

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

ALFREDO JOSÉ ALVES NETO

**USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO
MINERAL NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE GRÃOS DA REGIÃO OESTE DO
PARANÁ**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2015

ALFREDO JOSÉ ALVES NETO

**USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO
MINERAL NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE GRÃOS DA REGIÃO OESTE DO
PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dr^a. Maria do Carmo Lana

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

A474u	Alves Neto, Alfredo José Uso de água residuária de suinocultura associada à adubação mineral no sistema de produção de grãos da região oeste do Paraná / Alfredo José Alves Neto. - Marechal Cândido Rondon, 2015. 80 p. Orientador: Dr. Maria do Carmo Lana Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2015. 1. Resíduos orgânicos como fertilizantes. 2. Adubos e fertilizantes. I. Lana, Maria do Carmo. II. Título.
	CDD 22.ed. 631.86 CIP-NBR 12899

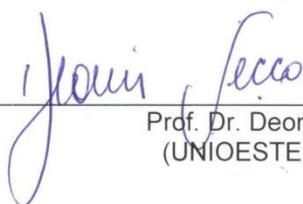
Ficha catalográfica elaborado por Marcia Elisa Sbaraini Leitzke CRB-9/539

ALFREDO JOSÉ ALVES NETO

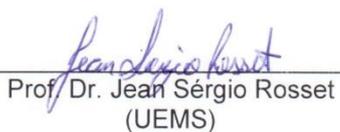
**USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO
MINERAL NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE GRÃOS DA REGIÃO OESTE DO
PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

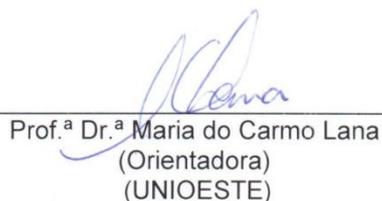
APROVADA em: 12/07/2015.



Prof. Dr. Deonir Secco
(UNIOESTE)



Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset
(UEMS)



Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Lana
(Orientadora)
(UNIOESTE)

A meus pais Ademir e Mariza, meus irmãos Álvaro e Bruna, minha querida esposa Patrícia e ao meu filho Joaquim, pela inspiração e força para alcançar todos meus objetivos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Jeová Deus, pela dádiva da vida, por me direcionar a oportunidades e experiências extraordinárias durante minha vida, por sempre caminhar ao meu lado, pelas bênçãos, por me ensinar os princípios que regem minha conduta e anseio na busca por sabedoria. Todas as conquistas se devem à sua bondade e generosidade.

À minha esposa Patrícia Hermes Alves, por tolerar minha falta, por apoiar, por me ajudar a ter persistência, pela doação e amor incondicional, abrindo mão da minha convivência para essa realização pessoal.

Ao meu filho Joaquim, por ser um bebê muito querido, me permitindo desfrutar de um sorriso mágico e luminoso todas as manhãs.

À minha família, pai Ademir, mãe Mariza, irmão Álvaro e irmã Bruna, pelo amor, ensinamentos de humildade, fé e perseverança, indicando o caminho de buscar primeiro a Deus, em tudo na vida.

À minha sogra Norma, sogro Rogério e cunhado Gustavo, pela confiança, pelo apoio, amizade, pela sustentação e incentivo.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Lana minha mais sincera gratidão, pela credibilidade aceitando me orientar, compreensão, paciência e incentivo, além da valiosa contribuição em conhecimento na minha carreira profissional. Sua sensibilidade e tato aumentaram minha motivação, durante o período que conduzimos os trabalhos juntos.

Ao Mestre Fernando Fávero, Assessor Técnico da Copacol, pelo exemplo de dedicação e busca pela perfeição nos detalhes, pela amizade, pela ajuda direta no desenvolvimento do experimento, orientações técnicas e incansável disposição e contribuição a este trabalho.

À Cooperativa Agroindustrial Consolata - Copacol, pelas oportunidades e confiança na minha potencialidade, por investir em mim e consentir a licença para dedicar parte do meu tempo para presenciar as aulas durante estes 3 anos.

Ao presidente Sr. Valter Pittol, ao gerente da Divisão de Unidades da Copacol Sr. Rubem Marco de Salles Santos, ao Assessor de Negócios da Copacol Ramiro Marcelo Debortoli Criveletto, ao Gerente da Unidade da Copacol de Formosa do Oeste Nivaldo Sandri e Fábio Faria de Oliveira, supervisor técnico, pelo apoio e pelas licenças de afastamento para esta conquista pessoal.

Agradeço ao Dr. Leandro Rampim, por todos os auxílios com a dissertação, pela paciência e incansável disposição em melhorar a qualidade dos trabalhos.

Aos amigos e professores Dr. Luis Antônio de Mendonça Costa, Dr. Dércio Ceri Pereira, Dr. Deonir Secco e Dr. Jean Rosset, pelas orientações, auxílios com a redação e ajuda nos trabalhos de laboratório, além de valiosas contribuições à presente dissertação.

Ao amigo e colega, engenheiro agrônomo, Júlio Cezar Perez, pelo auxílio e disposição nas coletas de amostras de solo.

Ao laboratório de física do solo LAFIS da UNIOESTE de Cascavel – PR, pelo auxílio nas análises dos atributos físicos do solo. Agradeço imensamente à Dr. Deonir Secco, amigo e professor na graduação, também à Marcos Martins e Luciene Tokuka, pelo auxílio nas análises físicas do solo.

Ao Dr. Jucenei Fernando Frandoloso por me auxiliar com as análises de tecido foliar.

À Tiago Madalosso, pela amizade, disposição e contribuições nos esclarecimentos de experimentação agrícola.

À equipe de colaboradores do Centro de Pesquisa Agrícola Copacol (CPA Copacol), pelos tratos culturais no experimento.

Aos colegas de trabalho da Copacol por compreender minha ausência quando estava dedicado ao mestrado.

Agradeço especialmente aos amigos Adriano Mitio Inagaki e Marcos Mansano Sarto, por abrirem as portas de sua casa, sempre que precisei, em Marechal Candido Rondon.

Aos colegas e amigos Henrique Maldaner, Marcos André Simon, Luiz Offeman, Lucas Bulegon, André Batistus, Ricardo Braga Souza, Daniel Schwantes, Emerson Gasparotto, André Piva, Nicanor Henckemeier, Edilaine Della Valentina, Patrícia Favorito, Célio Potrich, Paulo Dall Oglio, Marcelo Gonçalves, pela contribuição no trabalho e amizade durante o período de convivência.

À todos os colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da UNIOESTE, *campus* de Marechal Cândido Rondon e *campus* de Cascavel, pelos ensinamentos e pelo companheirismo.

A todos os meus amigos de Corbélia – PR, pelo encorajamento.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná e a todos seus funcionários, do *campus* de Marechal Cândido Rondon, e, principalmente, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e apoio na realização do curso.

Agradeço de coração, a todas as pessoas e instituições, que mesmo não sendo citadas, contribuíram de uma forma ou de outra, para o desenvolvimento deste trabalho.

“Sabedoria é a coisa principal. Adquire sabedoria; e com tudo que adquires, adquire compreensão. Estima-a muito, e ela te exaltará. Ela te glorificará, porque a abraças”.

Provérbios cap. 4, versículos 7 e 8.

RESUMO

ALVES NETO, Alfredo J. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho de 2015. **USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO MINERAL NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE GRÃOS DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ.** Orientadora: Dr^a. Maria do Carmo Lana.

Os nutrientes contidos na água residuária de suinocultura (ARS), são desbalanceados e não totalmente disponíveis no primeiro cultivo, havendo a necessidade de pesquisas regionalizadas levando em conta particularidades de cada local, como o regime pluviométrico, tipo de solo e os sistemas de cultivos. Com o objetivo de avaliar a influência das aplicações de doses de ARS nas culturas de soja e milho segunda safra, nos atributos químicos e físicos do solo, um experimento foi conduzido nos meses de setembro de 2013 a agosto de 2014, no município de Cafelândia, região oeste do Paraná, no centro de pesquisa agrícola Copacol – CPA Copacol, em Latossolo Vermelho Distroférico típico. Foram utilizadas cinco doses de água residuária de suinocultura, (0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), e duas fontes de adubação mineral, ausência e presença. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo alocado nas parcelas principais o fator doses, e nas subparcelas alocado o fator adubação mineral, com os cultivos de soja (verão 13/14) e milho segunda safra (inverno 14/14). Foram avaliadas as variáveis biométricas, os teores foliares de N, P, K, Cu e Zn das culturas de soja e milho e as suas respectivas produtividades, com posterior determinação de análise econômica das doses de ARS. Após a colheita do milho segunda safra, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10-0,20 m para determinação dos teores de C orgânico, P, K, Cu e Zn. Amostras indeformadas com anéis volumétricos foram retiradas nas profundidades de 0 - 0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, para determinação dos atributos físicos do solo. Com o aumento das doses de ARS, houve redução na fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja, em contrapartida, com aumento na massa de mil grãos. Na cultura do milho, as doses de ARS aumentaram a produtividade, a massa de mil grãos e o teor de umidade dos grãos. Evidenciou-se aumento nos teores de

P, K, Cu e Zn, na profundidade de 0 - 0,10 m, e aumento no teor de P na profundidade de 0,10 - 0,20 m. As aplicações das doses de ARS conservaram a qualidade física do solo.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Fósforo. Adubação orgânica. Nitrogênio.

ABSTRACT

ALVES NETO, Alfredo J. State University of the Western Paraná State, in July 2015. **SWINE WASTEWATER USE ASSOCIATED WITH MINERAL FERTILIZER ON GRAIN PRODUCTION SYSTEM, IN WEST OF PARANÁ STATE, BRAZIL.** Advisor: Dr^a. Maria do Carmo Lana.

Nutrients contained in swine wastewater (SW), are unbalanced and not fully available for the first crop, with the need for regionalized research, taking into account the characteristics of each site, such as rainfall, soil type and cropping systems of each region. With the objective of evaluating the influence of applications of ARS doses in soybean crop and second crop corn, chemical and physical properties of the soil, an experiment was conducted from september 2013 to august 2014, in the municipality of Cafelândia, western of Paraná, in the Copacol Center of Agricultural Research - CPA Copacol, in Dystroferic Red Latosol. In this experiment, was used five swine wastewater doses (0, 35, 70, 105 and 140 m³ ha⁻¹ yr⁻¹) and two sources of mineral fertilizer, absence and presence. The statistical design, was a randomized block with split plots, with four repetitions, allocated in the main plots factor doses, and in the subplots was allocated the mineral fertilizer factor, the soybean crop (summer 13/14) and maize second crop (winter 14/14). Biometric variables were evaluated, leaf levels of N, P, K, Cu and Zn in soybean and corn with their respective yields, with subsequent determination of economic analysis of SW doses. After second crop corn harvest, soil samples were collected in the layers 0 - 0,10 and 0,10 - 0,20 m to determine the C organic, P, K, Cu and Zn. Undisturbed soil core samples were collected in the layers 0 - 0,10, 0,10 - 0,20 and 0,20 - 0,30 m to determination of soil physical properties. With increasing of SW doses, a reduction in the biological nitrogen fixation in soybean, in contrast with increases in the weight of a thousand grains. In second crop corn, the SW doses increased productivity, thousand grain weight and grains moisture content. Identified an increase in the levels of P, K, Cu and Zn in the layer of 0 - 0,10 m, and increase in the P content in the layer of 0,10 - 0,20 m. The applications of SW doses kept the physical soil quality in layers sampled.

Keywords: Nutrient cycling. Phosphorus. Organic fertilizer. Nitrogen.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localização da área experimental no centro de pesquisa agrícola da Copacol.	10
FIGURA 2. Lagoa de estabilização anaeróbia, agitador para dejetos decantados ...	12
FIGURA 3. Aplicação de ARS com tanque distribuidor e aspecto das parcelas após aplicação.	14
FIGURA 4. Nodulação (a) e altura de plantas (b) da cultura da soja em razão de doses de ARS com e sem adubação mineral.....	20
FIGURA 5. Massa de mil grãos da cultura da soja, em razão de ARS	21
FIGURA 6. Produtividade da soja em razão de doses de ARS na média de presença e ausência de adubação mineral.....	23
FIGURA 7. Altura de inserção de espiga (a), comprimento da base da espiga até o pendão (b) e altura de plantas (c) de milho em razão de doses de ARS.....	26
FIGURA 8. Umidade de grãos de milho em razão de doses de ARS.	27
FIGURA 9. Massa de mil grãos (a) e produtividade (b) em razão de doses de ARS.	28
FIGURA 10. Receita líquida de doses de ARS, para as distâncias de 5.000 e 10.000 metros e produção total de grãos do sistema soja – milho segunda safra. ...	32
FIGURA 11. Temperaturas máximas e mínimas, observadas no período de setembro de 2013 a agosto de 2014 do experimento de campo. Cafelândia, Estado do Paraná, 2015.....	44
FIGURA 12. Teores de fósforo (a), potássio (b), carbono orgânico (c), cobre (d) e zinco (e), na profundidade de 0- 0,10 m após aplicação anual de ARS.	47
FIGURA 13. Teores de fósforo (a), potássio (b), carbono orgânico (c), cobre (d) e zinco (e), na profundidade de 0,10 - 0,20 m após aplicação anual de ARS.	51
FIGURA 14. Teores foliares de fósforo, em função das doses de ARS, na cultura da soja.....	55
FIGURA 15. Teores foliares de cobre (a) e teor foliar de zinco (b) em função das doses de ARS, na cultura do milho.....	57
FIGURA 16. Assepsia das amostras e preparação dos anéis para início das análises no laboratório de Física do Solo da UNIOESTE – Cascavel-PR.	68

- FIGURA 17. Valores de densidade do solo para as profundidades de 0 - 0,10 m (a), 0,10 - 0,20 m (b) e 0,20 - 0,30 m (c), após aplicação de ARS em associação com adubação mineral.70
- FIGURA 18. Valores de densidade do solo para as profundidades de 0-0,30 m, após aplicação anual de ARS em associação com adubação mineral.71
- FIGURA 19. Valores de porosidade total (a), macroporosidade (b), microporosidade (c) e razão entre macro/microporosidade (d), do solo para as profundidades de 0-0,30 m após aplicação anual de ARS em associação com adubação mineral.....74
- FIGURA 20. Valores de condutividade hidráulica em solo saturado para as profundidades de 0-0,30 m após aplicação anual de ARS em associação com adubação mineral75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Requisitos regulamentares para manejo de ARS em cinco países.....	3
TABELA 2. Atributos químicos das amostras coletadas antes da instalação do experimento, Cafelândia-PR.....	5
TABELA 3. Atributos físico químicos da ARS e quantidade de elementos químicos aplicados com as doses testadas no experimento.	17
TABELA 4. Quantidade de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O, na forma mineral adicionada aos diferentes sistemas de adubação no sulco de semeadura no experimento.	18
TABELA 5. Custos dos tratamentos utilizados no experimento.	19
TABELA 6. Componentes utilizados no cálculo de custo variável da cultura da soja.....	23
TABELA 7. Componentes utilizados no cálculo de custo variável da cultura do milho segunda safra.....	24
TABELA 8. Quadro de ANAVA com os quadrados médios para variáveis as número de nódulos (NN), altura de plantas (AP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG), após aplicação de doses de ARS e adubação mineral na cultura da soja.....	25
TABELA 9. Quadro de ANAVA com os quadrados médios de milho segunda safra, após aplicação de doses de ARS e adubação.	32
TABELA 10. Quadro de ANAVA com os quadrados médios da análise econômica nas distâncias e produção de grãos, após aplicação de doses de ARS.....	35
TABELA 11. Análise econômica de ARS, para as distâncias de 5.000 e 10.000 metros.....	36
TABELA 12. Quadro de ANAVA com os quadrados médios para atributos químicos do solo na camada 0-0,10 m, após aplicações de doses de ARS e adubação mineral.....	50
TABELA 13. Quantidade de metais pesados que podem ser aplicados no solo, segundo órgãos que regulamentam aplicações de metais pesados dos países.....	53
TABELA 14. Quadro de ANAVA com os quadrados médios para atributos químicos do solo na camada 0,10-0,20 m, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral.	54

TABELA 15. Teores de fósforo e cobre na camada 0,10-0,20 m, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral.	56
TABELA 16. Quadro de ANAVA com os quadrados médios dos teores foliares da soja, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral.....	58
TABELA 17. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados da análise de folhas de soja	58
TABELA 18. Quadro de ANAVA com os quadrados médios para os teores foliares do milho, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral.....	60
TABELA 19. Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho.....	62
TABELA 20. Densidade do solo, após aplicação de ARS em associação com adubação mineral.	73
TABELA 21. Quadro de ANAVA com os quadrados médios para porosidade total, macroporosidade e microporosidade, após aplicação de doses de ARS em associação com adubação mineral.....	76
TABELA 22. Teores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade após aplicação de doses de ARS em associação com adubação mineral.....	77
TABELA 23. Quadro de ANAVA com os quadrados médios de condutividade hidráulica de água em solo saturado, após aplicação de ARS em associação com adubação mineral.	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REFERÊNCIAS	4
3	CAPÍTULO 1: PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA E VIABILIDADE ECONÔMICA DE ÁGUA RESISUÁRIA DE SUINOCULTURA NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ	6
3.1	RESUMO.....	6
3.2	ABSTRACT	7
3.3	INTRODUÇÃO.....	8
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	10
3.4.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	10
3.4.2	CARACTERÍSTICAS LOCAIS.....	10
3.4.3	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA RESIDUÁRIA, DO FERTILIZANTE MINERAL E IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	12
3.4.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	14
3.4.5	AVALIAÇÕES.....	15
3.4.5.1	PRIMEIRO CULTIVO (SOJA).....	15
3.4.5.2	SEGUNDO CULTIVO (MILHO SEGUNDA SAFRA).....	15
3.4.5.3	ANÁLISE ECONÔMICA	16
3.4.5.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	19
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.5.1	PRIMEIRO CULTIVO (SOJA).....	19
3.5.2	SEGUNDO CULTIVO (MILHO SEGUNDA SAFRA).....	24
3.5.3	ANÁLISE ECONÔMICA	29
3.6	CONCLUSÕES.....	33
3.7	REFERÊNCIAS	35
4	CAPÍTULO 2: ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NOS TEORES FOLIARES DE SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA 40	
4.1	RESUMO.....	40
4.2	ABSTRACT	41
4.3	INTRODUÇÃO.....	41

4.4	MATERIAL E MÉTODOS	43
4.4.1	AVALIAÇÕES	45
4.4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.5.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS NA PROFUNDIDADE DE 0- 0,10 M	46
4.5.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS NA PROFUNDIDADE DE 0,10 - 0,20 M.....	50
4.5.3	TEORES FOLIARES DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO.....	53
4.6	CONCLUSÕES.....	58
4.7	REFERÊNCIAS	59
5	CAPÍTULO 3: ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	64
5.1	RESUMO	64
5.2	ABSTRACT	64
5.3	INTRODUÇÃO.....	65
5.4	MATERIAL E MÉTODOS	67
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.5.1	DENSIDADE DO SOLO	69
5.5.2	EFEITOS DAS DOSES DE ARS NA POROSIDADE DO SOLO	71
5.5.3	CONDUTIVIDADE DA ÁGUA EM SOLO SATURADO	75
5.6	CONCLUSÕES.....	76
5.7	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

A humanidade tem um grandioso desafio, necessita até o ano de 2050 aumentar em 70% a atual produção mundial de alimentos, de forma sustentável e sem impactos negativos aos recursos naturais (FAO, 2013). Diante deste cenário, as principais contribuições do Brasil são novas áreas agricultáveis, adotando sistemas de cultivo sob um clima tropical e subtropical, os quais permitem duas safras por ano sem o revolvimento do solo, além dos avanços na área científica e a proeminência da indústria nacional de proteína animal (BARROS; BARROS, 2005).

