Para isto, foram avaliados quatro tratamentos ($80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária de suinocultura (ARS); $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária com 0,5% de polímero hidrotentor para plantio; $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária com 0,5% de polímero hidrotentor proveniente de fralda descartável; e adubação mineral NPK (ADM)), em cinco tempos (1, 11, 21, 41 e 81 dias após a aplicação dos tratamentos), em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), totalizando 66 colunas de solo. Ao serem analisadas as diferenças entre NPK nas profundidades, levando-se em consideração todos os tratamentos e tempos, constatou-se que as concentrações de Nitrogênio, Fósforo e Potássio diferem-se significativamente, aparecendo em maiores quantidades na camada superficial. Na análise dos diferentes tratamentos aplicados na camada superficial, foi possível visualizar que o Nitrogênio na ARS apresentou-se em maiores concentrações que na ADM e no Controle. Podendo ainda ser observado que todos os tratamentos que utilizaram ARS apresentaram diferença significativa em relação ao controle. Para o Fósforo, a diferença significativa nas concentrações destacou-se somente na aplicação de ARS, conseqüentemente, não apresentou diferença significativa de concentrações nos outros tratamentos. O Potássio, por sua vez, não apresentou nenhuma diferença significativa entre tratamentos. Na comparação da segunda profundidade, foi possível verificar para Nitrogênio que o tratamento com ARS apresentou-se em maiores concentrações que nos tratamentos com ADM e no Controle. Podendo ainda, ser observado que todos os tratamentos apresentaram diferença significativa para Nitrogênio em relação ao controle. Os tratamentos que utilizaram polímeros hidrotentores não apresentaram diferença significativa com o tratamento no qual foi aplicada ADM. Tanto para o Fósforo, quanto para o Potássio, a diferença não foi significativa entre tratamentos. Pode concluir-se que os polímeros hidrotentores avaliados não apresentaram benefício significativo nas doses e tempos do estudo.

Palavras-chave: Reúso agrícola. Polímero hidrotentor. Adubação orgânica.

ABSTRACT

Pig farming is an intense activity in the Western region of Paraná, which as a consequence of the significant volume of generated waste causes environmental and public health concerns. Most of the properties is common to allocate the liquid and solid manure to the soil in the entresafra period, as a complement to mineral fertilizer and recycled water in agriculture. The aim of this study was to evaluate the possible retention and subsequent release into the soil of nitrogen, potassium and phosphorus come from mineral and organic fertilizer by soil columns Hydrogel unchanged. For this, we evaluated four treatments ($80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ of swine wastewater (ARS); $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ runoff with 0.5% of polymer hidrotentor for planting; $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ runoff with 0.5% of hidrotentor polymer from disposable diaper mineral NPK fertilizer; and (ADM)), in five days (1, 11, 21, 41 and 81 days after application of the treatments) in two depths (0-10 and 10-20 cm). Experimental design was completely randomized design (DIC), totaling 66 soil columns. To analyze the differences between NPK in the depths, taking into account all the treatments and time, it was found that concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium differ significantly, appearing in larger quantities in the surface layer. In the analysis of the different treatments applied on surface layer, it was possible to show that the Nitrogen in the ARS reported in greater concentrations on WMD and in control. And may also be observed that all treatment that used ARS presented significant difference relative to the control. For the match, the significant difference in the concentration was only on application of ARS, consequently, showed no significant difference in the concentrations of other treatments. Potassium, in turn, did not show any significant difference between treatments. Comparison of the second depth, it was possible to check for nitrogen treatment with ARS reported in greater concentrations in treatments with WMD and in control. And may also be observed that all treatments showed significant differences for Nitrogen relative to the control. The treatments that used polymers hidrotentores não showed significant difference with the treatment in which ADM was applied both to the phosphorus, and potassium, the difference was not significant between treatments. It can be concluded that the hidrotentores polymers assessed did not show significant benefit in the doses and times of study.

Keywords: agricultural Reuse. Hidrotentor polymer. Organic fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UTILIZAÇÃO DO MACACO HIDRÁULICO E TRATOR PARA INSERÇÃO DAS COLUNAS AO SOLO.....	18
FIGURA 2. PREENCHIMENTO DO CAP COM PEDRISCO (A) E COM CARPETE (B).	19
FIGURA 3. CAVALETE PARA ALOCAÇÃO DAS COLUNAS DE SOLO.	20
FIGURA 4. CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO (A), FÓSFORO (B) E POTÁSSIO (B) NA CAMADA MAIS SUPERFICIAL DO SOLO.....	26
FIGURA 5. CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO (A), FÓSFORO (B) E POTÁSSIO (C) NA SEGUNDA CAMADA DO SOLO (10-20 CM).	27
FIGURA 6. CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO EM MG KG ⁻¹ NOS DIFERENTES TRATAMENTOS E TEMPOS NA CAMADA DE 0-10 (A) E 10-20 (B).	30
FIGURA 7. CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO EM MG DM ⁻³ NOS DIFERENTES TRATAMENTOS E TEMPOS NA CAMADA DE 0-10 CM.	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. QUANTIDADES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA.	20
TABELA 2. MÉDIAS HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO DO IAPAR NO MUNICÍPIO DE PALOTINA, NOS MESES DE SETEMBRO, OUTUBRO E NOVEMBRO.	21
TABELA 3. COMPARATIVO ENTRE PROFUNDIDADES PARA NITROGÊNIO(N), FÓSFORO(P) E POTÁSSIO (K).	24
TABELA 4. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE 0-10 CM.	25
TABELA 5. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE 10-20 CM.	27
TABELA 6. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO EM MG KG ⁻¹ ENTRE TEMPOS NA PROFUNDIDADE 0-10 CM.	28
TABELA 7. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO EM MG KG ⁻¹ ENTRE TEMPOS NA PROFUNDIDADE 10-20 CM.	30
TABELA 8. COMPARATIVO DE FÓSFORO EM MG DM ⁻³ ENTRE TEMPOS NA PROFUNDIDADE 0-10 CM.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO REFERENCIADA	12
1.1	SUINOCULTURA, UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA NA AGRICULTURA E ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO	12
1.2	REAÇÕES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO	13
1.3	POLÍMERO HIDRORETENTOR	14
2	OBJETIVO	16
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	METODOLOGIA	17
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	17
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	17
3.3	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO DE COLUNAS INDEFORMADAS DE SOLO	18
	3.3.1 coleta das colunas indeformadas de solo	18
	3.3.2 instalação das colunas em laboratório	19
3.4	APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS E SIMULAÇÃO DE CHUVA.....	20
	3.4.1 água residuária da suinocultura	20
	3.4.2 aplicação da adubação	21
	3.4.3 aplicação do polímero hidroretentor	21
	3.4.4 simulação da intensidade da precipitação.....	21
3.5	COLETA DO MATERIAL.....	22
3.6	ANÁLISES LABORATORIAIS.....	22
3.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA

1.1 SUINOCULTURA, UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA NA AGRICULTURA E ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

A suinocultura é uma atividade difundida em todo o território brasileiro, sendo o terceiro maior produtor e o quarto maior exportador de carne suína. A maior parte da produção está concentrada no sul do país, totalizando 61,4 %, tendo o estado do Paraná responsabilidade sobre 17% da produção nacional (ABIPECS, 2012). Esta concentração se deve à forte política de integração promovida por várias agroindústrias locais.