O país é o quarto maior produtor mundial de carne suína com 3.370 mil toneladas em equivalente carcaça no ano de 2014, com exportação de 15,34 % (517 mil toneladas) deste volume (ABIPECS, 2015).

A região sul do Brasil possui a maior produção nacional de suínos. O Paraná participa com quantidade relevante desta produção (17%), o que fez com que a região sul do Brasil (estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), alcançasse no ano de 2014, a participação de 61,40% de toda a produção nacional (ABIPECS, 2015).

A cultura da soja apresenta uma área de cultivo de 30,17 milhões de hectares, e o milho segunda safra com quase 9,18 milhões de hectares. A área cultivada com milho, primeira safra e segunda safra, totalizam 15,80 milhões de hectares, sendo que do ano de 2013 para o ano 2014, evidenciou-se crescimento de outras culturas de destaque mundial, cana de açúcar (4%), feijão (9%), sorgo (2%) e trigo (15%) (CONAB, 2015).

Os grãos de soja são esmagados para produção de óleo, sobretudo, o farelo, subproduto deste processo, é utilizado largamente como ração animal, pelo seu valor energético (SILVA et al., 2006). Uma ampla fração da produção de milho é verticalizada, sendo transformado em proteína animal, e, somente o setor suinícola consumiu 22,88% das rações produzidas no Brasil em 2014 (SINDIRAÇÕES, 2015).

Nas últimas décadas o cultivo da soja expandiu para várias regiões do Brasil, e atualmente, o país possui uma área de produção que compreende desde os Estados do Rio Grande do Sul (região sul) até Roraima (região norte), e, além de ser o alicerce da agricultura brasileira, a cultura desenvolveu a economia de muitas regiões (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010).

O aumento de produtividade, da cultura da soja e de milho, deve-se graças aos avanços tecnológicos obtidos, melhoria da fertilidade do solo, além de avanços nas áreas de fisiologia e nutrição, propiciando melhor compreensão de suas relações com o

ambiente de produção, sendo fundamentais para prever o comportamento das culturas e conseguir maiores rendimentos, com a otimização e sustentabilidade dos recursos naturais (IAPAR, 2013).

O cultivo de milho segunda safra em sistema de plantio direto é a principal cultura cultivada após a soja em virtude dos preços relativamente baixos atingidos durante a comercialização das principais culturas de inverno, principalmente a cultura do trigo, bem como da carência de outras opções de cultivo, sendo que em algumas regiões do Estado do Paraná os produtores optam pelo cultivo de soja após o período normal de safra (ALBRECHT et al., 2009).

As condições climáticas neste período na região oeste do Paraná implicam em menores investimentos por parte do produtor, haja vista que o período compreendido pela safrinha é caracterizado por redução gradativa de precipitação com o aumento da probabilidade de ocorrência de geadas, e, nessas condições, o sucesso da safra depende da combinação entre a época de semeadura e o ciclo da cultivar, visando evitar os períodos de seca e de geada (CARDOSO et al., 2004).

Neste sentido, a alternativa da ciclagem de nutrientes e da economia de fertilizantes minerais através do uso de água residuária de suinocultura (ARS) nas propriedades é atrativa para produtores, além de ser considerada uma prática sustentável quando utilizada corretamente, pois a produção agrícola apresenta-se com alto custo, onde o fertilizante apresenta o maior custo (cerca de 40% dos custos), sendo a utilização dos biofertilizantes de origem suína torna-se viável, pois na atualidade a agricultura busca o aumento da produtividade e a redução de custos (SEIDEL et al., 2010).

Reciclar a ARS e outros resíduos orgânicos oriundos do confinamento de animais no solo, é uma das formas de complementar ou substituir os minerais extraídos pelas culturas (ARRUDA et al., 2010), sendo mais eficientes em sistema de plantio direto. Segundo Crusciol et al., (2008) na região oeste do Paraná, o plantio direto representa, aproximadamente, 80% dos sistemas de cultivo.

A aplicação realizada sem um prévio conhecimento ocasiona sérios danos ambientais e prejudica o desenvolvimento das culturas. Esse dejetos possui em alguns dos seus componentes poluentes (carga orgânica elevada, nitrogênio, fósforo, cobre e zinco) em concentrações suficientemente altas para constituírem risco de desequilíbrio ecológico quando dispostos inadequadamente (CAOVILLA et al., 2010).

Em contrapartida, as vantagens do emprego adequado de ARS são a redução no uso de fertilizantes minerais e maior estabilidade econômica e social dos produtores

rurais, sem degradar o meio ambiente (CAOVILLA et al., 2005; FRIGO et al., 2006.; BAUMGARTNER et al., 2007), além de melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, com conseqüente aumento da produtividade das culturas (FACTOR et al., 2008).

O conhecimento das respostas à adição de ARS permite calcular adequadamente a dose a ser aplicada, com aproveitamento e conservação da água disponível das propriedades (MEDEIROS et al., 2008).

Na agricultura do oeste do Estado do Paraná há necessidade de pesquisas aprofundadas para definir e avaliar os efeitos das aplicações de ARS nos atributos químicos e físicos do solo, nos componentes de rendimento das culturas, análise econômica do aproveitamento de ARS pois a destinação de ARS sem critérios pode comprometer o ambiente e o rendimento das culturas, tornando alto o custo de produção.

Contextualizando, o objetivo deste estudo foi avaliar o uso de doses de ARS antes da cultura de verão associadas ao fertilizante mineral (NPK) nas características agronômicas das culturas da soja e milho segunda safra, teores de nutrientes no solo e nos tecidos foliares das culturas, efeitos nos atributos físicos do solo e nos aspectos econômicos do sistema de produção de grãos do oeste do Paraná.

2 REFERÊNCIAS

ABIPECS - Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios_mercado-interno/producao/Producao_2012.pdf> Acesso em: 24 fev 2015.

ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A. de L.; AVILA, R. M.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C.; STULP, M. Sementes de soja produzidas em épocas de safrinha n Sementes de soja produzidas em épocas de safrinha na região oeste do Estado do Paraná do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.31, n.1, p.121-127, 2009.

ARRUDA, C.A.O., ALVES, M.V., MAFRA, A.L., CASSOL, P.C., ALBUQUERQUE, J. A., SANTOS, J.C.P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.34, n.4, p.804-809, 2010.

BARROS, J.R.M. BARROS, A.L.M. A revolução do agronegócio com ênfase na economia do conhecimento. In: VELOSO, J.P.R. **O desafio da China e da Índia. A resposta do Brasil**. Fórum Nacional, Editora José Olympio, Rio de Janeiro, 2005.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S.C.; SILVA, T.R.; VILAS BOAS, M.A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.27, n.1, p.152-163, 2007.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO S.C.; PEREIRA J.O.; VILAS BOAS M.A.; GOMES B.M. E Figueiredo, A. de C. Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivados com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.9, p.283-287, 2005.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO S.C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA , L.H.P.; QUEIROZ, M.M.; 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, n.7, p.692–697, 2010.

CARDOSO, C.O.; FARIA R.T.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrina - PR, utilizando o modelo ceres-maize. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.24, n.2, p.291-300. 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras. In.: Séries históricas**. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos> Acesso em: 24 fev 2015.

CRUSCIOL, C.A.C.; MORO, E.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**. Campinas, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

FACTOR, T.L.; ARAÚJO, J.A.C. de; VILELLA JUNIOR, L.V.E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.12, n.2, p.143–149, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook of 2013**. Rome, 2013.

FRIGO, E.P.; SAMPAIO, S.C.; FREITAS, P.S.L.; QUEIROZ, M.M.F.; NÓBREGA, L.H.P.; MALLMANN, L.S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**. Botucatu, v.11, n.3, p.305-318, 2006.

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. **Avaliação estadual de cultivares de milho safra 2012/2013**. SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO P. M. de; BIANCO, R; CUSTÓDIO, A. A. de P. Boletim técnico, 79. Londrina, 2013.

MEDEIROS, S.D., HANS, G., SOARES, F.A.L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.12, n.2, p.109–115, 2008.

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização de dejetos de suínos**. Documentos n.27. Embrapa CNPSA, Concórdia – SC, 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F.A. **Soja. In.: Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Volume 3. Culturas. IPNI, Piracicaba. 2010. p.7-35.

SEIDEL, E.P.; GONÇALVES JUNIOR, A.C.; VANIN, J.P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SILVA, M.S.; NAVES, M.M.V.; OLIVEIRA, R.B. LEITE, O.S.M. Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Food Science and Technology**. Campinas. v.26, n.3, p. 571-576. 2006.

SINDIRAÇÕES - Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. Setor de Alimentação animal. **Boletim informativo do setor Dezembro de 2014**. Disponível em: <http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2014/12/boletim-informativo-do-setor_dezembro_2014_vs_portugues_final-site_baixa-10122014.pdf>. Acesso: 24 fev 2015.

3 CAPÍTULO 1: PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA E VIABILIDADE ECONÔMICA DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

3.1 RESUMO

A suinocultura gera elevada quantidade de resíduos orgânicos, ricos em elementos minerais, os quais podem ser utilizados para melhoria da fertilidade do solo. Entende-se que existe urgência na condução de pesquisas mais aprofundadas sobre o uso deste resíduo, sobretudo em regiões onde não há critérios para recomendar doses, época e formas de aplicação de água residuária de suinocultura (ARS), sendo necessário considerar o regime pluviométrico, tipo, uso e manejo de solo. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da ARS associada à fertilizante mineral na produtividade das culturas de soja e milho segunda safra em sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho Distroférico típico no município de Cafelândia, oeste do Paraná. No período de setembro de 2013 a agosto de 2014, foi conduzido um experimento com cinco doses de ARS (0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), e dois níveis de adubação mineral (ausência e presença), com soja no verão e milho segunda safra no inverno. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foi alocado nas parcelas o fator doses de ARS e nas subparcelas o fator adubação mineral. Para a cultura da soja foi adicionado o fertilizante 04-24-16 fornecendo 12, 72 e 48 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O na semeadura, respectivamente. Na cultura do milho segunda safra foi adicionado o fertilizante 10-15-15 fornecendo 30, 45 e 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O na semeadura e 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia em cobertura, respectivamente. Foram avaliadas as variáveis biométricas, produtividade e análise econômica com as receitas líquidas das culturas de soja e milho segunda safra. As doses de ARS forneceram a quantidade de nutrientes necessárias às culturas de soja e milho segunda safra, com aumento na massa de mil grãos para a soja, com redução no número de nódulos das plantas de soja. As doses de ARS proporcionaram incremento linear no teor de umidade de grãos, e na produtividade de milho segunda safra. Para a análise econômica não foi constatado efeito significativo das doses de ARS, porém houve tendência na dose de 70 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de maior retorno econômico ao produtor rural da região oeste do Paraná.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Nitrogênio. Reciclagem de nutrientes. *Glycine max*. *Zea mays*. Análise econômica.

3.2 SOYBEAN AND SECOND CROP CORN YIELD AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SWINE WASTEWATER IN WEST OF PARANA STATE, BRAZIL

3.2 ABSTRACT

Swine production generates high amounts of organic waste, rich in minerals elements which could be used to improve the soil fertility. Depth research urgently should be carried out about use of this waste, especially in areas where there are no criteria to recommend appropriate doses, times and forms of swine wastewater (SW) application, by variations in rainfall, type, use and soil management. Thus, the objective was to evaluate the effect of SW associated with mineral fertilizer in the succession of soybean and second crop corn in no tillage system in Oxisol on West of Paraná State, Brazil. From september 2013 to august 2014, an experiment was conducted with five SW doses (0, 35, 70, 105 and 140 m³ ha⁻¹ yr⁻¹), and two levels of mineral fertilizer (absence and presence), comprising the soybean crops in summer and corn second crop in winter. Treatments arranged in a completely randomized split-plot with four replications, allocated to plots the factor doses of SW and the subplot factor mineral fertilizer. In the soybean crop was added the fertilizer 04-24-16 supplied 12, 72 and 48 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅ and K₂O at sowing respectively. In the second crop corn was added the fertilizer 10-15-15 supplied 30, 45 and 30 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅ and K₂O at sowing and 30 kg ha⁻¹ of N as urea in coverage, respectively. Biometric variables, yield and economic analysis from the net income of the soybean crop and second crop corn were evaluated. The SW doses provided the amount of nutrients necessary for soybean and corn second crop, with increased uptake of thousand grain weight for soybeans and reducing the number of nodules of soybean plants. The SW doses provided linear increase in grain moisture content, and the corn second crop yield. For economic analysis was not observed significant effect of ARS doses, but there was at a dose of 70 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ for more likely economic benefits to farmers of western Paraná State, Brazil.

Key words: Organic fertilizer. Nitrogen. Nutrient recycling. *Glycine max*. *Zea mays*. Economic analysis.

3.3 INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil é a maior produtora nacional de proteína animal, ocupando posição de destaque na produção de soja e milho no Brasil. Possui microrregiões como o oeste do Paraná, que detém o maior plantel de suínos do Estado (SMANHOTTO et al., 2010).

A liderança se deve, em sua maior parte, à disponibilidade de matéria prima para rações, oriundas dos cultivos de soja no verão e milho segunda safra no inverno sob sistema de plantio direto, mantendo a produtividade das culturas ao longo dos anos (FÁVERO, 2012).

A implantação da cultura do milho segunda safra tem se consolidado como principal opção de cultivo no inverno na região oeste do Paraná. Em 10 anos, a área de cultivo aumentou em 24,61%, enquanto neste mesmo período, o aumento da produção atingiu 55%, com estimativa de chegar a 5.817 kg ha⁻¹ na safra 2015 (CONAB, 2015). Neste sistema, para que a cultura da soja continue aumentando a produtividade, além de cultivares mais adaptadas e com maior potencial produtivo, é necessário desenvolvimento de manejos culturais mais otimizados para nutrição da cultura, alcançando a máxima eficiência dos fertilizantes, sem afetar o ambiente (FUNDAÇÃO MT, 2004; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014).

No cultivo de milho segunda safra, normalmente, os investimentos em fertilidade do solo são inferiores quando comparados com o milho de verão, devido à instabilidade climática e possibilidade de ocorrência de geadas, com dificuldade na tomada de decisão para o investimento (NASCIMENTO et al., 2011). Este fato implica na necessidade de práticas que melhorem a disponibilidade de nutrientes com custo reduzido e maior sustentabilidade (PINTO et al., 2014).

Neste contexto, regiões com elevada produção de resíduos, como água residuária de suinocultura (ARS), se beneficiam do reaproveitamento de nutrientes, pois quando manejada corretamente, pode ser utilizada como fertilizante orgânico para a produção de grãos, reduzindo o custo de produção (PINTO et al., 2014; SEIDEL et al., 2010; SILVA et al., 2014). Visto que, a ARS possui elementos químicos que após mineralização são disponibilizados ao solo, sendo absorvidos da mesma forma que fertilizantes minerais (CERETTA, 2010; COSTA et al., 2011; SCHIRMANN et al., 2013).

As desvantagens do uso inadequado de ARS são o desperdício na adubação, perdas no rendimento por acamamento das culturas (FÁVERO, 2012), além de efeitos

deletérios ao ambiente, como alta demanda bioquímica de O_2 (DBO), alta concentração de N, P, Cu e Zn, e presença de coliformes fecais (CAOVILLA, 2010), sendo que em excesso pode atingir o lençol freático, ocorrendo eutrofização devido ao aumento do escoamento superficial levando nutrientes para os cursos de água (AITA; GIACOMINI, 2008).

Segundo CQFS-RS/SC (2004), a utilização continuada de adubos orgânicos pode melhorar as propriedades físicas do solo (porosidade e capacidade de retenção de água) e melhorar os atributos químicos como a capacidade de troca catiônica (CTC), teor de fósforo (P) e de matéria orgânica.

Na região oeste do Paraná, utilizam-se resíduos da produção de proteína animal na agricultura com incremento na produtividade das culturas. Estudos como os de Fávero, (2012), na cultura da soja, em Latossolo Vermelho Distroférico típico, evidenciaram resposta linear negativa na nodulação, positiva na altura de plantas, com o aumento das doses de cama de frango. No referido trabalho, a produtividade também foi influenciada, com aumento de 237 e 445 kg ha⁻¹ com o uso de cama de frango e de cama de frango com adubação mineral formulada, respectivamente.

De modo similar, na cultura da soja, Vieira et al., (2005) também em Latossolo Vermelho Distroférico, ao estudarem a influência da adição de lodo de esgoto, relatam que as maiores produtividades, tanto no primeiro como no segundo ano agrícola, foram das na dose de 6 t ha⁻¹. Os autores atribuíram este aumento na produtividade de grãos ao poder deste dejetos em suprir o fósforo demandado pela cultura.

Por outro lado, a fertilização mineral é necessária para a maioria das culturas, pois a concentração de elementos químicos no solo e nos resíduos orgânicos geralmente é desbalanceada (RAIJ et al., 2011), sendo imprescindível a recomendação técnica com base em trabalhos de pesquisa levando em conta particularidades de cada região, sobretudo em regiões onde não há critérios para recomendar doses, época e formas de aplicação de ARS, o regime pluviométrico, tipo, uso e manejo de solo e distância até mananciais (ALVES et al., 2008; MORI et al., 2009).

Para auxiliar o produtor rural na tomada de decisão, a análise econômica da receita líquida das aplicações de ARS pode ser realizada de maneira simplificada, considerando os custos, distância da lagoa de estabilização anaeróbia até a área de cultivo e demais despesas para aplicação da ARS (PANDOLFO; CERETTA, 2008), visto que este é o principal aspecto para o produtor rural adotar recomendações técnicas,

iniciar uma nova atividade ou abandonar algum setor produtivo (ALTMANN; OLTRAMARI, 2004), sendo incipientes e escassas para ARS.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de ARS associada à fertilizante mineral na sucessão das culturas de soja e milho segunda safra em sistema de plantio direto e avaliar a variabilidade das receitas líquidas das aplicações de ARS entre as distâncias de 5.000 e 10.000 metros da lagoa de estabilização anaeróbia até área de cultivo, em Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2013) no município de Cafelândia, oeste do Paraná.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de outubro 2013 a setembro de 2014, no município de Cafelândia, região oeste do Paraná, no Centro de Pesquisa Agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol), localizado a $24^{\circ} 37' 18,77''$ S e $53^{\circ} 18' 17,63''$ O, a 590 metros de altitude (Figura 1).