Concentrada e em larga escala, a suinocultura produz uma grande quantidade de água residuária da suinocultura (ARS). Esta é frequentemente lançada ao solo como fonte de adubação orgânica e para ajudar a suprir a demanda hídrica das culturas, prática rotineira que muitas vezes é a única fonte de nutrientes disponíveis à cultura, amenizando então, os custos de produção e elevando o lucro das propriedades rurais (MAGGI *et al.*, 2011). Entretanto, essa adubação orgânica com ARS está sendo realizada sem considerar critérios agronômicos ou ambientais, sendo utilizada somente como uma adubação suplementar à adubação mineral. Mesmo a ARS considerada como fonte de nutrientes, ela é considerada uma fonte de fertilizante não balanceada.

No sul do Brasil, a criação de suínos é uma atividade agrícola desenvolvida, na maioria das vezes em pequenas propriedades, onde há o cultivo intenso do solo devido às boas condições climáticas. Estas características ainda possibilitam aplicações de ARS, normalmente feitas com conjunto mecanizado (trator + distribuidor de esterco líquido), ao solo em curtos períodos do ano, propiciando assim, aplicações recorrentes e em doses elevadas, o que favorece o acúmulo de nutrientes no solo e, conseqüentemente, transferência para o meio aquático, potencializando a poluição difusa das águas superficiais e, tendo como reflexo a degradação da qualidade da água e vida da população (DIETER, 2014).

Em altas taxas sobre as mesmas áreas, as ARS proporcionam um acúmulo de elementos presentes nela no solo, como fósforo (CAOVILLA *et al.*, 2010), nitrogênio (SAMPAIO *et al.*, 2010a), metais pesados (SMANHOTTO *et al.*, 2010)

favorecendo sua transferência para o meio aquático, via escoamento superficial (CERETTA *et al.*, 2010) ou percolação (MAGGI *et al.*, 2011; SAMPAIO *et al.*, 2010a) refletindo na degradação da qualidade da água.

O acúmulo desses elementos nas primeiras camadas do solo é potencializado quando o solo é manejado em sistema de plantio direto, pelo fato de não haver revolvimento do solo. Dessa forma solos agrícolas adubados têm um grande potencial de transferências de nutrientes para o meio aquático por escoamento superficial. Entretanto, essa transferência está relacionada a diversos fatores como fonte de adubação (BERTOL *et al.*, 2010; SAMPAIO *et al.*, 2010a) intensidade de precipitação (BERTOL *et al.*, 2010) e tempo entre a aplicação de ARS e a primeira precipitação ocorrida (SHIGAKI *et al.*, 2007; SHIGAKI *et al.* 2006). O curto período entre a aplicação de ARS e as chuvas provoca aumento nas perdas de nutrientes (ALLEN E MALLARINO, 2008), provavelmente devido ao aumento do escoamento (BERTOL *et al.*, 2007) como consequência da impermeabilização da superfície causada pela ARS.

1.2 REAÇÕES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO

O nitrogênio é um dos principais fatores limitantes do aumento ou mesmo à manutenção da produtividade das culturas nos solos tropicais, pela sua dinâmica complexa e custo da obtenção na indústria, o que leva à busca de alternativas viáveis para minimizar a necessidade de aplicação e prolongar o seu tempo de disponibilidade para as plantas (SOUZA e MELO, 2000).

No armazenamento de dejetos suínos em esterqueiras é predominante o ambiente essencialmente anaeróbico, razão pela qual ocorre o acúmulo de N na forma de amônio, uma vez que a oxidação dessa forma de N até nitrato depende da presença de O₂ (SCHMIDT, 1982). Considerando-se que 40 a 70% do N total dos dejetos de suínos encontra-se na forma amoniacal, a rapidez com que o N amoniacal dos dejetos é nitrificado, após a sua aplicação no campo, irá condicionar a quantidade de NO₃⁻ no solo. Se a taxa de nitrificação for elevada, os teores de N na forma de nitrato aumentarão rapidamente, muitas vezes em época em que a demanda de N pelas culturas ainda é pequena. Dependendo da intensidade e da quantidade de chuvas nesse período, poderão ocorrer perdas significativas de N via lixiviação de NO₃ (AITA *et al.*, 2007).

Segundo Maggi *et al.* (2011) a mobilidade de fósforo no solo é muito pequena, razão pela qual as perdas por percolação em solos agricultáveis são consideradas insignificantes, e, em virtude disto, baixas concentrações do elemento no percolado são observadas. Ceretta *et al.* (2003) também verificaram que o teor de fósforo disponível no solo aumentou consideravelmente com a aplicação de ARS ao longo do tempo. Contudo, Smanhotto (2008) afirma que o fósforo contido nos esterco difunde-se mais lentamente no solo que o contido nos fertilizantes comerciais, observando-se que o movimento vertical do fósforo orgânico é menor que o do fósforo mineral. Porém, Hesketh e Brookes (2000) apontam que em quantidades que excedem a demanda da cultura, sucessivas aplicações de dejetos podem causar a movimentação de fósforo no perfil do solo, causado pela diminuição da capacidade de adsorção do solo, além da possibilidade da movimentação no perfil de fósforo na forma orgânica.

Ceretta *et al.* (2003) relataram que o potássio encontra-se na ARS na forma mineral, solúvel e, devido a isto, seu efeito residual é curto. Afirmam ainda que plantas com alta taxa de absorção deste elemento diminuem suas perdas potenciais no sistema. Contudo, é um elemento móvel no solo e está sujeito a lixiviação, sendo esta maior quanto mais expressiva for a presença em solução de ânions, com menor capacidade de adsorção (MAGGI *et al.*, 2011). De acordo com Bertol *et al.* (2010) o potássio tem baixa reatividade com o solo podendo ocorrer uma mobilidade maior.

1.3 POLÍMERO HIDRORETENTOR

O Hidrogel é um produto derivado do petróleo, sendo sintético e apresentando propriedades físico-químicas capazes de retenção de água (AZEVEDO *et al.*, 2002). Estes polímeros sintéticos, a princípio desenvolvidos na década de 1960, são recomendados como condicionadores de solo no uso agrícola, já que melhoram as propriedades tanto físicas, como químicas dos solos, reduzem o número de irrigações e as perdas de nutrientes, resultando na diminuição de custos no desenvolvimento das culturas (SAAD *et al.*, 2009).

Talheimer *et al.* (2010) ainda afirmam que este produto tem sido usado para reduzir as perdas por lixiviação e percolação. Mendonça *et al.* (2013) complementam que, na agricultura, este produto tem sido usado com maior frequência, na silvicultura, fruticultura e como constituinte de substratos para produção de mudas. Além disso, o

uso de hidrogel em viveiros como substituto da irrigação complementar já apresenta resultados quanto a produção de mudas com a mesma qualidade que as irrigadas (Marques *et al.*, 2013).

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a possível retenção e posterior liberação no solo do nitrogênio, fósforo e potássio provenientes de adubação orgânica e mineral pelo polímero hidroretentor.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- avaliar a eficiência do hidrogel quanto à retenção de nitrogênio na forma de nitrato e amônia na coluna de solo inalterado no decorrer do tempo;
- avaliar a eficiência do hidrogel quanto à retenção de fósforo inorgânico disponível na coluna de solo inalterado no decorrer do tempo;
- avaliar a eficiência do hidrogel quanto à retenção de potássio na coluna de solo inalterado no decorrer do tempo.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em laboratório, no período de setembro a novembro de 2015, na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, com solo proveniente de uma área sob sistema de plantio direto, localizado no município de Nova Santa Rosa, cuja localização geográfica fica a 24°27'23,21" de latitude Sul e 53°53'07,51" de longitude Oeste, e altitude de 348 metros. Com precipitação média anual de 1642 mm, o clima é do tipo subtropical úmido (Cfa), apresentando temperatura média de 22°C e UR do ar em média de 76% (IAPAR, 2012). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (Embrapa, 2012).

A área é usada para agricultura desde 1956, com início da mecanização em 1969 ainda sob sistema de plantio convencional, tendo começado o sistema de plantio direto em meados de 1985, com último revolvimento do solo, datado pelo proprietário em torno de 1995. O histórico dos últimos anos é de sucessões soja safra e milho safrinha, com alguns plantio de trigo nos intervalos de tempo, porém este não foi realizado todos os anos.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram avaliados quatro tratamentos, sendo eles: T1: aplicação de 80 m³ ha⁻¹ de água residuária proveniente de uma maternidade de suínos; T2: aplicação de 80 m³ ha⁻¹ de água residuária juntamente com 0,5% de polímero hidrorretentor para plantio, da empresa Hortaviva Sementes; T3: aplicação de 80 m³ ha⁻¹ de água residuária com 0,5% de polímero hidrorretentor proveniente de fralda descartável; T4: aplicação de adubação mineral NPK, conforme recomendação da Embrapa, 192 kg ha⁻¹ ao solo.

Os teores no solo de nitrogênio (amônio e nitrato), fósforo e potássio foram avaliados em cinco momentos. Em cada momento foram avaliados três repetição de cada tratamento, tendo-se três testemunhas no começo e ao final do experimento,

totalizando 66 unidades experimentais (colunas de solo) escolhidas ao acaso para o estudo.

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO DE COLUNAS INDEFORMADAS DE SOLO

3.3.1 Coleta das colunas indeformadas de solo

As colunas, com altura de 20 centímetros e diâmetro de 10 centímetros, foram coletadas em solo manejado sob o sistema de semeadura direta. A coleta destas colunas de solo foi realizada através de tubos de PVC, com 30 cm de altura e diâmetro interno de 10 cm. Para isto, o solo foi submetido a um pré-molhamento, com posterior introdução dos tubos no sentido vertical, sendo necessário a utilização de uma marreta, e sequentes molhamentos externos, para depois, o nível de oito centímetros, foi utilizado macaco hidráulico sob um trator (FIGURA 1). O controle da profundidade foi feito com a colocação de uma marca aos 20 cm de altura nos tubos.



FIGURA 1. UTILIZAÇÃO DO MACACO HIDRÁULICO E TRATOR PARA INSERÇÃO DAS COLUNAS AO SOLO.

Para facilitar a introdução dos tubos de PVC no solo foram adotados os alguns procedimentos: antecedendo a introdução dos tubos no solo, a faixa de solo destinada à coleta das colunas foi saturada com água. Esta saturação do solo com água foi realizado com o objetivo de deixá-lo na consistência de fluidez, facilitando assim, a introdução do tubo e preservando a estrutura do solo coletado, já que enquanto o solo estiver nesta consistência, evita-se a formação de fissuras no interior da coluna pelo efeito de um eventual atrito com a parede interna durante a descida deste para o interior do solo.

A retirada dos tubos do interior do solo foi realizada manualmente com o auxílio de uma pá, para evitar a deformação do solo no interior do tubo. Para finalizar a coleta das colunas, retirou-se o solo que ficou aderido à parede externa do tubo PVC, bem como o excesso de solo existente na parte inferior, fazendo com que este ficasse no mesmo plano da extremidade inferior do tubo. A fim de evitar que a coluna de solo se deslocasse para baixo, na extremidade inferior foi colocado um CAP de PVC de 10 cm de diâmetro com carpete e pedras britas, que foi devidamente encaixado no tubo, e furado para posterior lixiviação (FIGURA 2).



FIGURA 2. PREENCHIMENTO DO CAP COM PEDRISCO (A) E COM CARPETE (B).

3.3.2 Instalação das colunas em laboratório

As colunas foram instaladas em um cavalete, propriamente construído para aloca-las no laboratório, de forma a sustentá-las em sua posição original no solo, além de facilitar os procedimentos metodológicos, conforme Figura 3.



FIGURA 3. CAVALETE PARA ALOCAÇÃO DAS COLUNAS DE SOLO.

3.4 APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS E SIMULAÇÃO DE CHUVA

Os tratamentos foram aplicados simulando-se as condições naturais ao solo. Desta forma, retirou-se dois centímetros da camada superficial do solo e aplicados os tratamentos, com posterior recolocação do solo.

3.4.1 Água residuária da suinocultura

O uso de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária baseou-se nas quantidades máximas testadas por Ceretta *et al.* (2010), Basso *et al.* (2004) e Aita *et al.* (2007).

Tanto no tratamento utilizando somente a ARS, como nos tratamentos com adição de hidrogel, esta foi aplicada a uma profundidade de dois centímetros, com posterior recobrimento.

A ARS utilizada foi coletada diretamente de uma lagoa de decantação de uma unidade produtora de leitões com tempo de retenção de aproximadamente 120 dias. As características nutricionais desta ARS estão descritas na Tabela 1.

TABELA 1. QUANTIDADES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA.

	N Total	NH ₄ ⁺ NO ₃	NH ₄ ⁺	NO ₃	P	K
	mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mg dm ⁻³	
ARS amostra 1	1953	493,1	493,1	0,0	434,3	452,1
ARS amostra 2	2042	518,3	518,3	0,0	466,3	428,2
Média	1997,5	505,7	505,7	0,0	450,3	440,15

3.4.2 Aplicação da adubação

A aplicação de adubação mineral foi disposta a uma profundidade de dois centímetros, utilizando-se 192 kg ha⁻¹, na formulação 08-20-20, conforme recomendação da Embrapa.

3.4.3 Aplicação do polímero hidroretentor

A quantidade de polímero hidroretentor utilizada foi baseada na recomendação pelo fabricante, 5 gramas L⁻¹. A utilização de fralda descartável foi decidida a partir da observação de um melhor intumescimento se comparada a capacidade de intumescimento do hidrogel comercial, quando em contato com a ARS, que foi inferior ao desempenho demonstrado quando em contato com água. Este fato deve-se possivelmente, pela alta concentração de sais na ARS.