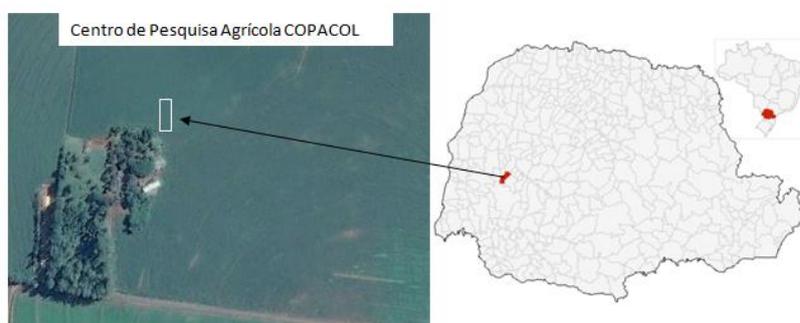


Figura 1 - Localização da área experimental no Centro de Pesquisa Agrícola da Copacol. Google Earth (2015).

3.4.2 Características locais

O clima da região, de acordo com Köppen, é do tipo Cfa subtropical, com verão quente e tendência à concentração de chuvas, inverno de geadas pouco frequentes sem estação definida. A precipitação média anual fica em torno de 1.500 mm, apresentando temperaturas médias no verão superiores a 20° C e no inverno temperaturas médias inferiores a 18° C (IAPAR, 2014).

O experimento foi conduzido numa gleba com declividade de 2,5%, com plantio direto por mais de 10 anos e em sistema de rotação de culturas de soja no verão, trigo, milho segunda safra e aveia-preta no inverno, adubadas exclusivamente com fertilizantes minerais, de acordo com as necessidades das culturas. Por ocasião da instalação do experimento, a cobertura do solo consistia de resíduo de milho segunda safra (*Zea mays* L.).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2013). Inicialmente, foi realizada amostragem de solo nas profundidades de 0- 0,10 e 0,10 - 0,20 m, sendo as amostras encaminhadas ao laboratório de análises químicas da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (Coodetec), Cascavel-PR. Os dados das análises químicas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos das amostras coletadas antes da instalação do experimento, Cafelândia, PR

Profundidade	P	M.O	pH CaCl ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H + Al	Al ³⁺	CTC	SB	Ca/Mg
m	mg dm ⁻³	g dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----							
0 – 0,10	21,10	23,77	4,60	5,15	1,44	0,50	7,20	0,08	14,29	7,09	3,58
0,10 – 0,20	13,00	17,14	4,50	4,48	1,21	0,34	7,20	0,19	13,23	6,03	3,70
0 – 0,20	17,05	20,46	4,55	4,82	1,33	0,42	7,20	0,14	13,76	6,56	3,64

Profundidade	V	Al	Ca	Mg	K	S-SO ₄ ²⁻	B	Mn	Zn	Cu	Fe
	% de saturação na CTC					-----mg dm ⁻³ -----					
m	-----%										
0 – 0,10	49,62	1,12	36,04	10,08	3,50	3,75	0,60	101,00	13,34	13,47	15,00
0,10 – 0,20	45,58	3,05	33,86	9,15	2,57	5,15	0,55	93,00	8,64	15,58	22,00
0 – 0,20	47,60	2,08	34,95	9,61	3,03	4,45	0,57	97,00	10,99	14,52	18,50

P, K⁺, Cu, Zn, Fe e Mn – Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ – KCl; M.O – Walkey Black; pH – Cloreto de Cálcio; H + Al – Tampão SMP; S(SO₄)²⁻ - Fosfato Monocálcico; B – Cloreto de Bário (LANA et al., 2010).

As características físicas do solo na profundidade de 0 - 0,20 m foram determinadas no mesmo laboratório descrito acima, sendo observado densidade do solo de 1,09 Mg m⁻³; diâmetro médio ponderado de agregados 1,65 mm; condutividade hidráulica em solo saturado de 41 mm h⁻¹; microporosidade 25 m³ m⁻³; e macroporosidade de 33 m³ m⁻³; 720 g kg⁻¹ de argila, 130 g kg⁻¹ de silte e 150 g kg⁻¹ de areia.

A necessidade de calagem foi de 3630 kg ha⁻¹, utilizou-se calcário dolomítico com um PRNT de 85% para elevar saturação de bases (V%) para 70%. Como o sistema de cultivo implantado foi em sistema de plantio direto, a dose aplicada foi de 50% do cálculo

da necessidade de calagem 1810 kg ha⁻¹ aplicada em superfície sem incorporação (EMBRAPA, 2014).

3.4.3 Características da água residuária, do fertilizante mineral e implantação do experimento

No momento da aplicação do dessecante na área (01/10/2013) havia baixa infestação de plantas daninhas, sendo efetuado controle manual. A cultivar de soja utilizada foi Syn 1059 RR. A inoculação foi realizada no momento da semeadura com *Bradyrhizobium japonicum* (Masterfix®, 250 ml kg⁻¹⁰⁰). A semeadura da soja foi realizada com densidade populacional de 300 mil sementes viáveis ha⁻¹ em um espaçamento de 0,45 m.

O híbrido de milho utilizado foi Pioneer 3161H com densidade populacional de 68 mil sementes viáveis ha⁻¹ e espaçamento de 0,8 m.

Os tratos culturais foram efetuados durante o ciclo das culturas, levando em conta os níveis de dano econômicos com controle químico para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

O material, ARS, foi obtido em lagoa de estabilização anaeróbia em uma granja de terminação de suínos de Cafelândia-PR, com homogeneização do conteúdo da lagoa utilizando-se o equipamento agitador mecânico para dejetos decantados Figura 2.



Figura 2 - Lagoa de estabilização anaeróbia, agitador mecânico para dejetos decantados.

O tempo de armazenamento da ARS na lagoa de estabilização anaeróbia foi de 120 dias, tempo suficiente para estabilização da matéria orgânica e inativação de patógenos através da degradação anaeróbica (KUNZ et al., 2005).

Amostra em quadruplicata de ARS foi encaminhada ao laboratório de análise química e física da Solanálise, localizado no município de Cascavel-PR. O resultado médio de cada atributo da amostragem encontra-se descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos físico-químicos da ARS e quantidade de elementos químicos aplicados com as doses testadas no experimento

Nutriente	kg m ⁻³	Dose aplicada (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
		35	70	105	140
----- kg ha ⁻¹ -----					
N	1,91	66,85	133,7	200,55	267,4
P	0,15	5,25	10,5	15,75	21
K	4,19	146,65	293,30	439,95	586,60
Ca	0,096	3,36	6,72	10,08	13,44
Mg	0,064	2,24	4,48	6,72	8,96
S	0,048	1,68	3,36	5,04	6,72
C	1,24	43,4	86,8	130,2	173,60
mg m ⁻³					
Cu	1,24	0,0434	0,0868	0,1302	0,1736
Zn	2,84	0,0994	0,1988	0,2982	0,3976
Fe	8,69	0,30415	0,6083	0,91245	1,2166
Mn	1,68	0,0588	0,1176	0,1764	0,2352
B	2,21	0,07735	0,1547	0,23205	0,3094
pH	7,29				
Matéria seca	5%				
Densidade (kg m ⁻³)	1006				

As quantidades totais adicionais aos tratamentos de N, P₂O₅ e K₂O são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de N, P₂O₅ e K₂O, na forma mineral adicionada aos diferentes sistemas de adubação no sulco de semeadura no experimento

Cultivos	Forma de aplicação	ARS			Adubação mineral		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
-----kg ha ⁻¹ -----							
Soja (1º cultivo)	Semeadura	-	-	-	12	72	48
	Cobertura	-	-	-	-	-	-
	Sub total	-	-	-	12	72	48
Milho segunda safra (2º cultivo)	Semeadura	-	-	-	30	45	30
	Cobertura	-	-	-	30	-	-
	Sub total	-	-	-	60	45	30
Total 2 cultivos		-	0	0	72	117	78

Para o primeiro cultivo, cultura da soja, a semeadura foi realizada em 08/10/2013, sendo adicionado ao sulco de semeadura fertilizante mineral 04-24-16, com dose equivalente a 12, 72 e 48 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente (EMBRAPA, 2014). Para o segundo cultivo, cultura do milho segunda safra, o qual foi semeado em 28/02/2014, com fertilizante 10-15-15, na dose equivalente a 30, 45 e 45 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O respectivamente. A adubação nitrogenada em cobertura no milho foi realizada manualmente no estágio V4, com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia em todas as parcelas, (FANCELLI, 2010) porém as parcelas do tratamento 0 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (testemunha) não recebeu aplicações de uréia.

3.4.4 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo cinco doses ARS (0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) na presença e ausência de adubação mineral, com quatro repetições. A contagem de ano refere-se ao ano agrícola de um cultivo de soja e um cultivo de milho segunda safra, compreendendo os meses de setembro 2013 a agosto 2014. Foram alocados nas parcelas o fator doses de ARS e nas subparcelas o fator adubação mineral conforme Tabela 6. As doses de ARS foram aplicadas com o conjunto trator e tanque distribuidor nas parcelas 10 dias antes da semeadura do cultivo de verão (cultura da soja) na área (Figura 3). A adubação foi realizada com semeadora no momento da semeadura das culturas. A dose de fertilizante mineral utilizada foi determinada por cálculo com base na extração pelas culturas (EMBRAPA 2014; FANCELLI, 2014).



Figura 3 - Aplicação de ARS com tanque distribuidor e aspecto das parcelas após aplicação.

As parcelas principais foram alocadas na gleba medindo 13 m de comprimento x 11 m de largura (143 m²), com subparcelas alocadas dentro da parcela principal tendo 13 m de comprimento x 5 m de largura (65 m²).

O tamanho de parcela foi definido em função do trânsito de máquinas para semeadura, colheita e aplicação dos produtos fitossanitários.

3.4.5 Avaliações

3.4.5.1 Primeiro cultivo (soja)

As avaliações da cultura da soja consistiram inicialmente na determinação do número de nódulos (NN) no sistema radicular de 10 plantas aleatoriamente coletadas no estádio V6. No momento da colheita, avaliou-se aleatoriamente em 10 plantas a altura de plantas (AP-soja), sendo determinada a partir da medição da distância entre o solo e a última vagem.

A massa de mil grãos (MMG-soja) foi determinada a partir da pesagem em balança de precisão de 1000 grãos colhidos por subparcela. Quanto à produtividade de grãos de soja (PG-soja) foi determinado com colhedora de parcelas experimentais marca Wintersteiger, nas três linhas centrais das parcelas, sendo colhida todo o comprimento da parcela (13 m), totalizando área útil de 17,55 m² desprezando-se 0,50 m de cada extremidade, padronizando para 13% de umidade.

3.4.5.2 Segundo cultivo (milho segunda safra)

As avaliações realizadas na cultura do milho consistiram na determinação da altura de plantas de milho (AP-milho), realizada no momento da colheita com auxílio de uma régua graduada, determinando-se primeiro a altura de inserção de espiga (IE) e o comprimento da base da espiga até a base do pendão (EP), obtendo-se AP-milho. Também foi avaliada a massa de mil grãos (MMG-milho) seguindo descrição para a soja.

Para determinação da interferência dos tratamentos sobre prolificidade do híbrido, foi observado o número de plantas e de espigas em 10 metros lineares em duas linhas (8 m²). Para calcular a prolificidade dividiu-se o número de espigas pelo número de plantas na subparcela.

A umidade gravimétrica foi determinada a partir da utilização do equipamento marca Dickey Jhon, modelo "MINI GAC PLUS", além do número de grãos avariados através da porcentagem de grãos avariados de cada subparcela.

A quantidade de fileiras e de grãos por fileiras foram determinadas com a contagem de dez espigas por parcela. O número de grãos por espiga foi determinado a partir da quantidade de fileiras multiplicados pelo número de grãos por fileiras.

A produtividade de grãos de milho (PG-milho) foi determinada a partir da colheita de espigas em 10 metros de linha espaçada de 0,80 m, totalizando 8 m² de subparcela útil. As espigas foram trilhadas em batedor de parcelas, sendo os grãos pesados em balança de precisão, padronizando para umidade de 13%.

3.4.5.3 Análise Econômica

Os aspectos econômicos do uso de ARS envolveram a análise de receita líquida para cada tratamento aplicado, descontando-se das receitas brutas o custo de produção (custos da aplicação de cada dose de ARS e os custos variáveis de cada cultura) para cada tratamento nas subparcelas.

Com multiplicação da produtividade (kg ha⁻¹) das culturas de soja e milho segunda safra, considerando os preços de R\$ 50,00 e R\$ 21,00 para soja e milho respectivamente, na data de 28/02/2015 (obtidos na COPACOL, Cafelândia-PR), determinou-se a receita bruta de cada tratamento.

Para determinação dos custos da aplicação de ARS, primeiramente, determinou-se o valor da hora trabalhada de um trator John Deere modelo 6415, de 106 CV, com base nos preços de serviços em 2014 (SEAB, 2015), sendo considerado valor anual com depreciação.

O preço do trator novo, de R\$ 152.995,00, de vida útil de 10 anos e um valor residual de 25%, com uma média de 1.200 horas de trabalho por ano (COPACOL, 2015).

O tempo gasto, para encher o tanque de 4.000 litros, utilizado para aplicação dos tratamentos, e percorrer com o conjunto trator tanque distribuidor, para aplicar às distâncias de 5.000 e 10.000 metros da lagoa de estabilização anaeróbia até a área de cultivo foram de 35 minutos e 65 minutos, respectivamente.

Como a ARS não é comercializada, não foi considerado o custo para aquisição dessa fonte. O calcário aplicado antes do experimento não foi contabilizado, haja vista

não ser insumo aplicado todo ano. O custo da aplicação de cada tratamento e o número de tanques utilizado para cada parcela encontram-se descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Custos dos tratamentos utilizados no experimento

	Tratamento m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	Número de tanques	Custo tratamento ha ⁻¹
Distância 5.000 m	0	0	R\$ 0,00
	35	9	R\$ 84,76
	70	18	R\$ 169,52
	105	27	R\$ 254,28
	140	36	R\$ 339,05
Distância 10.000 m	0	0	R\$ 0,00
	35	9	R\$ 127,79
	70	18	R\$ 255,58
	105	27	R\$ 383,37
	140	36	R\$ 511,17

Para compor os custos da cultura da soja e do milho, foram levantados todos os insumos e demais custos pertinentes à cada cultura, com base nos valores do ano de 2014. Para levantamento dos preços, baseou-se na Tabela de custos disponibilizados pelo SEAB e COPACOL (SEAB, 2015; COPACOL, 2015), dispostos na Tabela 5 (custos variáveis da cultura da soja) e Tabela 6 (custos variáveis da cultura do milho segunda safra).

Tabela 5 - Componentes utilizados no cálculo de custo variável da cultura de soja

Componentes	R\$ ha ⁻¹	R\$ sc ⁻¹	Fonte
Operação de máquinas e implementos	281,60	5,63	SEAB (2015)
Despesas de manutenção de benfeitorias	22,43	0,45	SEAB (2015)
Mão-de-obra temporária	36,18	0,72	SEAB (2015)
Sementes	255,00	5,10	SEAB (2015)
Fertilizantes	384,00	7,45	COPACOL (2015)
Agrotóxicos	286,32	5,73	SEAB (2015)
Despesas gerais	23,96	0,48	SEAB (2015)
Transporte externo	66,00	1,32	SEAB (2015)
Assistência técnica	24,44	0,49	SEAB (2015)
PROAGRO/SEGURO	35,49	0,71	SEAB (2015)
Juros	63,45	1,27	SEAB (2015)
Total dos custos variáveis para soja	1.467,77	29,35	

Tabela 6 - Componentes utilizados no cálculo de custo variável da cultura de milho segunda safra

Componentes	R\$ ha ⁻¹	R\$ sc ⁻¹	Fonte
Operação de máquinas e implementos	262,56	3,75	SEAB (2015)
Despesas de manutenção de benfeitorias	32,18	0,46	SEAB (2015)
Mão-de-obra temporária	26,20	0,37	SEAB (2015)
Sementes	289,26	4,13	SEAB (2015)
Fertilizantes + Uréia	473,76	9,24	COPACOL (2015)
Agrotóxicos	166,78	2,38	SEAB (2015)
Despesas gerais	21,21	0,30	SEAB (2015)
Transporte externo	99,00	1,41	SEAB (2015)
Assistência técnica	21,63	0,31	SEAB (2015)
PROAGRO/SEGURO	32,47	0,46	SEAB (2015)
Juros	54,99	0,79	SEAB (2015)
Total dos custos variáveis para milho	1.480,04	69,95	

Para os tratamentos das subparcelas que receberam a complementação com fertilizante mineral, foram utilizados os valores médios praticados na região oeste do Paraná no período de condução do experimento (COPACOL, 2015). Na cultura da soja, foi adotado valor de R\$ 1.240,00 por tonelada do fertilizante 04-24-16 (custo por hectare de R\$ 372,00, com uso da dose de 300 kg ha⁻¹). Para a cultura do milho segunda safra, valor de R\$ 1.280,00 por tonelada do fertilizante 10-15-15 (custo por hectare de R\$ 384,00, com uso de 300 kg ha⁻¹). O custo da uréia foi de R\$ 1.360,00 por tonelada, com o custo de uréia por hectare de R\$ 89,76 para dose de 66 kg ha⁻¹, sendo contabilizados apenas para a cultura do milho.

Para compor os custos das subparcelas que foram utilizadas somente doses de ARS (ausência de adubação mineral), os custos dos fertilizantes de R\$ 372,00 por hectare para a soja e de R\$ 384,00 da adubação na semeadura, mais R\$ 89,76 da adubação em cobertura para o milho segunda safra não foram contabilizados.

Para determinação da análise econômica, foi considerada a média da receita líquida de cada tratamento com ausência e presença de adubação mineral, para cada dose de ARS utilizada.

A somatória dos custos variáveis das Tabelas 5 e 6, com as despesas fixas da Tabela 4, determinaram os custos de cada subparcelas.

3.4.5.4 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Com constatação de efeito significativo da adubação mineral para determinada variável, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as médias das doses ARS foram selecionados modelos de regressão, considerando os níveis de 5 e 1 % de probabilidade e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Na análise estatística foi utilizado o programa estatístico Sisvar 5.1 (FERREIRA, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Primeiro cultivo (soja)

Para a variável número de nódulos (NN) é possível observar interação entre as doses de ARS e a adubação mineral no sulco de semeadura, ($p < 0,01$) (Tabela 7). A menor nodulação ocorreu no tratamento onde houve a maior dose de nitrogênio, $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com adubação mineral (Figura 4). Estudos realizados por Stefens e Neyra (1983), em plantas de soja com adição de doses crescentes de nitrogênio, na forma de KNO_3 , os autores constataram redução em mais de 50%, na atividade da nitrogenase, devido ao comportamento do nitrato e nitrito de se acumularem na região dos nódulos, diminuindo a disponibilidade de energia ao bacteróide.

Tabela 7 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada para variáveis as número de nódulos (NN), altura de plantas (AP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG), após aplicação de doses de ARS e adubação mineral na cultura da soja

Fonte de variação	GL	NN	AP	MMG	PG
Doses de ARS	4	1397,44**	205,70**	16,94*	17031,15 ^{ns}
Bloco	3	45,61 ^{ns}	4,10 ^{ns}	50,12 ^{ns}	46120,84 ^{ns}
Erro 1	12	12,74	2,85	9,95	55054,86
Adubação mineral	1	178,08**	91,50*	19,40 ^{ns}	162095,99 ^{ns}
Dose x Adubação	4	80,63**	11,39**	18,37 ^{ns}	196605,26 ^{ns}
Erro 2	15	14,89	11,46	15,00	73715,77
Total	39				
CV 1 (%)		8,01	1,59	1,97	4,74
CV 2 (%)		8,66	3,20	2,42	5,48
Média		44,58	105,86, cm	160,09, g	4952,46 kg ha^{-1}

^{ns} não significativo, * significativo ($p < 0,05$) e ** significativo ($p < 0,01$).