3.4.4 Simulação da intensidade da precipitação

A simulação da intensidade de precipitação foi realizada manualmente sobre a superfície do solo, com lâminas de água destilada, de acordo com a média das precipitações da região nos meses de setembro, outubro e novembro, período em que o experimento foi realizado.

Desta forma, distribuiu-se para cada coluna do experimento uma quantidade de 117 mL durante oito dias no mês de setembro (**dia** 05, 08, 09, 14, 17, 24, 25 e 28), 126 mL durante 11 dias (01, 05, 07, 14, 16, 20, 21, 22, 23, 27 e 29) no mês de outubro, e 130 mL durante sete dias no mês de novembro (dia 03, 04, 06, 12, 17, 18 e 20), conforme Tabela 2.

TABELA 2. MÉDIAS HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO DO IAPAR NO MUNICÍPIO DE PALOTINA, NOS MESES DE SETEMBRO, OUTUBRO E NOVEMBRO.

Mês	Total	Dias de chuva	Volume	Volume
	Mm		L m²	L coluna⁻¹
Setembro	134,5	9	14,94	0,117
Outubro	176,8	11	16,07	0,126
Novembro	165,2	10	16,52	0,130

FONTE: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2012.

3.5 COLETA DO MATERIAL

A coleta do solo foi dividida em cinco intervalos, nos dias 1, 11, 21, 41 e 81 após a aplicação dos tratamentos, de forma abranger a condução da cultura, compatível com as exigências nutricionais de uma possível cultura. Nos dias um e 81 foram coletadas também as colunas de solo que receberam somente precipitação. Estas serviram como testemunha.

Para a coleta, foi retirada uma camada de dez centímetros da coluna, e depois o restante. Guardados em recipientes diferentes para posterior análises das camadas 0-10 e 10-20 centímetros de solo. As amostras foram armazenadas em congelador até o final dos 81 dias, para que fossem analisadas todas juntas.

3.6 ANÁLISES LABORATORIAIS

Para as análises de Nitrogênio, as amostras foram peneiradas, ainda úmidas, para a melhor homogeneização. As análises foram realizadas com base na extração de amônio e nitrato trocáveis, em um processo baseado na destilação por arraste de vapor, pela qual a quantificação de N se dá por titulação, conforme Embrapa (2009).

Para as análises de Fósforo e Potássio, as amostras foram secas ao ar, e posteriormente trituradas para uma melhor homogeneização e obtenção de um solo mais fino (peneira 2mm). Posteriormente, as alíquotas foram submetidas à uma solubilização destes elementos, realizada através da solução extratora de Mehlich 1 conforme Embrapa (2009).

Os resultados de Fósforo foram obtidos por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, através da leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 660 nm conforme Embrapa (2009).

O Potássio foi determinado pelo método direto pelo fotômetro de chama, também conforme Embrapa (2009).

Para as quantidades de Nitrogênio os resultados foram expressos em mg kg^{-1} de solo, enquanto que para os dados de Fósforo e Potássio foram expresso em mg dm^{-3} de solo.

3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Após as análises de tabulação dos dados obtidos, foi realizada uma análise descritiva dos dados, com verificação da normalidade dos erros e os resultados submetidos à análise de variância com comparação de médias pelo Tukey ao nível de 5% de significância, com posterior avaliação através de gráfico de linhas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao serem analisadas as profundidades (0-10 e 10-20 cm), levando-se em consideração todos os tratamentos e tempos, constatou-se que as concentrações de Nitrogênio, Fósforo e Potássio diferem significativamente nas profundidades estudadas, apresentando-se em maiores quantidades na camada superficial, como mostra a Tabela 3.

TABELA 3. COMPARATIVO ENTRE PROFUNDIDADES PARA NITROGÊNIO(N), FÓSFORO(P) E POTÁSSIO (K).

Profundidade (cm)	N	P	K
	mg kg ⁻¹		mg dm ⁻³
0-10	28,9a	31,4 ^a	207,4a
10-20	8,4b	7,6b	83,0b

Letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si de acordo com o Teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

Segundo Soares e Restle (2002), a velocidade e a quantidade de nitrogênio mineral que se perde por lixiviação são controlados principalmente pela textura, estrutura, porosidade, regime pluvial, capacidade de retenção de água e de cátions do solo, presença e tipo de cobertura vegetal e método de aplicação do fertilizante. Bertolini *et al.* (2000) afirmam que o menor arraste de nitrato para camadas inferiores do solo é consequência da maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos, o que reduz a percolação da água pelo perfil. Sangoi *et al.* (2003) ainda expressam que além da textura, o conteúdo de matéria orgânica também pode interferir na lixiviação de nitrato, já que há uma maior disponibilidade de nitrogênio decorrente da decomposição da matéria orgânica, principalmente quando a área não está sendo cultivada.

Quanto ao fósforo, Heathwaite *et al.* (2000) concluem que a mobilidade deste elemento no solo é muito pequena, se comparada ao NO₃, e as perdas pela movimentação vertical em solos agricultáveis são quase não consideráveis. Para Ceretta *et al.* (2005), à baixa mobilidade do fósforo é uma possível causa das baixas concentrações de fósforo disponível nas camadas inferiores, podendo ainda, ser adsorvido pelas partículas do solo e o restante precipitado. Tomé Jr (1997) afirma que o teor de fósforo disponível tende a diminuir com a profundidade, acompanhando o teor de matéria orgânica do solo.

O potássio, seja disponibilizado da palha, ou adicionado via adubação potássica, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, porém depende da quantidade de chuva, da dose de nutriente aplicado e da textura do solo (ROSOLEM *et al.*, 2006). Assim como para Doblinski *et al.* (2007), que afirmam que altos níveis de potássio nas camadas mais superficiais do solo ocorreram em função da dosagem empregada no tratamento, uma vez que, o potássio, assim como o fósforo, também apresenta fixação, em menor quantidade, mas principalmente através da adsorção no complexo de troca do solo.

Na análise dos diferentes tratamentos aplicados na camada mais superficial (0 a 10 centímetros), foi possível visualizar que o Nitrogênio na ARS apresentou-se em maiores concentrações que na ADM e no Controle. Podendo ainda ser observado que todos os tratamentos que utilizaram ARS apresentaram diferença significativa em relação ao controle. Se comparados os tratamentos que usaram ARS, nenhum deles apresentou diferença significativa entre si. Para o Fósforo, destacou-se somente a aplicação de ARS, conseqüentemente, não apresentou diferenças significativas de concentrações nos outros tratamentos. O Potássio, por sua vez, não apresentou nenhuma diferença significativa entre tratamentos, mostrando que este nutriente pode ter variado durante o tempo, mas não entre os tratamentos. Tal significância pode ser observada na Tabela 4.

TABELA 4. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE 0-10 CM.

Nutriente	Controle	ARS	ARS+G1	ARS+G2	ADM
N (mg kg⁻¹)	1,0C	42,8A	37,8AB	34,0AB	12,3BC
P (mg dm⁻³)	21,9B	41,6A	29,2B	28,7B	29,8B
K (mg dm⁻³)	201,6 ^a	227,2A	198,6A	207,3A	198,8A

Letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si de acordo com o Teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. ARS: água residuária de suinocultura (80 m³ ha⁻¹). ARS+G1 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor para plantio). ARS+G2 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de hidrogel de fralda). ADM (adubação mineral na formulação 08-20-20, numa quantidade de 192 kg ha⁻¹ ao solo).

Doblinski *et al.* (2007), em seus estudos, concluíram que a mobilidade no perfil do solo foi maior para o potássio, seguido do nitrogênio e do fósforo.

Por ser repellido pelas partículas do solo, que geralmente apresentam carga elétrica líquida negativa, o nitrato permanece livre na solução. Conseqüentemente, a quantidade presente na camada arável do solo, que não é aproveitada pelas plantas, fica sujeita à lixiviação (DYNIA *et al.*, 2006).

Assim como Ceretta *et al.* (2003), o teor de fósforo disponível no solo aumentou com a aplicação de dejetos suíno ao longo do tempo. Em estudos realizados por Queiroz *et al.* (2004), foi possível verificar que Fósforo e Potássio se acumularam no solo. Bertol *et al.* (2010) por sua vez, evidenciaram que o solo que recebeu dejetos líquidos de suíno propicia maior suscetibilidade do solo para perda de fósforo, em relação ao solo que recebe formulados com NPK, resultando numa transferência de fósforo para o solo de maior risco ambiental do que se essa transferência fosse feita por uma fonte inorgânica.

Em relação ao potássio Ceretta *et al.* (2003) relataram que este elemento encontra-se no esterco totalmente na forma mineral, solúvel e, por isso, seu efeito residual é muito curto.

As diferenças constatadas entre tratamentos na análise estatística podem ser melhores visualizadas na Figura 4.

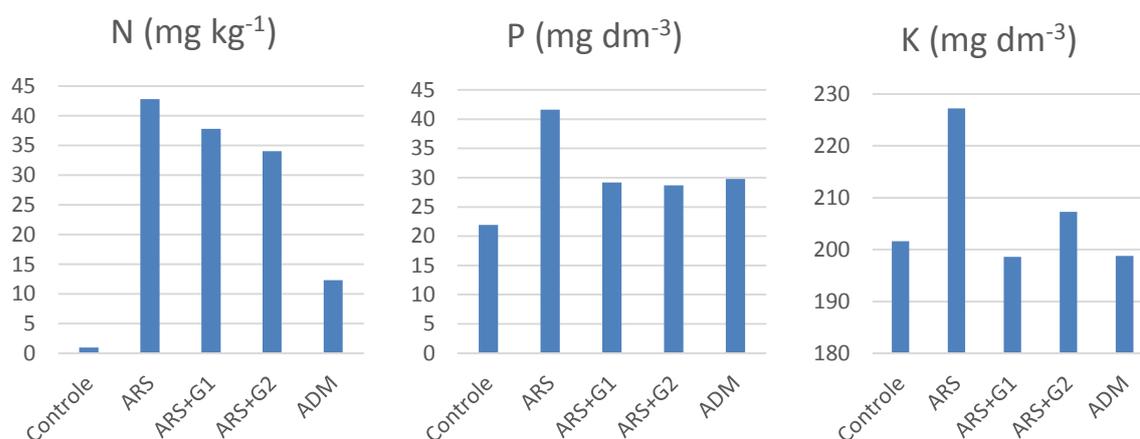


FIGURA 4. CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO (A), FÓSFORO (B) E POTÁSSIO (B) NA CAMADA MAIS SUPERFICIAL DO SOLO.

Na comparação estatística da segunda profundidade (10 a 20 cm), foi possível verificar para Nitrogênio, assim como na camada superior, o tratamento com ARS apresentou-se em maiores concentrações que na ADM e no Controle. Podendo ainda ser observado que todos os tratamentos apresentaram diferença significativa em relação ao controle. Se comparados os tratamentos que usaram ARS, nenhum deles apresentou diferença significativa entre si. Contudo, os tratamentos que utilizaram polímeros hidroretentores não apresentaram diferença significativa com o tratamento no qual foi aplicada ADM. Tanto para o Fósforo, quanto para o Potássio, a diferença

não foi significativa entre tratamentos. Tal comportamento pode ser visualizado na Tabela 5.

TABELA 5. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE 10-20 CM.

Nutriente	Controle	ARS	ARS+G1	ARS+G2	ADM
N (mg kg⁻¹)	0,3C	12,9A	9,1AB	9,2AB	5,8B
P (mg dm⁻³)	6,8A	7,7A	6,2A	8,5A	8,4 ^a
K (mg dm⁻³)	75,2A	83,7A	79,7A	81,0A	90,8 ^a

Letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si de acordo com o Teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. ARS: água residuária de suinocultura (80 m³ ha⁻¹). ARS+G1 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidrorretentor para plantio). ARS+G2 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidrorretentor de fralda). ADM (adubação mineral na formulação 08-20-20, numa quantidade de 192 kg ha⁻¹ ao solo).

Assim como avaliado por Silva (2005), o potássio não apresentou diferença significativa, afirmando ainda que com a fertilização com esterco o solo foi afetado positivamente com teores até os 50 cm de profundidade. Já Bertol *et al.* (2004) enfatizaram que o potássio, além de ser mais solúvel e móvel no solo do que o fósforo, é facilmente lixiviado, uma vez que se encontra em maiores concentrações no solo. Ressaltaram também que mesmo o potássio apresentando mobilidade no perfil do solo, o preparo conservacionista do solo tem contribuído para aumentar a sua concentração na superfície, conseqüentemente, o transporte pela água da enxurrada aumenta.

As concentrações de Nitrogênio, Fósforo e Potássio no solo na segunda camada pode ser visualizado na Figura 5.

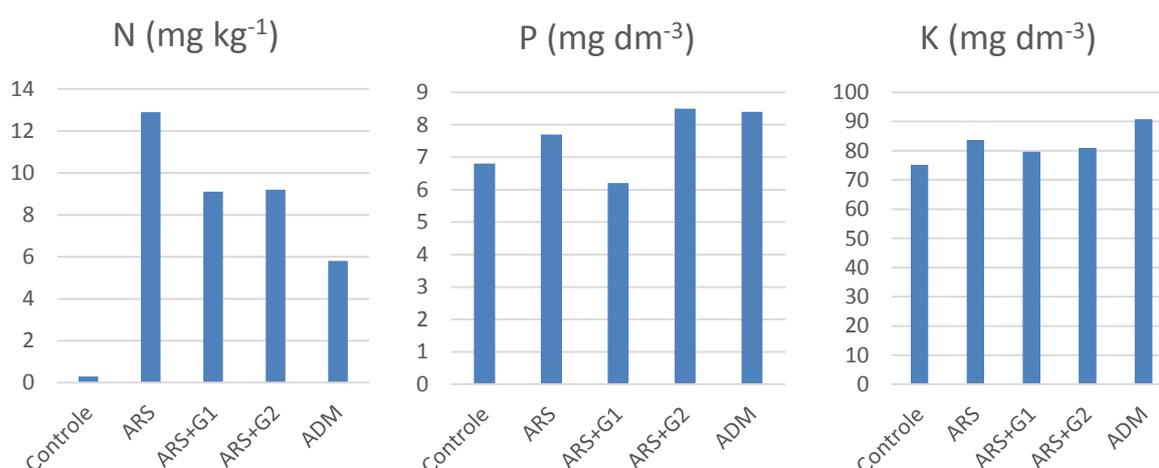


FIGURA 5. CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO (A), FÓSFORO (B) E POTÁSSIO (C) NA SEGUNDA CAMADA DO SOLO (10-20 CM).