Em contrapartida, os tratamentos que apresentaram as menores doses de nitrogênio, foi onde houve maior desenvolvimento de rizóbios (Figura 4a). Quando houve a adição no sulco de 12 kg ha⁻¹ de nitrogênio a redução média no número de nódulos por planta foi maior, sendo observadas interações entre as doses de ARS e a adubação mineral no sulco de semeadura.

Segundo recomendação da EMBRAPA (2014), o aumento nas taxas de nitrogênio via fertilizante mineral na cultura da soja causa redução na nodulação e na eficiência da fixação biológica do nitrogênio (FBN), além de não favorecer aumento na produtividade em presença de adubação nitrogenada tanto na base ou em cobertura em qualquer fase fenológica. Os autores ressaltam que uso de fertilizantes que possuam nitrogênio em sua formulação apresentem custos menores e podem ser utilizados desde que não ultrapassem 20 kg ha⁻¹. Os dados obtidos comprovam estas informações (Figura 4a).

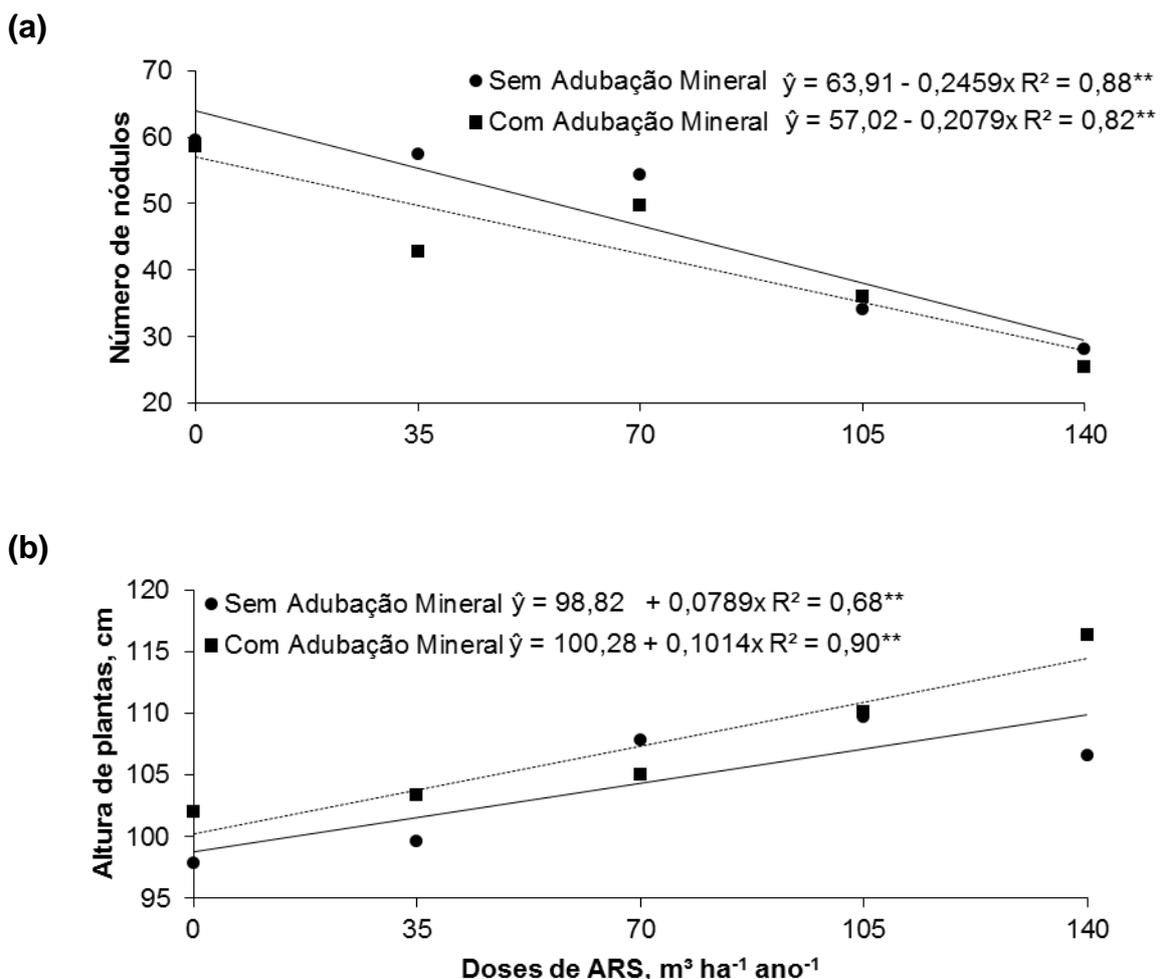


Figura 4 - Nodulação (a) e altura de plantas (b) da cultura da soja em razão de doses de ARS com e sem adubação mineral ** significativo ($p < 0,01$).

Também foi observada interação entre as doses de ARS e a adubação mineral para altura de plantas (AP-soja) (Figura 4b). Houve um aumento de 0,078 cm e 0,101 cm para os tratamentos sem adubação e com adubação mineral, respectivamente, para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de ARS, a partir da estatura de 98,82 cm nos tratamento sem adubação mineral e 100,28 cm no tratamento com a presença de adubação mineral. A adubação nitrogenada reduz a nodulação da soja, porém favoreceu o desenvolvimento vegetativo das plantas. Resultados semelhantes também foram observados por Nogueira et al., (2010), Latossolo Vermelho Distroférico de textura média no município de Jataí, Goiás, verificaram que houve redução na nodulação em função de doses crescentes de nitrogênio em cobertura, porém incrementou o desenvolvimento vegetativo das plantas.

Para massa de mil grãos (MMG) houve resposta linear nas doses ARS estudadas, independente de utilizar o fertilizante mineral. Para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ adicionados houve aumento de 0,0421 gramas para massa de mil grãos (Figura 5). Esse dado demonstra a boa nutrição das plantas, proporcionada pela adubação orgânica, principalmente no período de enchimento dos grãos (KIEHL, 1985).

A massa de 1000 grãos tem variação para as diferentes variedades de soja, entretanto, essa característica varia de acordo com diferentes tratamentos nutricionais e manejo, sofrendo ainda, interferência do ambiente aos quais a cultura da soja é submetida (SILVA et al., 2011).

Com o aumento das doses de ARS, conseqüentemente, houve aumento no fornecimento de nitrogênio, visto que, segundo EMBRAPA (2014), a cultura da soja exige 80 kg ha^{-1} de nitrogênio para cada tonelada de grãos de soja. Cerca de 84% do nitrogênio da planta é destinado aos grãos (HUNGRIA, 2001), havendo relação positiva entre aumento de fitomassa, aumento de altura de plantas e o fornecimento deste nutriente (LARCHER, 2000), com incremento da massa de mil grãos (Figura 5).

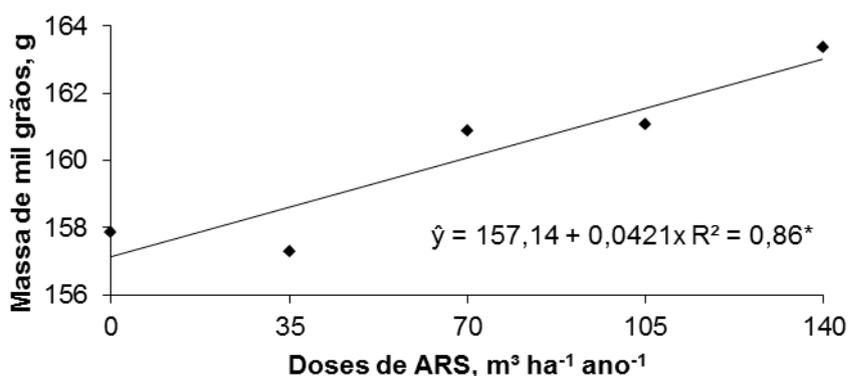


Figura 5 - Massa de mil grãos da cultura da soja, em razão de doses de ARS * significativo ($p < 0,05$)

Porém, a influência dos tratamentos neste componente de produção não implicou em aumento na produtividade ($p < 0,05$) (Tabela 7). Contudo, o uso de 35, 70 e 105 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de ARS incrementou 1%, 2 % 3 % a produtividade de soja, resultados estes que podem ser mais elevados em solos com menor fertilidade do que o solo do experimento.

Konzen e Alvarenga (2005), não observaram interferência na produtividade da cultura da soja ao testar doses crescentes de ARS (0 até 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, sendo evidenciado que doses de 25 e 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de ARS foram suficientes para repor os nutrientes exportados pela cultura.

Para Sartor et al., (2012) estudando doses de ARS de 0 a 60 m³ ha⁻¹ em aplicações semestrais em Latossolo Vermelho Distroférico, observaram efeitos benéficos na produtividade da cultura da soja, com ganho de 25% em relação a testemunha, sendo a produção com 50 m³ ha⁻¹ de ARS equivalente ao tratamento com adubação mineral, de 300 kg ha⁻¹ da formulação NPK 04-30-10, devido ao acúmulo de K, P, Ca e Mg e aumento de pH no solo. Estes atributos encontravam-se com pH CaCl₂ 4,6 e Al³⁺ 0,5 cmol_c dm⁻³, K⁺ 0,2 cmol_c dm⁻³; P 6,0 mg dm⁻³ na profundidade 0-0,20m, sendo que após os quatro anos do experimento passaram em média a pH CaCl₂ 5,8 e Al³⁺ 0,0 cmol_c dm⁻³, K⁺ 0,5 cmol_c dm⁻³; P 8,1 mg dm⁻³ na profundidade 0 - 0,20m.

Efeitos prejudiciais de doses crescentes de nitrogênio em Latossolo Vermelho Distrófico foram obtidos por Bahry et al., (2013a) na cultura da soja, ocorrendo redução do número de vagens, a partir da dose de 40 kg ha⁻¹ sendo relacionado à redução na simbiose e excesso de nitrogênio, causando desbalanço nutricional na planta que, sob estresse, tende ao abortamento de estruturas reprodutivas.

Neste trabalho, até a dose de 105 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ houve 124,81 kg ha⁻¹ de aumento na produtividade da soja em relação à testemunha (Figura 6), porém na dose de 140 m³ ha⁻¹ houve tendência de redução na produtividade de 50,58 kg ha⁻¹, quando comparada a dose de 105 m³ ha⁻¹. Neste contexto, somado a alta carga de N, esta dose deve ser evitada. De maneira similar, Bahry et al., (2013b) avaliando doses de N mineral de 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ observaram que após a dose 60 kg ha⁻¹ houve redução na produtividade da cultura da soja.

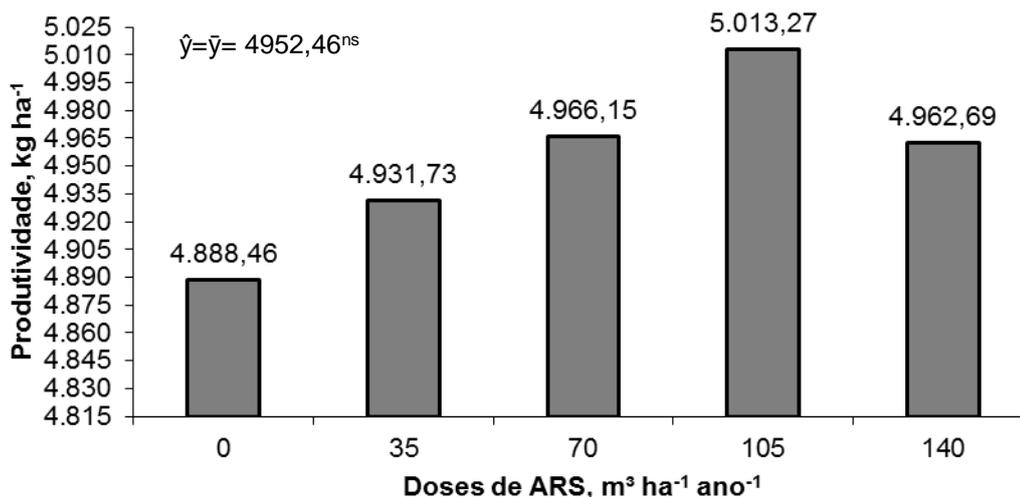


Figura 6 - Produtividade da soja em razão de doses de ARS na média de presença e ausência de adubação mineral^{ns} não significativo.

O produtor rural na região oeste do Paraná, não faz a aplicação de ARS antes do milho segunda safra para otimização do tempo nas operações de colheita da soja, buscando antecipar a semeadura do milho segunda safra. Aplicações de ARS são realizadas nos meses de julho a setembro antes da implantação da cultura da soja, devido ao intervalo entre a colheita do milho segunda safra e semeadura da soja. Ainda, devido à consolidação do milho segunda safra como opção econômica após o cultivo de verão, os produtores semeiam cultivares de soja com ciclo precoce e não realizam nenhum manejo como, por exemplo, aplicação de calcário ou adequação de curvas de nível, para que o milho seja cultivado na melhor época de semeadura (DETEC COPACOL, 2015).

Semeaduras tardias acarretam perdas na produtividade das culturas de soja e milho, onde a época de semeadura é um dos principais fatores para o melhor desempenho das culturas, com influência em alterações das relações hídricas, bem como, da temperatura, do fotoperíodo e ocorrência de geadas (MEOTI et al., 2012).

Desta maneira, doses altas de ARS devem ser evitadas antes da cultura da soja devido à alta carga de nitrogênio e menor demanda de nitrogênio da soja com relação ao milho. A ARS possui em média cerca de 70% do N na forma amoniacal, sendo que após 20 dias da aplicação, uma grande fração deste N é oxidado a nitrato (AITA et al., 2007). Devido a este comportamento, o $N-NO_3^-$ no solo, ocorre em uma velocidade superior à absorção pelos microorganismos e pelas plantas, podendo haver contaminação dos cursos d'água e lençóis freáticos (AITA; GIACOMINI, 2008).

Na dose correta a ARS e os resíduos orgânicos de forma geral, além de apresentarem podem suprir a necessidade de nutrientes das culturas, podem trazer benefícios às culturas, devido à qualidade do material orgânico, rico em carbono e em microorganismos, pois o esterco fresco é rico em bactérias provindas do aparelho digestivo, bem como é um excelente meio de cultura para os mesmos, além do incremento de matéria orgânica, que possui alta correlação com a melhoria de atributos físicos do solo, aumentando a produtividade das culturas (KIEHL, 1985).

3.5.2 Segundo cultivo (milho)

As variáveis analisadas fileiras de grãos da espiga, grãos por fileiras, prolificidade e grãos avariados não sofreram influência com as aplicações de ARS. Em contrapartida, houve diferenças significativas com interação entre as doses de ARS e adubação mineral, para altura de inserção de espiga (IE) (Tabela 8).

Tabela 8 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada de milho segunda safra, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Fonte de variação	GL	IE	EP	AP-milho	Fileiras	Grãos por fileiras	Grãos por espigas
Doses de ARS	4	152,29**	221,04**	86,98*	0,10 ^{ns}	2,06 ^{ns}	595,15 ^{ns}
Bloco	3	88,32*	3,10 ^{ns}	162,29*	1,10 ^{ns}	9,20 ^{ns}	1226,26 ^{ns}
Erro 1	12	22,96	17,79	40,39	0,76	5,42	1452,01
Adubação mineral	1	88,50*	50,62 ^{ns}	273,00*	0,10 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1040,40 ^{ns}
Dose x Adubação	4	15,83 ^{ns}	20,07 ^{ns}	37,33 ^{ns}	0,60 ^{ns}	2,28 ^{ns}	2231,65 ^{ns}
Erro 2	15	16,38	17,97	32,06	1,56	3,48	1542,73
Total	39						
CV 1 (%)		4,75	3,89	3,04	6,71	6,30	7,87
CV 2 (%)		4,02	3,91	2,71	9,59	5,04	8,12
Média		----- cm -----			----- UND -----		
		100,81	108,52	209,33	13,05	37	483,90

Fonte de variação	GL	MMG-milho	Umidade	Prolificidade	G. Avariados	PG-milho
Doses de ARS	4	611,85*	11,31*	0,0044 ^{ns}	0,53 ^{ns}	359501,0 ^{ns}
Bloco	3	250,52 ^{ns}	5,31 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	0,51 ^{ns}	636649,31 ^{ns}
Erro 1	12	186,18	32,26	0,0019	1,30	343198,77
Adubação mineral	1	5293,17**	3,42 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	2,97 ^{ns}	317081 ^{ns}
Dose x Adubação	4	324,90 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1080797,65*
Erro 2	15	482,49	2,91	0,0046	0,47	229667,65
Total	39					
CV 1 (%)		3,93	7,01	4,52	76,58	10,29
CV 2 (%)		6,33	7,31	7,10	45,95	8,41
Média		g	%	UND	%	Kg ha ⁻¹
		347,02	23,39	0,96	1,49	5695,69

^{ns} não significativo, * significativo (p<0,05) e ** significativo (p<0,01). IE – Inserção de espiga, EP – Altura da base da espiga até o pendão, AP – milho – Altura de plantas de milho, MMG – Massa de mil grãos de milho, G. Avariados – grãos avariados. PG – milho – Produtividade de grãos de milho.

Para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ adicionados sem adubação mineral houve aumento de 0,0721 cm na altura de inserção de espiga (Figura 7a).