A Tabela 6 apresenta a análise estatística das concentrações de Nitrogênio na profundidade de 0 a 10 cm, comparando-se os tratamentos e os tempos. O

Controle não apresentou diferença significativa entre o primeiro e o último dia de coleta. Porém, teve diferença significativa se comparado aos outros tratamentos, sendo diferente no primeiro dia, e semelhante ao tratamento com ARS+G1 no último dia. Nas colunas que receberam ARS, as três primeiras coletas apresentaram diferença significativas entre si, diferenciando ainda, dos dias 41 e 81 após aplicação, que se assemelharam entre si, tendo pouca quantidade de N no solo. O tratamento com ARS e o polímero hidrotentor para plantio (ARS+G1) apresentou diferença na quantidade de Nitrogênio a partir do dia 21, não tendo apresentado diferença significativa ao dia 41 e diferente do último dia de coleta. O último dia de coleta, por sua vez, se assemelha ao dia 41. No tratamento com ARS e polímero hidrotentor de fralda (ARS+G2) apresentou maiores quantidades de nitrogênio nas três primeiras coletas após a aplicação, sendo significativamente diferentes entre si, enquanto que, nos dois últimos dias de avaliação, o nitrogênio apresentou valores não diferentes significativamente. No tratamento em que avaliou-se a ADM ao solo constatou-se que exceto no primeiro dia, todos os outros tempos não apresentaram diferença significativa.

Se comparados os tempos, ao primeiro dia de ensaio, somente os ensaios contendo polímeros hidrotentores (G1 e G2) não apresentaram diferença significativa entre si, sendo os outros ensaios diferentes estatisticamente. No segundo dia de coleta somente os tratamentos com ADM apresentaram diferença significativa, sendo que todos os que utilizaram ARS apresentaram grandes quantidades do nutriente, resultado que se assemelha ao terceiro período de avaliação (21 DAA). Aos 41 dias após aplicação os tratamentos ARS, ARS+G2 e ADM apresentaram resultados não diferentes significativamente entre si, diferenciando-se do tratamento ARS+G1. Porém, este se assemelha significativamente aos tratamentos com ARS e ADM. No último dia da avaliação foi possível verificar que o controle foi parecido estatisticamente com o tratamento ARS+G1, que por sua vez, se assemelha significativamente aos outros tratamentos. Estas particularidades podem ser melhor visualizadas na Tabela 6.

TABELA 6. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO EM MG KG⁻¹ ENTRE TEMPOS NA PROFUNDIDADE 0-10 CM.

Tratamento	1 DAA	11 DAA	21 DAA	41DAA	81 DAA
Controle	1,1Ad	-	-	-	0,9Ab
ARS	89,2Aa	58,9Ba	39,5Ca	13,6Dab	12,9Da
ARS+G1 (mg kg ⁻¹)	68,1Ab	61,5Aa	33,9Ba	18,8BCa	6,5Cab

ARS+G2	63,0Ab	49,7Ba	38,5Ca	10,0Db	8,8Da
ADM	20,4Ac	10,7Bb	8,2Bb	13,1Bab	9,2Ba

Letras maiúsculas na linha comparam tempos em cada tratamento. Letras minúsculas na coluna comparam tratamentos em cada tempo. DAA: Dias após aplicação. ARS: água residuária de suinocultura ($80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). ARS+G1 ($80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor para plantio). ARS+G2 ($80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor de fralda). ADM (adubação mineral na formulação 08-20-20, numa quantidade de 192 kg ha^{-1} ao solo).

Na segunda profundidade foi possível verificar no controle pouca quantidade de nitrogênio, não havendo diferença significativa entre o primeiro e o último dia de coleta. Nas colunas de solo em que foi aplicada ARS o nitrogênio apresentou-se em maiores quantidades nas quatro primeiras coletas, sendo diferente estatisticamente somente no último tempo avaliado no experimento. O tratamento com ARS e polímero hidroretentor para plantio não apresentou diferença significativa entre os tempos estudados, estando o Nitrogênio em baixas concentrações. Ao ser avaliado o tratamento com ARS e o polímero proveniente de fralda descartável foi possível verificar que houve aumento de Nitrogênio no tempo, tendo sido observadas maiores concentrações para os tempos 41 e 81 DAA. Os ensaios que receberam adubação mineral apresentam semelhança significativa na primeira, terceira e quarta coletas, sendo diferentes da segunda, que ainda apresentou diferença no último tempo avaliado, conforme demonstrado na Tabela 7.

Ainda conforme a Tabela 7 é possível verificar que no primeiro tempo do experimento, o tratamento com ARS direto ao solo apresentou maiores concentrações de Nitrogênio, sendo diferentes estatisticamente dos outros tratamentos, que com exceção do controle não apresentaram diferenças significativas entre si. O controle ainda se assemelhou significativamente ao tratamento com polímero hidroretentor (G1). No segundo tempo de avaliação verifica-se que somente o tratamento com ARS apresentou diferença significativa, sendo que os outros tratamentos se assemelharam entre si, com concentrações menores que o primeiro. Aos 21 DAA nenhum tratamento se diferenciou significativamente. No dia 41 após aplicação o tratamento com ARS com maior concentração e ADM com menor concentração diferenciam-se significativamente entre si, mas não entre os outros tratamentos, sendo todos os com ARS semelhantes, e os com os polímeros (G1 e G2) semelhantes à ADM. No último tempo avaliado no experimento os três tratamentos que utilizaram ARS também se assemelharam entre si, porém somente o tratamento com o polímero (G1) não apresentou diferença significativa ao controle e à ADM.

TABELA 7. COMPARATIVO DE NITROGÊNIO EM MG KG⁻¹ ENTRE TEMPOS NA PROFUNDIDADE 10-20 CM.

Tratamento	1 DAA	11 DAA	21 DAA	41DAA	81 DAA
Controle	0,5Ac	-	-	-	0,0Ac
ARS	10,4ABa	17,2Aa	13,7ABa	16,5Aa	6,9Bab
ARS+G1 (mg kg ⁻¹)	4,6Abc	11,3Ab	12,2Aa	12,8Aab	4,7Abc
ARS+G2	5,2Cb	11,2ABb	7,3BCa	11,8Aab	10,6Aab
ADM	6,2Bab	9,7Ab	5,6Ba	7,1Bb	0,3Cc

Letras maiúsculas na linha comparam tempos em cada tratamento. Letras minúsculas na coluna comparam tratamentos em cada tempo. DAA: Dias após aplicação. ARS: água residuária de suinocultura (80 m³ ha⁻¹). ARS+G1 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor para plantio). ARS+G2 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor de fralda). ADM (adubação mineral na formulação 08-20-20, numa quantidade de 192 kg ha⁻¹ ao solo).

Para Luchese (2015), a forma nítrica é a que predomina em solos aerados, e depois de aproximadamente cinco dias quase todo o nitrogênio amoniacal que é liberado no meio torna-se nítrico, podendo os valores variar de acordo com as condições de oxi-redução do meio. Complementa ainda, que este caso pode ter sido influenciado pelo fato de algumas colunas terem ficado drenadas ou encharcadas. Afirma ainda, que os valores de referência de nitrato e amônia no solo variam muito e vão estar diretamente relacionados a alguns fatores mais controlados ou momentâneos, por isso são avaliados só para pesquisa, e deve-se levar em consideração algumas questões, como quanto material foi aplicado, quantos dias depois de aplicado a análise foi realizada, a umidade mantida no sistema, uma vez que todos estes fatores tem uma influência brutal na disponibilidade de Nitrogênio.

As concentrações de nitrogênio nas colunas de solo e em cada tratamento e tempo podem ser melhores visualizadas na Figura 6.

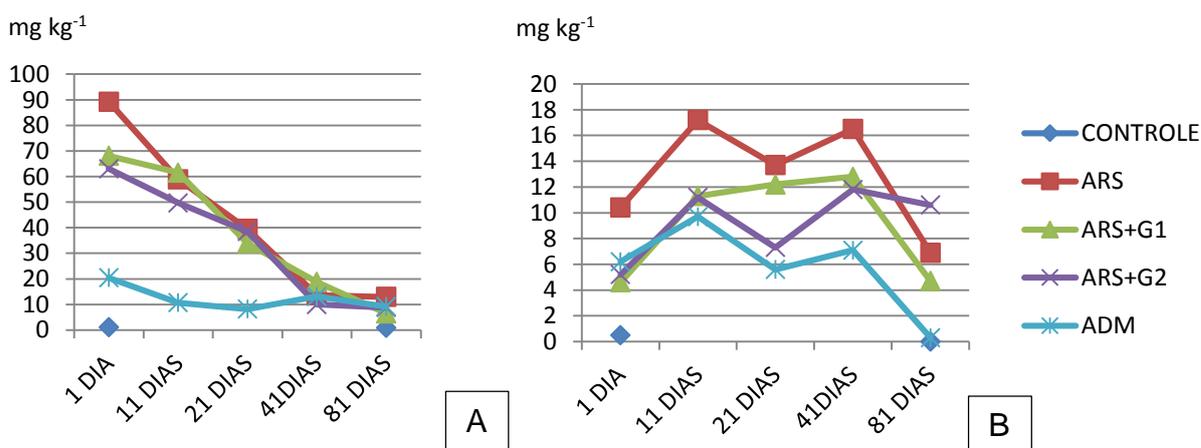


FIGURA 6. CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO EM MG KG⁻¹ NOS DIFERENTES TRATAMENTOS E TEMPOS NA CAMADA DE 0-10 (A) E 10-20 (B).

Nas avaliações de fósforo na primeira camada do solo, foi possível identificar que o controle não apresentou diferença significativa entre o primeiro e o último tempo de coleta. O tratamento com ARS aplicada direto ao solo não apresentou diferença significativa nos três primeiros tempos avaliados, a partir do que apresentou ligeira elevação da concentração. Nas colunas que receberam ARS com o polímero hidroretentor (G1) não foi possível identificar nenhuma diferença significativa ao longo do tempo estudado, enquanto que naquelas que receberam ARS com o polímero de fralda (G2) observa-se que o primeiro, segundo e quinto tempos de coleta não diferem estatisticamente, tendo apresentado resultado diferente apenas para 21DAA com concentração menor. As colunas de solo que receberam apenas ADM não apresentaram diferença estatística para 1, 21, 41 e 81DAA, sendo observado ainda, concentração inferior para 11DAA.

Quando avaliados os tempos em estudo para a primeira profundidade de fosforo, foi verificado que o tratamento ARS apresentou diferença significativa para os tempos 1, 11 e 21 DAA com valores superiores aos demais tratamentos. Para os tempos 41 e 81DAA todos os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa entre si.

TABELA 8. COMPARATIVO DE FÓSFORO EM MG DM⁻³ ENTRE TEMPOS NA PROFUNDIDADE 0-10 CM.

Tratamento	1 DAA	11 DAA	21 DAA	41DAA	81 DAA
Controle	18,7Ab				25,1Aa
ARS	53,7Aa	41,7Aa	46,8Aa	27,2Ba	38,5ABa
ARS+G1	27,4Ab	27,2Ab	29,7Aab	35,9Aa	25,9Aa
ARS+G2	30,8ABCb	36,7Aab	19,6Cb	22,0BCa	34,5ABa
ADM	26,3ABb	23,4Bb	28,0ABb	40,9Aa	30,4ABa

Letras maiúsculas na linha comparam tempos em cada tratamento. Letras minúsculas na coluna comparam tratamentos em cada tempo. DAA: Dias após aplicação. ARS: água residuária de suinocultura (80 m³ ha⁻¹). ARS+G1 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor para plantio). ARS+G2 (80 m³ ha⁻¹ de ARS + 0,315 g de polímero hidroretentor de fralda). ADM (adubação mineral na formulação 08-20-20, numa quantidade de 192 kg ha⁻¹ ao solo).

Segundo Luchese (2015), mesmo sendo elevados, valores acima de 18 mg dm⁻³ para fósforo estão dentro de limites aceitáveis para a região, uma vez que pertencem a uma região cujos solos apresentam entre 40 e 60% de argila.

Em estudos realizados por Bertol *et al.* (2010) fica evidente que o solo que recebe dejetos líquidos de suíno apresenta maior suscetibilidade para perda de fósforo, em relação ao solo que recebe formulados com NPK, podendo ainda ser possível constatar que a transferência de fósforo para o solo por meio de dejetos líquidos de

suíno apresenta maior risco ambiental do que se essa transferência fosse feita por uma fonte inorgânica.

As concentrações de fósforo na primeira camada podem ser mais facilmente observadas na Figura 7.

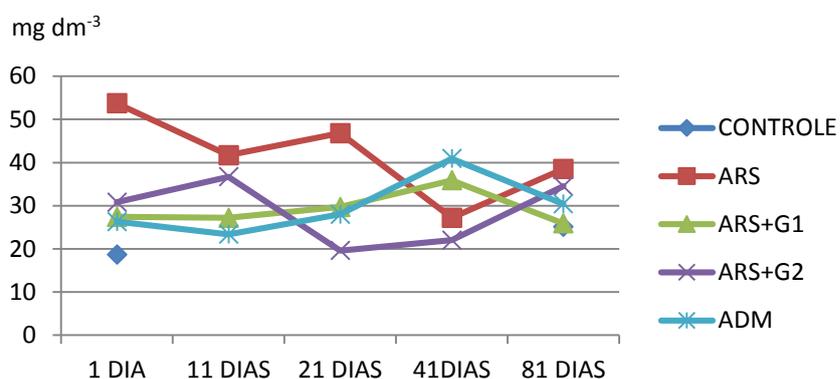


FIGURA 7. CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO EM MG DM⁻³ NOS DIFERENTES TRATAMENTOS E TEMPOS NA CAMADA DE 0-10 CM.