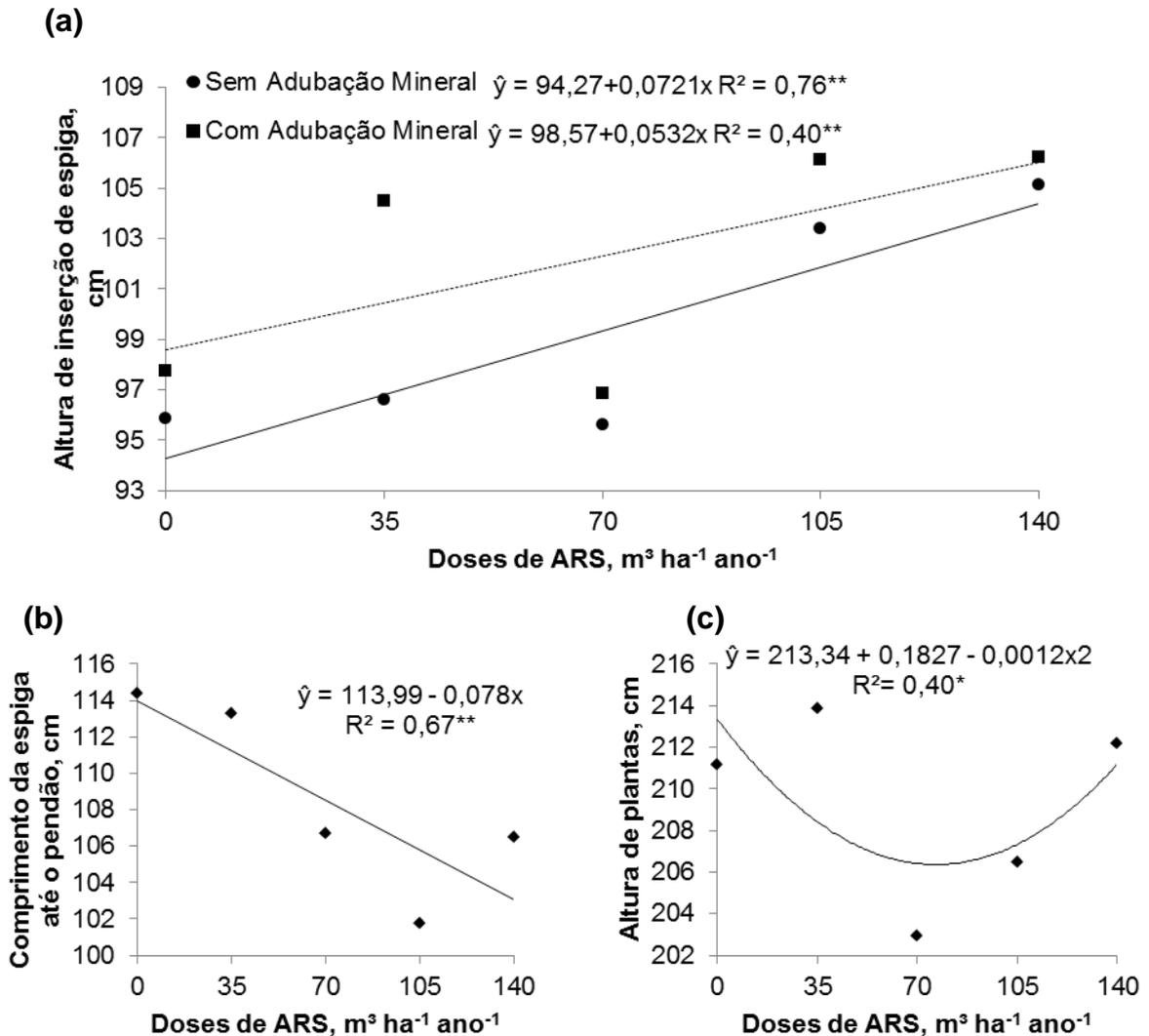


Figura 7 - Altura de inserção de espiga (a), comprimento da base da espiga até o pendão (b) e altura de plantas (c) de milho em razão de doses de ARS** significativo ($p < 0,01$) * significativo ($p < 0,05$).

Quando houve adição de adubação mineral aumentou em 0,0532 cm para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ sendo que a maior altura de inserção da espiga foi com a adição de $105 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ com a adubação mineral. Porém, quando houve somente a utilização de ARS, a maior altura de inserção de espiga foi encontrada na dose de $140 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Para o comprimento da base da espiga até o pendão (EP), houve resposta a diferentes doses de ARS. Para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ adicionados, houve

uma queda de 0,078 cm (Figura 7b). Na dose de 105 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, foi encontrado a menor média de comprimento da base da espiga até o pendão. A altura de plantas (AP) apresentou resposta quadrática, sem interferência ao sistema de adubação no sulco de semeadura (Figura 7c). Os valores de altura de plantas são de grande importância, devido estar correlacionado com produção de massa seca, sendo muito importante para avaliações de produtividade do milho de ensilagem (SILVA, 2002).

Estudando aplicações de ARS nas doses de 50, 100 e 150 m³ ha⁻¹, Cesarino (2006) observou efeitos significativos ($p < 0,05$) para altura de plantas, com amplitude de 1,98 m (150 m³ ha⁻¹) obtendo maior amplitude quando foi adicionada a adubação química, chegando a 2,10 m. O autor comprovou que a ARS aumentou a fertilidade do solo, refletindo nas variáveis biométricas e na qualidade do milho para ensilagem.

De modo similar aos resultados obtidos neste trabalho, Sarto et al., (2010) não encontraram resposta para os componente de rendimento, número de fileiras e grãos por espiga para doses de até 50 m³ ha⁻¹ de ARS em Latossolo Vermelho Eutroférico.

Para umidade de grãos de milho, o aumento foi de 0,0019 % no teor para cada m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 8). Tal fato pode estar associado ao desenvolvimento mais lento da cultura nesta dose, e a implicação deste fato, é que a colheita seria retardada e aumentando o ciclo da cultura.

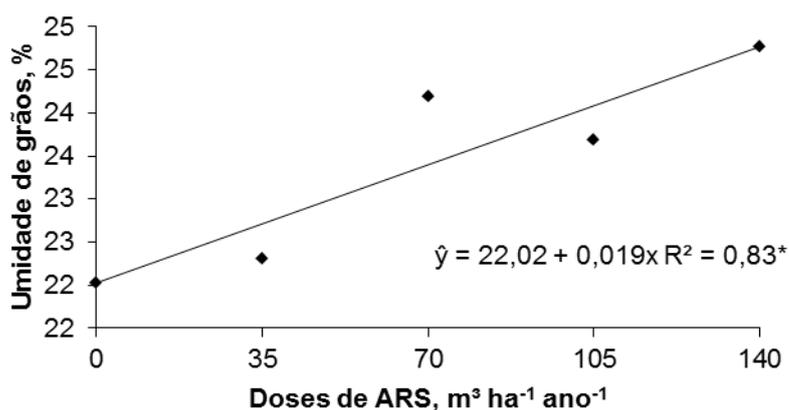


Figura 8 - Teor de umidade de grãos de milho em razão de doses de ARS * significativo ($p < 0,05$).

Porém para MMG-milho e de PG-milho em função das doses de ARS, houve aumento de 0,1546 gramas para cada mil grãos e 9,11 kg por hectare (Figura 9) para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de ARS adicionado.

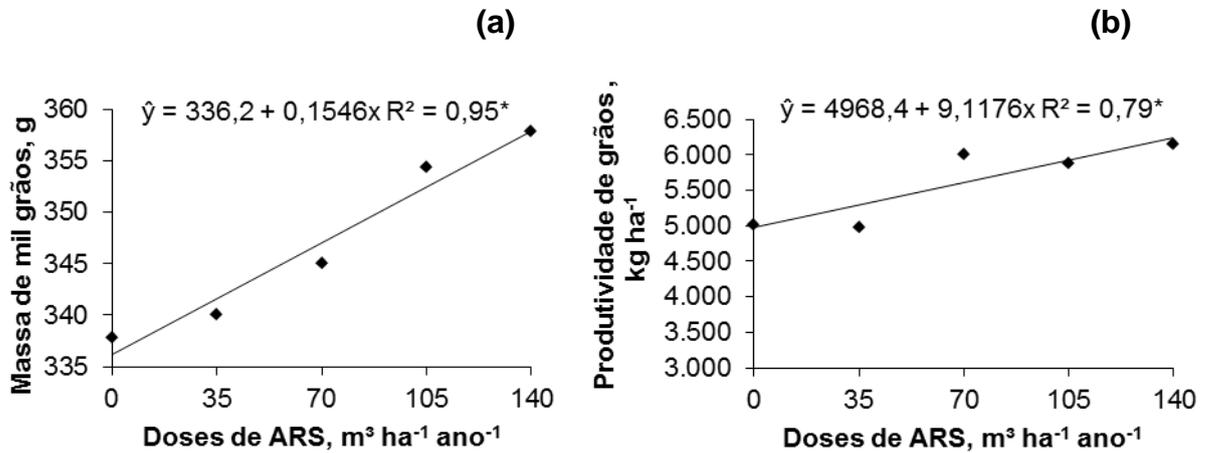


Figura 9 - Massa de mil grãos (a) produtividade (b) em razão de doses de ARS* significativo ($p < 0,05$).

Pesquisas sobre reciclagem de nutrientes da ARS em Patos de Minas, MG (1984/1990) e em Rio Verde, GO (2000 a 2003), demonstraram que a cultura do milho atingiu níveis de produtividade que variaram de 5.180 a 7.650 kg ha^{-1} , com doses crescentes de ARS de 45 a 180 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. As produtividades da testemunha e dos tratamentos com adubação mineral completa foram de 1.600 e 3.800 kg ha^{-1} respectivamente, indicando que solos de baixa fertilidade natural apresentam baixa resposta à adubação mineral isolada (KONZEN, 2003).

Em Latossolo Vermelho Distroférico, Seidel et al., (2010) avaliando doses de ARS de 20, 30, 40 e 50 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ verificaram que as parcelas que receberam adubação em cobertura de nitrogênio, na forma de uréia, obtiveram maior produtividade em relação aos tratamentos com somente com ARS. Os autores ressaltam que o N presente na ARS, é formado por 70% de N-NH_4^+ e por 30% de N orgânico N-NH_3 , quando são tratados em lagoas de estabilização anaeróbia, ao serem aplicados, essas formas de N são oxidadas a NO_3^- . Os outros 30% estão presentes na forma orgânica, estando disponíveis as culturas em longo prazo. Este fato justifica em diversas ocasiões a necessidade da complementação com fertilizante mineral na ARS. No entanto, Silva et al., (2008) defendem a complementação da adubação orgânica com a adubação mineral, salientando que o

P, um dos macro elementos demandados pela cultura do milho, só é disponibilizado em torno de 25 a 45 dias após a aplicação do adubo orgânico.

Na dose de $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ houve a maior produção na cultura do milho segunda safra, porém esta dose possui uma carga muito alta de N ($267,40 \text{ kg ha}^{-1}$). Além disso, como já demonstrado, causou redução na FBN na cultura da soja, além de sua maior parte estar presente na forma de NO_3^- . Deve-se levar em conta que a produção agrícola busca a sustentabilidade dos agroecossistemas e, sendo assim, apesar do grande potencial de carga de nutrientes dos dejetos e da sua capacidade de incorporação direta no solo, os dejetos podem contaminar ou poluir o sistema de produção quando utilizados em doses muito altas (DIESEL et al., 2002; SEIDEL, 2010).

3.5.3 Análise Econômica

Os valores de receita líquida total e produção de grãos total do sistema de soja e milho segunda safra, não apresentaram diferença significativa na região oeste do Paraná no primeiro ano de utilização da ARS (Tabela 9).

Tabela 9 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios da análise econômica nas distâncias e produção de grãos, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Fonte de variação	GL	5.000 metros	10.000 metros	Produção total
Doses de ARS	4	35687,80 ^{ns}	107048,06 ^{ns}	722037,23 ^{ns}
Bloco	3	146669,06 ^{ns}	149747,24 ^{ns}	575209,00 ^{ns}
Erro 1	12	100829,60	104986,29	405342,39
Adubação mineral	1	2954120,88 ^{ns}	2861311,74 ^{ns}	1013049,75 ^{ns}
Dose x Adubação	4	16736,02 ^{ns}	16755,72 ^{ns}	639409,77 ^{ns}
Erro 2	15	70359,59	72748,75	220480,05
Total	39	5869172,58	61556835,42	1635574,40
CV 1 (%)		9,91	10,40	5,98
CV 2 (%)		8,27	8,66	4,41
Média		-----R\$ ha ⁻¹ -----		Kg ha ⁻¹
		2305,62	3115,25	10648,15

^{ns} não significativo.

A dose calculada que apresentou os maiores índices de receitas líquidas foi o tratamento como $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com R\$ 3.029,01 e R\$ 2.943,63 para as

distâncias de 5.000 e 10.000 metros respectivamente, porém não havendo diferenças significativas das demais receitas (Tabela 10).

A maior produtividade foi obtida na dose de $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, produzindo $11,00 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, produzindo $0,46 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ acima da dose de $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. (Figura 10). Porém é importante salientar que na parcela com o tratamento $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, houve maior rentabilidade das doses avaliadas no experimento, porém não se recomenda o uso extrativista do solo sem a manutenção dos nutrientes via adubação mineral ou orgânica, pois esta alta produtividade do solo em estudo se deve aos altos teores de macronutrientes e ao sistema de plantio direto estabilizado.

Todavia, o tratamento com $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ apresentou a menor rentabilidade para as duas distâncias de 5.000 e 10.000 metros respectivamente, embora seja estatisticamente semelhante a outras doses. Porém, segundo a análise econômica, esta é dose com maior poder de acarretar os maiores prejuízos aos produtores, além do alto poder em causar efeitos deletérios ao meio ambiente ao longo dos anos em repetidas aplicações. Além do nitrogênio, outros elementos podem contaminar os solos e os cursos de água, além do acúmulo de nutrientes poder causar toxicidade às plantas. Diante do exposto, existe a necessidade do reuso dos nutrientes contidos na ARS, porém sem que isto signifique prejuízo ao ambiente em curto ou longo prazo (BASSO et al., 2005).

A dose de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ pode ser alternativa para reciclagem de ARS e para maior liquidez financeira para produtores vizinhos em até 5.000 metros das granjas de suínos, auxiliando na diluição do poder poluente deste resíduo. No Estado de Santa Catarina, o produtor deve comprovar área de terra suficiente para

Tabela 10 - Análise econômica de água residuária de suinocultura, para as distâncias de 5.000 e 10.000 metros

Distâncias	Doses m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	Custos Aplicações	Custo fixo	Custo Distâncias	Receita		Custo fixo	Receita		Receita líquida Total
					Bruta	Líquida		Bruta	Líquida	
5.000 m	0	R\$ 0,00	R\$ 1.467,77	R\$ 1.467,77	R\$ 4.073,72	R\$ 2.605,95	R\$ 1.480,04	R\$ 1.979,83	R\$ 499,79	R\$ 3.105,73
	35	R\$ 84,76		R\$ 1.552,53	R\$ 4.109,78	R\$ 2.557,25		R\$ 1.843,70	R\$ 363,66	R\$ 2.920,91
	70	R\$ 169,52		R\$ 1.637,29	R\$ 4.138,46	R\$ 2.501,17		R\$ 1.997,46	R\$ 517,42	R\$ 3.018,59
	105	R\$ 254,28		R\$ 1.722,05	R\$ 4.177,72	R\$ 2.455,67		R\$ 2.022,63	R\$ 542,59	R\$ 2.998,26
	140	R\$ 339,05		R\$ 1.806,82	R\$ 4.135,58	R\$ 2.328,76		R\$ 2.115,88	R\$ 635,84	R\$ 2.964,60
10.000 m	0	R\$ 0,00	R\$ 1.467,77	R\$ 1.467,77	R\$ 4.073,72	R\$ 2.605,95	R\$ 1.480,04	R\$ 1.979,83	R\$ 499,79	R\$ 3.105,73
	35	R\$ 127,79		R\$ 1.595,56	R\$ 4.109,78	R\$ 2.514,22		R\$ 1.843,70	R\$ 363,66	R\$ 2.877,88
	70	R\$ 255,58		R\$ 1.723,35	R\$ 4.138,46	R\$ 2.415,11		R\$ 1.997,46	R\$ 517,42	R\$ 2.932,53
	105	R\$ 383,37		R\$ 1.851,14	R\$ 4.177,72	R\$ 2.326,58		R\$ 2.022,63	R\$ 542,59	R\$ 2.869,17
	140	R\$ 511,17		R\$ 1.978,94	R\$ 4.135,58	R\$ 2.156,64		R\$ 2.115,88	R\$ 635,84	R\$ 2.792,48

Análise econômica ARS

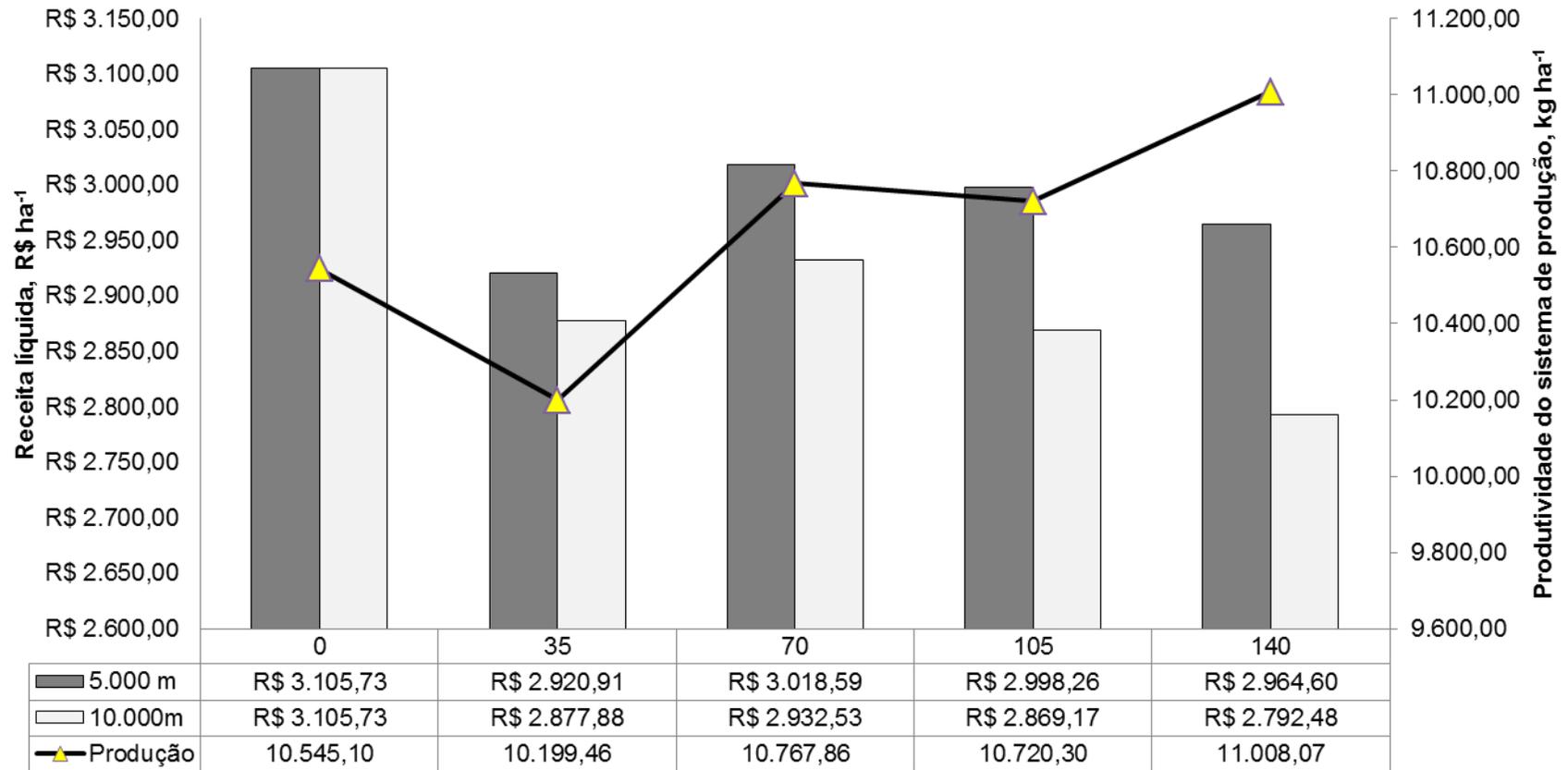


Figura 10 - Receita líquida de doses de ARS, para as distâncias de 5.000 e 10.000 metros e produção total de grãos do sistema soja - milho segunda safra.

reciclar no máximo de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para obter licenciamento ambiental (GATIBONI et al., 2008).