Uma vez que os teores de potássio não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos nas duas camadas, a análise estatística dos tempos não foi realizada, assim como para fósforo, que na camada de 10-20 cm não apresentou diferença estatística significativa para os resultados de todos os tratamentos.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista os aspectos avaliados, foi possível identificar diferentes concentrações dos três nutrientes (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) nas duas profundidades em estudo, observando-se que todos os tratamentos e tempos apresentaram maiores quantidades na camada superficial. Pode se observar ainda, que na camada superficial do solo os tratamentos com polímero hidretentor apresentaram comportamento semelhante ao com ARS aplicada direto ao solo para o Nitrogênio, com valores superiores entre a aplicação e o 21DAA comparados à ADM e ao Controle. Para o Fósforo, os tratamentos com polímeros hidretentores se assemelharam com a aplicação de ADM, com concentrações abaixo daquela da ARS direta ao solo. Na camada 10-20 cm foi possível verificar que para Nitrogênio a ARS apresentou valores mais elevados, enquanto que para Fósforo os valores não apresentaram diferença estatística significativa. Para o Potássio não se observou diferença estatística significativa entre os tratamentos de cada profundidade. Desta forma, pode-se concluir que os polímeros hidretentores avaliados não apresentaram benefício significativo nas doses e tempos do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPECS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. Relatório Anual 2012-2013. Disponível em <http://www.abipecs.org.br> . Acesso em maio. 2015.

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, v.42, n.1, p.95-102, Brasília, DF, jan, 2007.

ALLEN, B.L.; MALLARINO, A.R. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, p.125-137, 2008.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A. Níveis de polímero superabsorvente, freqüências de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum**. Maringá , v. 24, n. 5, p. 1239-1243, 2002.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S.; SILVEIRA, M. J. da. **Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia**. Cienc. Rural, v. 34, n. 6, p. 1773-1778, Santa Maria, Dez. 2004 .

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C. ; CASSOL, P. C. ; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. **Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p. 485-494, 2004.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LANA, M. C. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. **Scientia Agrícola**, v.67, p.71-77, 2010.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G.. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p. 781-792. 2007.

BORTOLINI, C.G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; SMANHOTTO, A.; NOBREGA, L.H.P.; QUEIROZ, M. M. F. de; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.692-697, 2010.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. **Características químicas do solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. **Características químicas do solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CERETTA, C. A.; GIROTTI, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrienttransferbyrunoffunder no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 139, p. 689-699, 2010.

CERETTA, C.A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L.; BERWANGER, A.L. **Dejeto líquido de suínos: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, nov./dez. 2005.

DIETER, J. **Transferência de fósforo por escoamento superficial devido ao reuso de água residuária de suinocultura e à adubação mineral em solo cultivado com soja em diferentes declividades e intensidades de precipitação**. 51f.. Tese (doutorado engenharia agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel – PR, 2014.

DOBLINSKI, A. F.; Sampaio, S.C.; Silva, V.R.da; Nóbrega, L.H.P.; Gomes, S.D.; Dal Bosco, T.C. **Lixiviação “in situ” de nitrogênio, fósforo e potássio oriundos do uso de água residuária da suinocultura na cultura do feijão**. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 36, 2007. Bonito. Anais... Bonito: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. CD ROM.

DYNIA, J. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C. **Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.41, n.5, p.855-862, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. – Brasília, DF, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF, 2009.

HEATHWAITE, L; SHARPLEY, A.; GBUREK, W. A. **A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales**. Journal Environmental Quality, Madison, v. 23, n.2, p. 337-343, 2000.

HESKETH, N.; BROOKES, P. C. **Development of an indicator for risk of phosphorus leaching**. Journal Environmental Quality, Madison, v. 29, p. 105-110, 2000.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2012.

LUCHESE, A. V. **Relatório mensal** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <camilajschmidt@gmail.com> em 02 dez. 2015.

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L. de; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. **Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura**. Rev. bras. eng. agríc. Ambiente. vol.15, n.2, pag. 170-177, 2011.

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. **Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura**. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v. 15, n. 2, p. 170-177, Campina Grande. Fev, 2011.

MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.43, p.1-7, 2013.

MATTIAS, J. L.; CARETTA, C. A.; NESI, C. N.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E. E.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B. Copper, zinc and manganese in soil soft water sheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.34 no.4 Viçosa Julho/Agosto. 2010

MENDONÇA, T. G.; URBANO, V. R.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **WaterResourcesandIrrigation Management**, v.2, n.2, p.87-92, Maio-Agosto. 2013.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. **Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, set./out., 2004.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P. dos; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. **Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006.

SAAD, J. C. C.; LOPES, J. L. W.; SANTOS, T. A. dos. Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptusurograndis* em dois solos diferentes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 404-411, Sept. 2009.

SAMPAIO, S. C.; CAOVILLA, F. A.; OPAZO, M. A. U.; NÓBREGA, L. H. P.; SUSZEK, M.; SMANHOTTO, A. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 150-159, 2010a.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. **Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 1, jan./fev. 2003.

SCHMIDT, E.L. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). **Nitrogen in agriculturalsoils**. Madison: American SocietyofAgronomy. p.253-288. 1982.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L.I. Rainfallintensityandphosphorusourceeffectsonphosphorustransport in surfacerunofffromsoiltrays. **Science Total Environmental**, v.373, p.334-343.. 2007.

SILVA, F. C. da; **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 628f. 2ª ed. Ver. Ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, J. C. P. M. da. **Esterco líquido de gado de leite e fertilização mineral influenciando a produção de silagem e propriedades químicas do solo na região dos campos gerais do Paraná**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal do Paraná.

SMANHOTTO, A.; SOUZA, A. P.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; PRIOR, M. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 30, n.2, p. 347-357, 2010.

SOARES, A. B.; RESTLE, J. **Adubação Nitrogenada em Pastagem de Triticale mais Azevém sob Pastejo com Lotação Contínua: Recuperação de Nitrogênio e Eficiência na Produção de Forragem**. Revista Brasileira. Zootecnia., v.31, n.1, p.43-51, 2002.

SOUZA W. J. O.; MELO, W. J. **Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho**. Bras. Ci. Solo, 24:885-896, 2000.

THALHEIMER, R., CIESLIK, L. F., SILVEIRA, E. C.; PLUCINSKISON, L. C.; LUCINA, M. Seedlings of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunni* under different levels of polymer hydroretentor and periods of drought. In: Seminar: Agricultural Production Systems. **Agricultural Sciences, Animals and Forestry**. 2010.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.