Estes dados reforçam a oportunidade do uso de doses ARS para adubação das culturas mesmo em áreas distantes de onde se armazena a ARS. Segundo Seganfredo (2004) é imprescindível a análise econômica do uso de ARS, onde o autor salienta ainda que, dependendo da distância do local de armazenagem dos dejetos e gleba a ser aplicada, o uso de ARS como fertilizante pode se tornar antieconômico devido aos custos operacionais, especialmente com o transporte.

Outro fator de extrema importância é o sistema de preparo do solo na determinação das receitas líquidas. Um estudo feito por Pandolfo e Ceretta (2008) levou em conta cinco sistemas de preparo de solo, plantio direto, preparo reduzido, preparo convencional, preparo convencional com resíduos queimados e preparo convencional com resíduos retirados, combinados com quatro fontes de nutrientes, testemunha, sem aplicação de nutrientes, adubação mineral de acordo com a recomendação para cada cultura, 5 t ha^{-1} de matéria úmida de cama de frango, $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de bovinos e $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos. Os autores constataram que a ARS juntamente com a cama de frango foram às fontes de adubação que apresentaram o melhor desempenho econômico em nove anos de estudos. Os autores concluíram que o desempenho foi dependente das formas de preparo do solo, no qual o sistema de plantio direto, considerando todas as fontes de nutrientes apresentou os melhores índices de produtividade e receita líquida.

O sistema de plantio direto aumenta a matéria orgânica do solo e melhora sua fertilidade e deve servir de suporte para adoção de sistemas de produção sustentáveis (Sá et al., 2014).

3.6 Conclusões

O cultivo de soja com água residuária de suinocultura (ARS), com doses entre 0 a $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ proporciona aumento na massa de mil grãos e altura de plantas e redução na fixação biológica de nitrogênio.

O cultivo do milho segunda safra em sucessão à cultura da soja com ARS proporciona maiores teores de massa de mil grãos e produtividade.

Devido à alta carga de nitrogênio, ao alto poder poluente e a menor rentabilidade, a dose de $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ deve ser evitada antes da cultura da soja.

Recomenda-se ao produtor da região oeste do Paraná que não realize aplicações de ARS, antes da cultura da soja, sendo apropriada a aplicação de até $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ antes da cultura do milho segunda safra, após a colheita da cultura da soja.

3.7 REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG. v.32 p.2101-2111, 2008.

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**. Brasília v. 42 p.95-102, 2007.

ALTMANN, R.; OLTRAMARI, A.C. **A agricultura orgânica na região da Grande Florianópolis; indicadores de desenvolvimento**. Florianópolis: Instituto Cepa/SC, 2004. 181p.

ALVES, M.V.; SANTOS, J.C.P.S.; GOIS, D.T. de.; ALBERTON, J.V.; BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.32 p.589-598. 2008.

BAHRY, C.A.; VENSKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S.S.; ZIMMER, P.D.; SOUZA, V.Q.; CARON, B.O. Aplicação de uréia na fase reprodutiva da soja e seu efeito sobre os caracteres agronômicos. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**. João Pessoa, v.7, n.2, p.9-14, 2013.

BAHRY, C.A.; VENSKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S.S.; ZIMMER, P.D.; SOUZA, V.Q.; CARON, B.O. Características morfológicas e componentes de rendimento da soja submetida à adubação nitrogenada. **Revista Agrarian**. Dourados, v.6, n.21, p.281-288, 2013.

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; POLETTI, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1305-1312, 2005.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; SMANHOTTO, A. NÓBREGA, L.H.P.; QUEIROZ, M.M.F.; GOMES, B. 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, n.7, p.692–697, 2010.

CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.139, p.689-699, 2010.

CESARINO, R.O. **Milho fertirrigado com dejeito de suíno para ensilagem**. Alfenas, 2006. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, MG. 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO CQFS RS/SC. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 1ª ED. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras**. In.: Séries históricas. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos> Acesso em: 19 fev 2015.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, R.S.; INOUE, M.H.; ARANTES, J.G.Z.; CAVALIEIRI, S.D. Sistemas de dessecação antecedendo a semeadura direta de milho e controle de plantas daninhas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.4, p.971-976, 2009.

COSTA, M.S.; STEINER, F.; COSTA, L.A. de M.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L.A. Nutrição e produtividade da cultura do milho em sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 58, p. 249-255, 2011.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Porto Alegre: Emater, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA **Soja. Sistemas de Produção 16**. ISSN 2176-2902 Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/975595/1/SP16online.pdf>>.18 nov 2014.

FANCELLI, A.L. Milho. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Culturas**. IPNI, Piracicaba. p.43-89. 2014.

FÁVERO, F. **Uso de cama de frango associada á adubação mineral no sistema de produção de grãos no Oeste do Paraná**. Marechal Candido Rondon, 2012. 77p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2012.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FUNDAÇÃO DE APOIO Á PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MATO GROSSO. **Boletim de pesquisa de soja**. Fundação MT. Rondonópolis, MT. 2004. p. 178.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n.4, p. 1753-1761, 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. EMBRAPA, 2001, 48 p. (Circular Técnica, 35).

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acessado em: 19 nov 2014.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, Piracicaba. 1985.

KLAUS, O.; ZEFERIN, G.L.; ROVARIS, S.; SOUZA, S.N.M.; COLOMBARI, F.S. Produtividade de *Cynodon spp.* (Tifton 85) em áreas de pastejo rotacional biofertilizadas com dejetos de suínos. **Acta Iguazu**. Cascavel, v.2, n.2, p. 73-82, 2013.

KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. V Seminário Técnico da Cultura do Milho. Videira, SC. 2003.

KONZEN, E.A.; ALVARENGA, R.C. **Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agrônômicos e ambientais**. EMBRAPA Circular técnica 63. Sete Lagoas, 2005.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P.A.O.; Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRADOLOSO, J.F.; RICHART, A. e FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2010. 129p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. cap. 3. 2000. 478 p.

MEDEIROS, L.T. **Pastagem de *Brachiaria brizantha* fertilizada com dejetos líquidos de suínos**. Alfenas – MG. 2004. 99p. Dissertação Mestrado. Universidade José do Rosário Vellano, UNIFENAS.

MEOTTI, G.V.; BENIN, G.; SILVA, R.R.; BECHE, E.; MUNARO, L.B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.14-21, 2012.

MIRANDA, C.R.; ZARDO, A.; GOSMANN, H. **Uso de dejetos na agricultura**. Instrução técnica para o suinocultor, 11, EMBRAPA. Concórdia, p.2, 1999.

MORI, F.M.; FAVRETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W.L. dos. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos bovinos em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.33 p.189-198. 2009.

NASCIMENTO, F.M.; BICUDO, S.J.; RODRIGUES, J.G.L.; FURTADO, M.B.; CAMPOS. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Revista Ceres**. Viçosa, MG, v.58, n.2, p.193-201, 2011.

NOGUEIRA, P.D.M.; SENA JUNIOR, D.G.; RAGAGNIN, V.A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science Technology**. v. 3, n. 2, p. 117-124, 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F.A. **Soja. In.: Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Volume 3. Culturas. IPNI, Piracicaba. 2014. p.7-35.

PANDOLFO, C.M. & CERETTA, C.A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo de solo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.38, n.6, 2008.

PINTO, M.A.B.; FABBRIS, C.; BASSO, C.J.; SANTI, A.L.; GIROTTO, E. Aplicação de dejetos líquidos de suínos e manejo do solo na sucessão aveia/milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v.44, n.2, p.205-212, 2014.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute. IAC, Piracicaba, 2011. 420p.

SÁ, J.C. de M.; SÉGUY, L.; SÁ, M.F.M.; FERREIRA, A. de O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; CANALLI, L. **Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção**. In.: **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Volume 1. Contexto mundial e práticas de suporte**. IPNI, Piracicaba. 2014. p.385-420.

SARTO, M.V.M.; LAZARO, R. de L.; BERTE, L.N.; MONDARDO, D.; MULLER, S.F.; MEINERZ, C.C.; CASTAGNARA, D.D.; BELLON, P.P.; SANTOS dos L.; OLIVEIRA, P.S.R. **Aplicação antecipada de dejetos líquidos suíno como fertilizante sobre os componentes de produção da cultura do milho**. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, CD-ROM. Associação Brasileira de Milho e Sorgo. Goiânia, 2010.

SARTOR, L.R.; ASSMANN, A.L.; ASSMANN, S.T.; BIGOLIN, P.E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P.C. de F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, p. 661-669, 2012.

SEAB - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Custos de Produção**. Departamento de Economia Rural. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=228>. Acesso em 24 fev 2015.

SEGANFREDO, M.A. Dejetos animais, a dupla face: benefício e prejuízo. **Suinocultura Industrial**, v.26, n.183, p.14-16, 2004.

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

SEIDEL, E.P.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C.; VANIN, J.P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed. Viçosa, UFV, 235 p. 2002.

SILVA, C.A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre, p.597-624. 2008.

SILVA, A.F. da.; CARVALHO, M.A.C. de.; SCHONINGER, E.L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; SANTOS, P.A. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 404-412, 2011.

SILVA, R.F.; BASSO, C.J.; BERTOLLO, G.M.; CORASSA, G.M.; COCCO, L.B.; STEFFEN, R.B. Doses de dejetos líquidos de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.44, n.3, p.418-424, mar, 2014.

SMANHOTTO, A.; SOUZA A. de 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**. Jaboticabal, v.30, n.2, p. 346-357, 2010.

STEPHENS, B.D.; NEYRA, C.A. Nitrate e nitrite reduction in relation to nitrogenase activity in soybean nodules and *Rhizobium japonicum* bacteroids. **Plant Physiology**, v.71, n.4, p.731-735, 1983

VIEIRA, R.F.; TANAKA, R.T.; TSAI, S.M.; PÉREZ, D.V.; SILVA, C.M.M.S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.9, p.919-926, set. 2005.

4 CAPÍTULO 2: ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NOS TEORES FOLIARES DE SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA

4.1 RESUMO

O uso de adubação orgânica via água residuária de suinocultura (ARS), pode afetar os atributos químicos do solo, sendo necessário o monitoramento na nutrição das plantas, visto que o excesso é contaminante ambiental potencial. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações dos atributos químicos do solo e teores foliares das culturas de soja e milho segunda safra em sistema de manejo submetido à aplicação de doses de ARS. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho Distroférico típico, sob sistema de plantio direto no centro de pesquisa agrícola pertencente à Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol). Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, tendo sido alocados nas parcelas principais doses de 0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de ARS, e, nas subparcelas, dois níveis de adubação mineral (ausência e presença), sendo cultivados soja e milho segunda safra no período compreendido do experimento de setembro de 2013 a agosto de 2014. Após a colheita do milho segunda safra, amostras de solo nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m foram realizadas, para determinação dos teores de carbono orgânico, P, K, Cu e Zn, além da determinação dos teores foliares de N, P, K, Cu e Zn das culturas de soja e milho segunda safra. A aplicação de ARS aumenta os níveis de P nas profundidades 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m e nos teores foliares da cultura da soja, demonstrando que nutrientes presentes na ARS podem ser aproveitados pelas culturas. O carbono orgânico não foi alterado significativamente nas duas profundidades amostradas com aplicação única em um ciclo de cultivo. As doses de 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ devem ser evitadas devida à alta concentração de N, e do aumento dos teores de P em concentrações que constituem risco ambiental.

Palavras-chave: Fósforo. Nitrogênio. Nutrientes foliares. Eutrofização. Ciclagem de nutrientes. Adubação orgânica.

4.2 SWINE WASTEWATER IN SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND IN LEAF CHEMICAL LEVELS OF SOYBEAN AND SECOND CROP CORN

4.2 ABSTRACT

The use of organic fertilizer by swine wastewater (SW), can affect the soil chemical properties, being necessary monitor the nutrition of plants, because the excess is an environmental contaminant potential. The objective of this study was to evaluate the changes in soil chemical properties, leaf content of soybean and second crop corn in management system under application of SW doses. The experiment was conducted in Oxisol, under no tillage system on agricultural research center belonging to the Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol). Treatments was used in a randomized block design with split plots, having been allocated in the main plots doses of 0, 35, 70, 105 and 140 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ of SW and the subplots two levels of mineral fertilizer (absence and presence), grown soybeans and corn second crop in the period of experiment in september 2013 to august 2014. After the second crop corn harvest, soil samples were taken in the layers 0 - 0,10 and 0,10 - 0,20 m for the determination of contents of organic carbon, P, K, Cu and Zn and the determination of foliar levels of N, P, K, Cu and Zn of soybean and corn second crop. The SW application increases levels of P in the layers 0 - 0,10 and 0,10 - 0,20 m and in the leaf contents of soybean and corn, showing that this nutrient in ARS are availed by soybean and corn. The organic carbon was not significantly altered in the two layers sampled with a single application in a crop cycle. Doses of 105 and 140 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ should be avoided by to the high N concentration, and increased levels of P in concentrations which constitute an environmental hazard.

Key words: Phosphorus. Nitrogen. Foliar nutrients. Eutrophication. Cycling of nutrients. Organic fertilization.

4.3 INTRODUÇÃO

A suinocultura industrial juntamente com outras cadeias produtivas do agronegócio cresceu significativamente em 10 anos, e tem prospecção nos próximos anos de manter esse desenvolvimento (ABIPECS, 2015). Além de incrementar a renda dos produtores utilizando mão de obra familiar, há a possibilidade de utilizar água

residuária de suinocultura (ARS), como adubo orgânico, reduzindo os custos de produção das pequenas propriedades rurais (GATIBONI et al., 2008).

Contudo, a suinocultura, geralmente, é desenvolvida em pequenas propriedades, com pequenas extensões de terras, concentrando os nutrientes presentes na ARS, podendo se tornar poluidor para o solo, ar e água (BERTONCINI, 2011; GATIBONI et al., 2008), caso seja utilizado sem critérios, não sendo aproveitados os nutrientes pelas culturas em cada sistema de cultivo. Neste sentido, há preocupação ambiental com carga poluente da ARS quando utilizada em altas doses, podendo ocorrer percolação de fósforo (P) para cursos de água e causar eutrofização (MORI et al., 2009), volatilização e lixiviação do nitrogênio (N) para cursos de água, principalmente ao realizar aplicações contínuas de ARS (KUNZ et al., 2005) em propriedades com área pequena em relação à produção suinícola. Além disso, existe a preocupação com elevada concentração de metais pesados como cobre (Cu) e zinco (Zn) presentes na ARS, consequência da adição destes elementos nas rações dos suínos, podendo causar tanto fitotoxicidade às plantas, quanto contaminar os produtos agrícolas (GIROTTO, 2010; HERNANDEZ et al., 2006).

A ARS, quando utilizada de maneira equilibrada, pode trazer benefícios, sendo necessário identificar as doses para cada sistema de cultivo relacionado às condições edafoclimáticas de cada região. Lourenzi (2014) afirma que todo o resíduo orgânico adicionado ao solo deve ser avaliado em parâmetros qualitativos, bem como, nos aspectos pertinentes ao balanço da matéria orgânica do solo. Afirma ainda, que aplicações de ARS em sistemas de cultivo sem o preparo do solo, representam adição de carbono ao solo, podendo causar mudanças na matéria orgânica, não só sob o ponto de vista quantitativo, mas também, qualitativo, sendo pertinente acompanhar a dinâmica do carbono orgânico após a aplicação da ARS.

Deste modo, a viabilidade econômica da suinocultura pode ser comprometida, pois a atenção de diversos setores da sociedade para as necessidades de desenvolvimento tecnológico vem aumentando significativamente a respeito dos resíduos gerados por animais, de forma a causar o mínimo impacto sobre recursos naturais, (BARILLI, 2005). Toda a produção da cadeia suinícola, precisa atender, não só as exigências do mercado consumidor, mas também da sociedade como um todo, podendo afetar a perpetuação das espécies no planeta (DENT et al., 2005; PALHARES, 2007). Entretanto, apesar da grande quantidade de resíduos produzidos por esta cadeia, a sociedade pode ser beneficiada com utilização dos nutrientes contidos na ARS.

Para Pereira (2011), para recomendar adubos orgânicos, é necessário pesquisas regionais em solos representativos das regiões, em função de diferentes sistemas de

cultivo, tipos de solo, diferentes precipitações, época e quantidade dos resíduos, devem ser conduzidos para definição de doses a serem aplicadas.

A ARS provinda de lagoa de estabilização anaeróbia (local de armazenamento) possui 60% do nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+) (SCHERER et al., 1996). Segundo Aita e Giacomini (2008), a velocidade com que este N amoniacal é nitrificado no solo e o destino deste NO_3^- são de extrema importância, não só para conhecimento do aproveitamento pelas culturas, bem como seu comportamento no meio ambiente.

Na produção de grãos, o N normalmente é o nutriente que apresenta maior custo, com maior mobilidade no sistema solo-planta-atmosfera, onde as reações que ocorrem no solo são mediadas por microorganismos, cuja atividade é afetada por temperatura e umidade, por isso, o manejo correto deste elemento tem implicações econômicas e ambientais ao utilizar doses excessivas às aproveitadas pelas culturas (CANTARELLA; MONTEZANO, 2014).

Neste contexto, o conhecimento das respostas à adição de ARS permite calcular adequadamente a dose a ser aplicada. Desta forma, este trabalho teve o objetivo de avaliar as alterações nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico típico, e os teores do tecido foliar de N, P, K, Cu e Zn das culturas de soja e milho segunda safra em função da aplicação de água residuária de suinocultura associada a fertilizante mineral em sistema de plantio direto no município de Cafelândia, oeste do Paraná.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido de outubro de 2013 a setembro de 2014, no centro de pesquisa agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolota (CPA Copacol), em Cafelândia, Estado do Paraná, com latitude $24^{\circ}37'18,77''\text{S}$, longitude $53^{\circ}18'17,63''\text{O}$, e, altitude média de 590 m. O solo é um Latossolo Vermelho Distroférico típico, de textura argilosa, com 720 g kg^{-1} de argila, com boa drenagem natural (EMBRAPA, 2013).

A caracterização química do solo foi realizada com base nas metodologias descritas por Lana et al., (2010), sendo anteriormente descrita no item 3.4.2 do capítulo 1, Tabela 2 (pág. 17).

A extração dos nutrientes P, K^+ , Cu, Zn, Fe e Mn foi realizada pelo extrator O carbono orgânico total foi determinado por Mehlich-1. Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} pelo extrator de KCl. A matéria orgânica (M.O) pelo método Walkey Black. O pH em CaCl_2 ,

acidez potencial (H+Al) determinada pelo tampão SMP, o enxofre S(SO₄²⁻) extraído com fosfato monocálcico e o boro (B) pelo extrator cloreto de bário.

O sistema de manejo do solo adotado foi o plantio direto e as demais práticas culturais foram realizadas levando-se em conta os níveis de dano econômico através do controle químico para pragas, doenças e plantas daninhas.

A ARS foi coletada em lagoa de estabilização anaeróbia de uma granja de suínos da região. O dejetos foi homogeneizado com agitador mecânico para dejetos decantados e coletado a uma profundidade de 1,0 m.

Os dados de temperatura máxima e mínima e precipitação pluviométrica, referente ao período de duração dos ensaios a campo foram coletados diariamente e são apresentados na Figura 11.

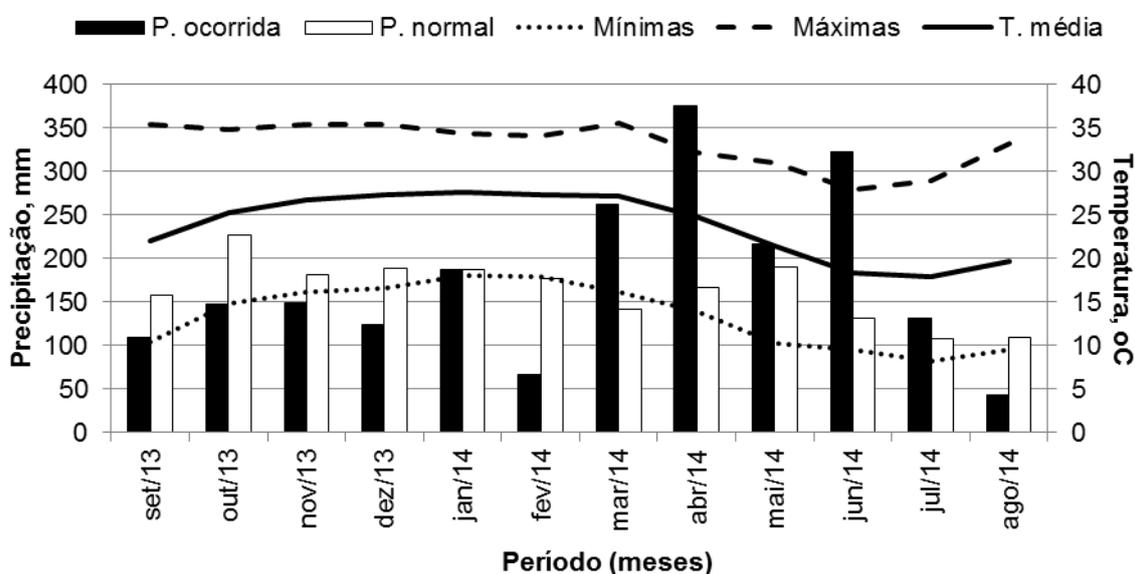


Figura 11 - Temperaturas máximas e mínimas e precipitação pluviométrica, observadas no período de setembro de 2013 a agosto de 2014 do experimento de campo, Cafelândia - PR, 2015.

Amostra de ARS utilizada no experimento foi encaminhada ao laboratório de análise química e física da Solanálise, localizado no município de Cascavel-PR. Os resultados identificados estão descritos no item 3.4.3 do capítulo 1, Tabela 2 (pág. 13).

O ensaio foi instalado com cinco tratamentos e quatro repetições em delineamento de blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, totalizando 40 parcelas experimentais. Nas parcelas principais foram alocadas cinco doses de ARS (0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), e nas subparcelas foi alocado o fator adubação mineral (ausência e presença).

Para a cultura da soja utilizou-se adubação mineral no sulco de semeadura, com semeadora com haste sulcadora (facão), com 300 kg ha⁻¹ da formulação 04-24-16, com uma população de plantas de 300 mil sementes viáveis por hectare e espaçamento de 0,45 m. Para o milho segunda safra, foi utilizada 300 kg ha⁻¹ da formulação 10-15-15 no sulco semeadura, com semeadora com haste sulcadora (facão), mais 30 kg ha⁻¹ de N no estágio V4, onde a população de plantas foi de 68 mil sementes viáveis por hectare, espaçadas 0,80 m. A profundidade da haste sulcadora da semeadora foi de aproximadamente 0,12 m.

As parcelas foram constituídas por dez linhas de soja, espaçadas de 0,45 m, e no segundo cultivo, seis linhas de milho espaçadas de 0,8 m entre si. As parcelas principais possuíam 13 m de comprimento e 11 m de largura, onde as subparcelas possuíam 13 m de comprimento e 5 m de largura, com área útil das subparcelas de 65 m².

4.4.1 Avaliações

Para determinação dos teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu) e zinco (Zn) foram coletadas 10 folhas de soja ao acaso por subparcela, com pecíolo, destacando-se a 3^a ou 4^a folha totalmente aberta do ápice para a base no estágio de R2 (EMBRAPA, 2014). Na cultura de milho foram coletadas seis folhas de milho por subparcela ao acaso, sem bainha, A folha amostrada correspondeu àquela abaixo e oposta à inflorescência feminina, na base da espiga no estágio R1 (RAIJ, 2011).

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada a 65°C por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willye no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas da UNIOESTE Marechal Cândido Rondon. Os teores de N, P, K, Cu e Zn foram determinados pela metodologia descrita por EMBRAPA (2009).

Amostras de solo foram coletadas em cada subparcela, sendo três amostras para compor uma amostra simples por subparcela, após o cultivo do milho segunda safra com utilização de pá de corte nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m totalizando 80 amostras de solo. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de análises químicas Santa Rita em Mamborê-PR, para determinação de P, K⁺, Cu, Zn e C orgânico. A caracterização química do solo foi realizada com base nas metodologias descritas por Lana et al., (2010) P, K⁺, Cu, Zn, extração por Mehlich-1 e carbono orgânico pelo método Walkey Black.

4.4.2 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando houve efeito significativo para adubação mineral, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as médias das doses ARS foram selecionados modelos de regressão com base na significância pelo teste F, considerando os níveis de 5 e 1 % de probabilidade de erro e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Na análise estatística foi utilizado o programa estatístico Sisvar 5.1 (FERREIRA, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Atributos químicos na profundidade de 0 - 0,10 m

Verificou-se efeito significativo ($p < 0,01$) da aplicação de doses crescentes de ARS nos teores de P, K, Cu e Zn disponíveis na profundidade de 0 - 0,10 m, não havendo interação com a adubação mineral. Somente o C orgânico não foi influenciado significativamente pela adição de ARS (Tabela 11).

Tabela 11. Quadro de análise de variância com os quadrados médios para atributos químicos do solo na profundidade 0- 0,10 m, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Fonte de variação	GL	C _{org.}	P	K	Cu	Zn
Doses de ARS	4	5,45 ^{ns}	5728,25 ^{**}	0,0966 ^{**}	115,60 ^{**}	124,62 ^{**}
Bloco	3	2,53 ^{ns}	325,0 ^{ns}	0,0117 ^{ns}	6,95 ^{ns}	5,69 ^{ns}
Erro 1	12	3,45	865,58	0,0142	10,92	9,26
Adubação mineral	1	7,64 ^{ns}	73,44 ^{ns}	0,0036 ^{ns}	31,48 ^{ns}	31,15 ^{ns}
Dose x Adubação	4	4,99 ^{ns}	308,45 ^{ns}	0,0072 ^{ns}	14,25 ^{ns}	33,57 ^{ns}
Erro 2	15	4,80	403,78	0,187	19,79	9,39
Total	39					
CV 1 (%)		8,75	48,14	17,73	28,28	16,59
CV 2 (%)		10,32	32,88	20,36	38,07	16,71
Média		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----	
		21,23	61,11	0,67	11,65	18,35

^{ns} não significativo, * significativo ($p < 0,05$) e ** significativo ($p < 0,01$).

Os teores de P no solo aumentaram expressivamente com a adição de ARS, com acréscimo de $0,44 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (extraído por Mehlich-1) por metro cúbico aplicado (Figura 12a), este fato se deve em função da aplicação da ARS ser superficial, e este resíduo possuir alta concentração deste elemento (CERETTA et al., 2010; SCHERER et al., 2007).

Os dados encontrados neste experimento indicam que a ARS em doses altas, como as doses de 105 e $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ representam desperdício na adubação de fósforo.

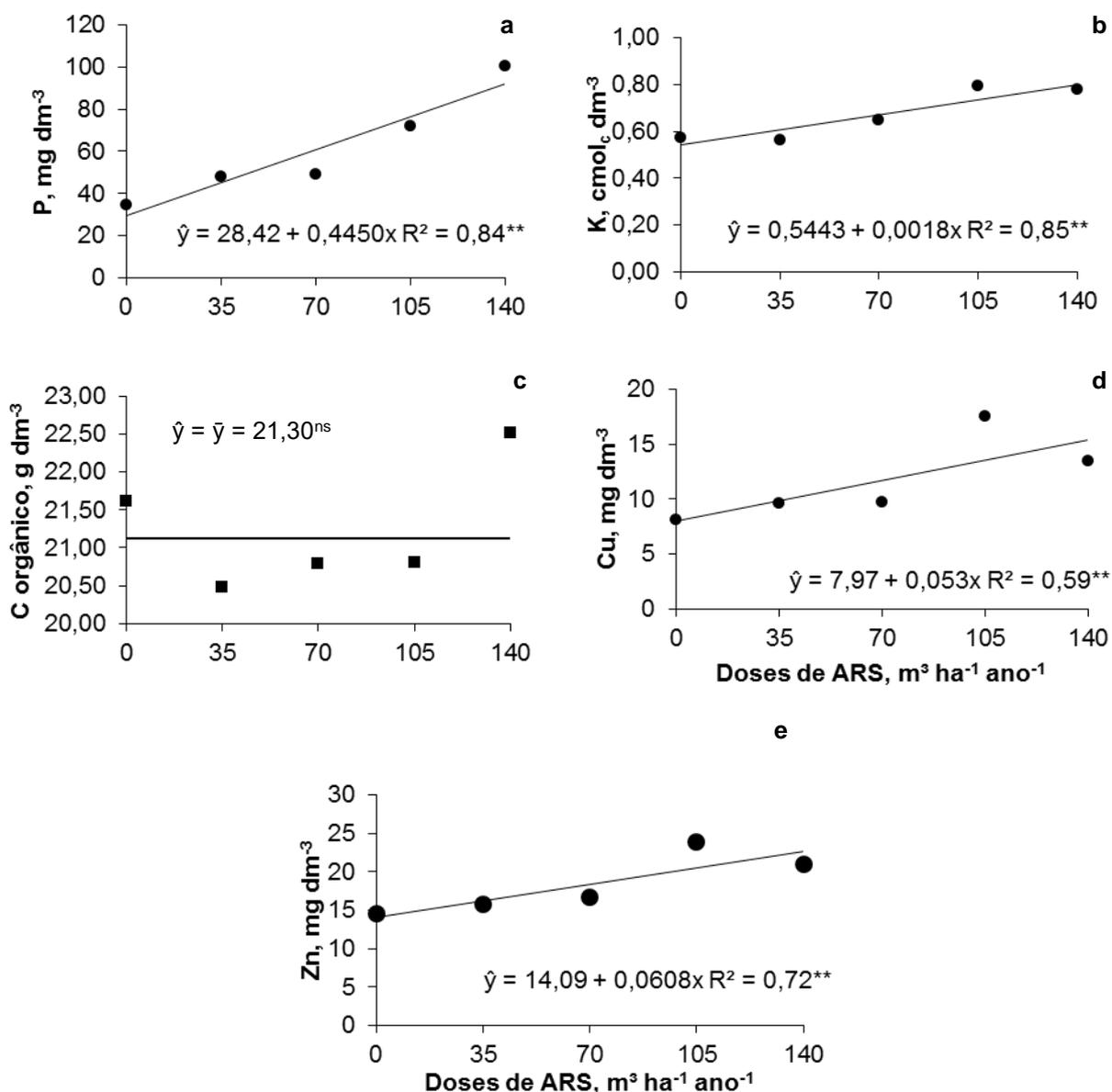


Figura 12 - Teores de fósforo (a), potássio (b), carbono orgânico (c), cobre (d) e zinco (e), na profundidade de 0- 0,10 m após aplicação anual de ARS ^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$) e ^{**}significativo ($p < 0,01$).

Os dados obtidos, e segundo resultado da análise de solo da gleba onde foi realizado o experimento (Tabela 11), a dose máxima de ARS para um teor de P que não ultrapasse a classe considerada muito alta de P na profundidade de 0 - 0,10 m seria de 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, haja vista que a recomendação é a de que solos com teor de argila superior a 600 g kg⁻¹, não ultrapassem 42 mg kg⁻¹ (classe alta) de P (Mehlich-1), buscando-se evitar perdas e desperdícios de fertilizantes, além de possíveis problemas com contaminação do meio ambiente por fosfato (CQFS-RS/SC, 2004).

Os teores de K no solo na profundidade 0 - 0,10 m também aumentaram linearmente com as doses de ARS (Figura 12b). A utilização de 35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de ARS por ano permitiu a manutenção dos teores iniciais de K do solo.

Os teores de K das doses de ARS provocaram aumentos nos teores deste nutriente na profundidade de 0 - 0,10 m variando de 0,57 a 0,78 cmol_c dm⁻³ para as doses de 0 a 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, considerando que a ARS utilizada no experimento contribuiu com 4,19 kg m⁻³ de K, totalizando na dose mais alta de 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ um fornecimento anual de 586,60 kg ha⁻¹ de K₂O, item 3.4.3 do capítulo 1, Tabela 2 (pág 13).

Para garantir tetos de produtividade de 5,0 t ha⁻¹ de soja e de 6,0 t ha⁻¹ de milho, levando em conta o teor de K⁺ da análise de solo na profundidade 0-0,20 m de 0,42 cmol_c dm⁻³ item 3.4.2, capítulo 1, Tabela 2, (pág 17), seriam necessários aplicações de 150 e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (CQFS-RS/SC, 2004). Assim, em dois cultivos, um de soja e outro de milho segunda safra, seria recomendada a aplicação de 220 kg ha⁻¹ K₂O ou 182,63 kg ha⁻¹ de K. Com a adição de 43,58 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, seriam supridas as necessidades de K das culturas de soja no primeiro cultivo e de milho no segundo, haja vista a ARS utilizada no presente experimento possuir 4,19 kg m³ de K, item 3.4.3 do capítulo 1, Tabela 2 (pág 13), estando, em sua totalidade disponível no primeiro cultivo (CQFS-RS/SC, 2004).

Incrementos nos níveis de P e K no solo é condizente com Lourenzi (2010), em Argissolo Vermelho Distrófico arênico. No experimento, o autor testou doses até 80 m³ ha⁻¹ nos anos de 2000 a 2008, e, comprovou aumento nos teores de P disponível e K trocável até a profundidade de 0,60 m, e para P total, evidenciando elevação até 0,30 m de profundidade, proporcionando ambiente quimicamente mais adequado para desenvolvimento radicular das culturas.

As aplicações de ARS não aumentaram o carbono orgânico na profundidade superficial, provavelmente em razão do baixo teor de carbono e matéria orgânica da ARS (Figura 12c). No entanto, em nenhuma parcela houve redução dos teores de C orgânicos, atestando que a aplicação de ARS pode contribuir para a manutenção dos teores de

carbono orgânico do solo. Neste sentido, segundo Lourenzi et al. (2011) e CQFS-RS/SC (2004), o sistema de plantio direto associado a sistemas com adição de resíduos orgânicos, resulta em balanço positivo de MO no solo.

As concentrações de Cu e Zn aumentaram linearmente com a aplicação de ARS na profundidade superficial do solo. Para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ houve aumento de 0,053 e 0,060 mg dm^{-3} na profundidade de 0,10 m (Figura 12d e 12e) para Cu e Zn, respectivamente. Estes elementos são adicionados nas rações com finalidade de prevenir doenças, melhorar a digestão e promover o crescimento dos suínos (JONDREVILLE et al., 2003; SMANHOTTO, 2010).

Basso et al., (2012) concluíram que 69% das amostras realizadas em 13 locais da região oeste de Santa Catarina, apresentavam maiores teores de Cu e Zn em áreas que recebiam aplicações de ARS, evidenciando acúmulo desses metais nas profundidades superficiais com o passar do anos de aplicação.

Foram adicionados 0,04, 0,08, 0,13 e 0,17 kg ha^{-1} de Cu, e, 0,09, 0,19, 0,29 e 0,39 kg ha^{-1} de Zn item 3.4.3 do capítulo 1, Tabela 2 (pág 13), com as doses de ARS de 35, 70, 105 e 140 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, respectivamente. Segundo o CONAMA (2006), resolução 375, a aplicação de 137 e 445 kg ha^{-1} é o limite máximo para Cu e Zn, respectivamente (Tabela 12), sendo que, no presente experimento, as doses de ARS não constituem contaminação no solo com as adições de Cu e Zn.

Tabela 12 - Quantidade de metais pesados tolerados no solo, segundo órgãos que regulamentam aplicações de metais pesados dos países

Metal	USEPA ¹		CEE ²	CONAMA ³
	EUA		Comunidade Europeia	Brasil
	Taxa anual	Total ⁴	Total	Total
	-----kg ha ⁻¹ -----			
Cu	75	1500	120	137
Zn	140	2800	300	445

Adaptado Giroto, (2006). ¹ – Preconizados pela USEPA (1993) e adotados pela CETESB (2001), com base na matéria seca; ² - Comunidade Econômica Européia (CEC, 1986); ³ – CONAMA (2006); ⁴ – Carga máxima do metal que poderia ser aplicada em uma mesma área.

No entanto, Giroto (2006) ressalta a importância de estudos regionalizados para determinação de teores críticos de Cu e Zn, pois as cargas máximas desses metais consideradas em normativas como USEPA (1993) e CONAMA (2006), podem não levar em conta particularidades como o tipo de solo, além de não considerarem o sistema de cultivo, para cálculo de balanço dos metais no solo e as interações com as frações orgânicas e mineral.

4.5.2 Atributos químicos na profundidade de 0,10 - 0,20 m

Apenas o P, apresentou comportamento significativo e ainda linear ($p < 0,01$) nesta profundidade com aplicação de ARS (Tabela 13). Para cada $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, houve aumento de $0,0151 \text{ mg dm}^{-3}$ de P na profundidade de 0,10 – 0,20 m (Figura 13a). Segundo Scherer et al., (2007), a preservação das características físicas do solo no SPD, principalmente pelos canais deixados pelas raízes em decomposição ou formados pela atividade biológica, juntamente com teor de matéria orgânica adequado nas profundidades superficiais, com conseqüente melhoria nos processos de agregação, permitem maior infiltração de água com solutos resultantes da decomposição de resíduos orgânicos da ARS, diminuindo o tempo de contato para reação com o solo, ocorrendo mobilidade de P da profundidade superficial para profundidade 0,10 - 0,20 m.

Tabela 13 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios para atributos químicos do solo na profundidade 0,10 - 0,20 m, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Fonte de variação	GL	C _{org.}	P	K	Cu	Zn
Doses de ARS	4	4,56 ^{ns}	119,34 ^{**}	0,0435 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,4830 ^{ns}
Bloco	3	1,24 ^{ns}	22,84 ^{ns}	0,0036 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,4189 ^{ns}
Erro 1	12	5,25	52,45	0,0213	1,66	1,6973
Adubação mineral	1	1,11 ^{ns}	755,68 [*]	0,0004 ^{ns}	15,07 [*]	4,8233 ^{ns}
Dose x Adubação	4	3,33 ^{ns}	63,14 ^{ns}	0,0090 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,8168 ^{ns}
Erro 2	15	1,82	46,93	0,0220	1,77	1,2414
Total	39					
CV 1 (%)		17,21	62,55	31,65	41,24	8,02
CV 2 (%)		10,14	59,17	32,15	42,55	6,85
Média		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	----- mg dm^{-3} -----	
		13,32	11,57	0,46	3,13	16,25

^{ns} não significativo, ^{*} significativo ($p < 0,05$) e ^{**} significativo ($p < 0,01$).

Os teores de K^+ , carbono orgânico, Cu e Zn não apresentaram mudanças significativas nesta profundidade amostrada pelos dados obtidos (Tabela 13). Assmann et al., (2007), em Latossolo Vermelho Distroférico no Paraná, aplicando ARS após 48 e 116 dias após a emergência de aveia e azevém, obtiveram incremento de K, apenas na profundidade de 0 – 0,05 m de profundidade, com teor inicial de K de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sob aplicações de 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Segundo os autores, o K dependente diretamente

da quantidade de matéria seca do resíduo a taxa disponível. Os teores de MS da ARS aplicada no experimento destes autores foram de 21 e 41 kg m³, na primeira e na segunda aplicação, respectivamente.

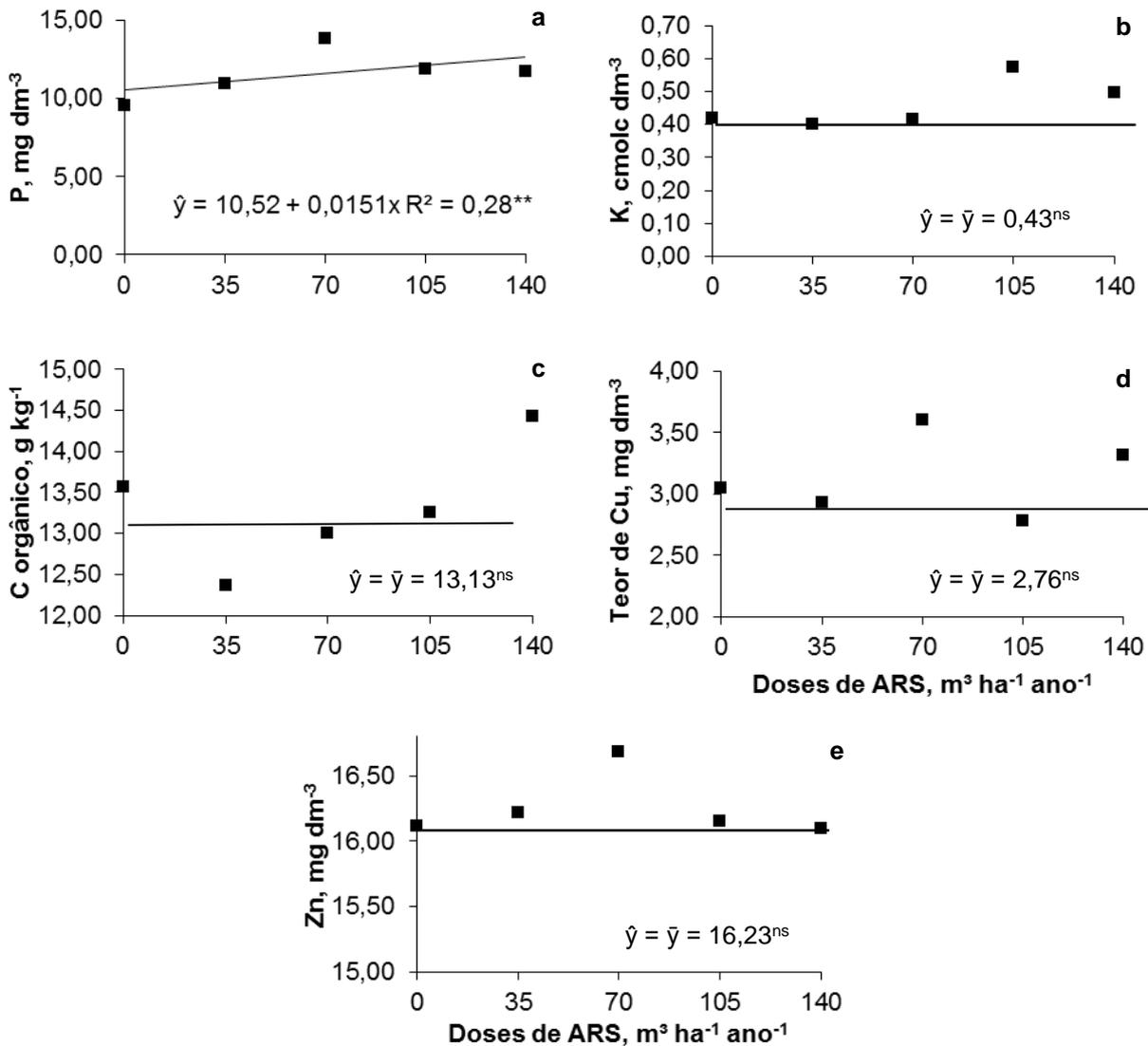


Figura 13 - Teores de fósforo (a), potássio (b), carbono orgânico (c), cobre (d) e zinco (e), na profundidade de 0- 0,10 - 0,20 m após aplicação anual de ARS. ^{ns} não significativo, ^{*}significativo (p<0,05) e ^{**}significativo (p<0,01).

Porém, com a utilização da adubação mineral houve maiores teores de P e Cu na profundidade de 0,10 - 0,20 m (Tabela 14). Para Cu, houve aumento significativo, (p<0,05), na média geral dos valores, obtendo-se 2,43 e 3,66 na ausência e presença de adubação mineral, respectivamente. Segundo Raji (1999), o íon Cu²⁺ é bastante móvel em solos ácidos, formando composto solúveis com a maioria dos ânions presentes na solução dos solos, além disso, existem relações significativas entre os teores de Cu no solo e seu material de origem de formação.

Para P, houve aumento significativo ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey, quando na presença de adubação mineral, para 21,84 e 17,58 mg dm⁻³, nas doses de 70 e 105 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Tabela 14 - Teores de fósforo e cobre na profundidade 0,10 - 0,20 m, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Nutriente	Adubação mineral	Dose de ARS (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)					Média ²
		0	35	70	105	140	
		-----mg dm ⁻³ -----					
P ¹	ausência	6,32 a	10,45 a	5,81 a	6,08 a	7,47 a	7,32 b
	presença	12,77	11,42 a	21,84 b	17,58 b	16,00 a	15,92 a
Cu ¹	ausência	2,49 a	2,40 a	2,61 a	1,79 a	2,89 a	2,43 b
	presença	3,59 a	3,45 a	4,60 a	3,77 a	2,91 a	3,66 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Significativo a 5% de erro. ¹ DMS: 10,32 para P e 2,02 para Cu (4 repetições). ² DMS 4,61 para P e 0,90 para Cu (20 repetições).

De modo similar, quando se comparou a média total dos valores para o fator de variação presença e ausência de adubação mineral, houve aumento no teor de P, na camada avaliada. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que, na ocasião da semeadura de soja e milho segunda safra, para distribuição da adubação mineral no sulco de plantio, foi utilizado o sistema de haste sulcadora à 0,12 m de profundidade. Segundo Pauletti et al., (2008), diferentes formas de aplicação dos fertilizantes minerais, aumentam a variabilidade dos teores de nutrientes, causando variabilidade vertical, principalmente para o P, quando utilizada aplicação de fertilizantes minerais no sulco de semeadura.

Nesta profundidade amostrada (0,10 - 0,20 m), quando adicionada à adubação mineral, houve maior disponibilidade de P, porém, Berthrong et al., (2013) relatam que adubação orgânica teve performance superior à adubação mineral, a qual possui consumo de energia além de acarretar em impactos deletérios ao ambiente, através do aumento da lixiviação e perdas gasosas de N. Em seus resultados o manejo orgânico induziu o crescimento de uma comunidade microbiana mais diversificada, com maior aporte de carbono orgânico, consequentemente aumentando o armazenamento e disponibilidade de N às culturas, diminuindo assim as perdas de N.

Aplicações de ARS aumentam os teores de fósforo ao longo do tempo, indicando que este nutriente pode ser reciclado via ARS nos solos brasileiros que possuem carência de fósforo disponível, devido à fixação pelo óxidos de ferro e alumínio que tornam o fósforo complexado e indisponível a absorção pelas plantas, e, em contrapartida, o excesso também passa a se tornar preocupante do ponto de vista ambiental, quando é

carregado pela água da chuva até os mananciais de água superficial (BERWANGER et al., 2008; CQFS-RS/SC, 2004), um dos fatores que contribuem para maior disponibilidade de P no ambiente é a concentração de N em relação ao P contido na ARS, que pode variar de 2:1 a 6:1, enquanto a extração das culturas geralmente encontra-se de 7:1 a 11:1 (SHARPLEY et al., 1996).

De acordo com Barnett (1994) cerca de 54,7% da quantidade total de P da ARS se encontra na forma inorgânica, e o restante na forma orgânica, com 29,7% de hexafosfato de inositol, 15,2% de ácidos nucleicos e 0,4% de fosfolipídios. Deste modo, após a aplicação de ARS, o acúmulo de P normalmente está nas frações inorgânicas, onde estudos sobre as frações e acúmulo de P em solos tem sido realizados no Brasil (CERETTA, 2010), com o uso da técnica de fracionamento proposta por Hedley et al., (1982).

Conforme Figura 14 d e 14 e, não houve mobilidade de Zn e Cu no perfil do solo. Girotto et al. (2010), salientam que as ligações de Cu e Zn são principalmente químicas com alto grau de energia, podendo ser encontrados às frações orgânicas e inorgânicas. Conseqüentemente, a quantidade desses elementos disponíveis na concentração na solução do solo são muito baixas, principalmente em solos com óxidos de Fe e Mn, com alta capacidade de adsorção, formando complexo de esfera interna. No experimento desses autores, os teores de Cu aumentaram até 0,12 m e de Zn até 0,10 m, somente após 17 aplicações sucessivas de ARS, após 78 meses.

Estudos para recomendação de doses adequadas de ARS são importantes não só para diminuir problemas ambientais relacionados à sobrecarga de nutrientes ao solo, mas para alcançar a viabilidade econômica dos sistemas de produção. Blesh e Drinkwater (2013) em estudo na bacia do rio Missisipi, somando saldos de cinco anos de aplicações de N, calculados nos campos produtivos das fazendas usando os dados coletados a partir de entrevistas com 95 produtores de grãos de Iowa, Ohio, Minnesota e Wisconsin, identificaram lixiviação de N, demonstrando necessidade de uso de N de forma racionalizada.

4.5.3 Teores foliares das culturas de soja e milho

Os teores médios de N e Zn no tecido foliar observados no ensaio estão adequados para a cultura da soja (Tabela 15). Para P e Cu, a média dos valores obtidos no experimento foram considerados baixos para a cultura da soja e somente a média do teor foliar de K foi considerado excessivo (Tabela 16), porém, no decorrer do cultivo, não

foram observados sintomas visuais de toxicidade ou deficiência na cultura causada pelo uso do dejetos. Apesar das doses de ARS utilizadas neste experimento, apresentarem teores crescentes de N, os teores foliares não apresentaram significância ($p < 0,05$), possivelmente devido à volatilização do N presente na ARS.

Tabela 15 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios dos teores foliares da soja, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Fonte de variação	GL	N	P	K	Cu	Zn
Doses de ARS	4	4,72 ^{ns}	0,20*	104,90 ^{ns}	2,57 ^{ns}	107,26 ^{ns}
Bloco	3	15,60 ^{ns}	0,05 ^{ns}	94,74 ^{ns}	1,25 ^{ns}	7,50 ^{ns}
Erro 1	12	5,62	0,05	53,51		
Adubação mineral	1	7,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}	75,12 ^{ns}	0,54 ^{ns}	83,98 ^{ns}
Dose x Adubação	4	9,31 ^{ns}	0,14 ^{ns}	42,10 ^{ns}	2,50 ^{ns}	15,62 ^{ns}
Erro 2	15	6,36	0,06	39,15	0,93	105,72
Total	39					
CV 1 (%)		4,45	6,02	11,17	39,41	21,27
CV 2 (%)		4,72	6,79	9,55	29,79	23,24
Média		----- g kg ⁻¹ -----				
		53,46	3,75	65,49	3,25	44,25

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$) e **significativo ($p < 0,01$).

Basso et al., (2004) estudaram as perdas por volatilização de amônia do N contido em ARS com doses até 80 m³ ha⁻¹, em quatro meses: fevereiro, maio, outubro e dezembro. Os autores concluíram que as maiores perdas de N por volatilização ocorreram nos meses de dezembro e fevereiro, devido às maiores temperaturas, potencializando as perdas de N. Altas temperaturas, favorecem à decomposição do dejetos nas unidades de fermentação e/ou armazenamento, proporcionando maiores quantidades de N mineral (NH₄⁺) em relação ao N total.

Tabela 16 - Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados da análise de teor foliar da soja

Nutriente	Faixas de suficiência				
	Deficiente ou muito baixo	Baixo	Suficiente ou médio	Alto	Excessivo ou muito alto
	----- g kg ⁻¹ -----				
N	<32,5	32,5 a 45,0	45,0 a 55,0	55,0 a 70,0	>70,0
P	<1,6	1,6 a 2,5	2,5 a 5,0	5,0 a 8,0	>8,0
K	<12,5	12,5 a 17,0	17,0 a 25,0	25,0 a 27,5	>27,5
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Cu	–	<6	6 a 14	>14	–
Zn	<11	11 a 20	20 a 50	50 a 75	>75

Adaptado, EMBRAPA (2014).

No trabalho conduzido por Basso et al., (2004) a ARS foi aplicada no mês de outubro, possuindo o maior teor de matéria seca que nos outros meses, devido às menores temperaturas deste mês (quando comparado com os meses de dezembro e fevereiro), conseqüentemente houve menor concentração de N mineral e menor volatilização. A recomendação neste trabalho é buscar o uso de menores doses de ARS, visando minimizar as perdas de N por volatilização de amônia.

A resposta alta, porém não significativa dos teores de K na cultura da soja, deve estar relacionada ao histórico da área. O teor de K do local do experimento apresentou nível considerado alto item 3.4.2, capítulo 1, Tabela 1, (pág 11), e os restos vegetais como a palha de milho podem liberar quantidades desiguais de K, com valores que variam de 7 a 24 kg ha⁻¹ (ROSOLEM et al., 2003), pois a cultura antecessora foi milho segunda safra (antes da implantação do experimento).

Em contrapartida, para o P foliar na soja, foi determinada resposta linear (Figura 14), com aumento de 0,0028 g kg⁻¹ para cada m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aplicado, variando de 3,55 a 3,96 g kg⁻¹ de 0 a 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, evidenciando que os teores foliares de P, foram considerados suficientes ou adequados para a cultura da soja.

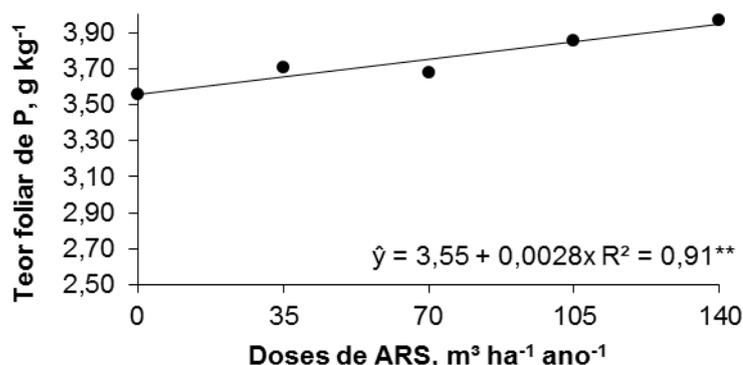


Figura 14 - Teor de fósforo no tecido foliar da cultura da soja em função de doses de água residuária de suinocultura *significativo ($p < 0,05$).

Este resultado demonstra eficiência na ciclagem e aproveitamento de P pela cultura. Fato importante, na reutilização de nutrientes como o P da ARS, devido às fontes minerais serem finitas (FIXEN, 2010). Para Schipanski e Bennett et al., (2012) há preocupação com a reciclagem do fósforo, sendo esta possível através do uso de resíduos. Tendências para maior consumo de P, como crescimento do comércio agrícola, o aumento da concentração de sistemas de produção de gado, bem como o aumento do consumo humano de produtos animais, influenciam distribuição deste nutriente na superfície terrestre.

O fósforo representa desafio de gestão, pois estão se esgotando rapidamente reservas deste recurso essencial e não-renovável. Ao mesmo tempo, o seu excesso pode levar à contaminação de ecossistemas aquáticos. Berwanger et al., (2006) ao estudar a influência das doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de ARS em Argissolo Vermelho Arênico distrófico ao longo de cinco anos, sobre acúmulo de P no solo, constatou que a capacidade máxima de adsorção e a constante de energia relacionada a ligação do fósforo foram diminuídas com o aumento das quantidades acumuladas de ARS, aumentando assim a concentração de equilíbrio de fósforo no solo.

Na cultura do milho segunda safra, conforme dados da Tabela 16, os teores foliares de N, P e K da cultura do milho não alteraram com aplicação de doses de ARS.

Tabela 17 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios para teores foliares do milho, após aplicação de doses de ARS e adubação mineral

Fonte de variação	GL	N	P	K	Cu	Zn
Doses de ARS	4	2,79 ^{ns}	0,05 ^{ns}	8,58 ^{ns}	74,76*	202,57 ^{ns}
Bloco	3	2,78 ^{ns}	0,04 ^{ns}	30,96 ^{ns}	14,32 ^{ns}	42,23 ^{ns}
Erro 1	12	1,24	0,08	9,85	14,97	113,20
Adubação mineral	1	5,19*	0,21 ^{ns}	6,30 ^{ns}	1,40 ^{ns}	288,90*
Dose x Adubação	4	0,69 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,82 ^{ns}	11,95 ^{ns}	188,51*
Erro 2	15	0,63	0,05	7,77	10,26	52,76
Total	39					
CV 1 (%)		7,78	12,43	6,33	47,26	34,53
CV 2 (%)		5,57	9,52	5,62	39,12	23,57
Média		----- g kg ⁻¹ -----				
		14,33	2,37	49,61	8,18	30,81

^{ns} não significativo, *significativo (p<0,05) e **significativo (p<0,01).

Porém para Cu, houve aumento de 0,04 mg kg⁻¹, a cada m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aplicado (Figura 15a), de forma que houve um incremento de 5,63 para 13,44 mg dm⁻³, com incremento das doses de ARS. Para Zn, houve interação entre doses de ARS e complementação com adubação mineral (Figura 15b). Com adição de adubo mineral associado a ARS, houve maior incremento do teor de Zn no tecido foliar, comparado á ausência de adubação mineral. Entretanto, os teores de Cu e Zn são considerados adequados (Tabela 18), não sendo constatados sintomas de deficiência ou toxidez nas plantas de milho. Apesar da necessidade do Cu ser baixo, em altas concentrações esse elemento pode ser tóxico.

Hernandez et al., (2006) estudaram o comportamento de Cu e Zn no solo, em local com aplicações de ARS de 0 a 90 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ durante 7 anos, constataram diminuição da afinidade destes nutrientes aumentou disponibilidade de Cu e Zn no solo.

Tabela 18 - Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho

Macronutriente	Teor	Micronutrientes	Teor
	----- g kg ⁻¹ -----		----- mg kg ⁻¹ -----
Nitrogênio	27,50-32,50	Cobre	6-20
Fósforo	2,5-3,5	Zinco	20-70
Potássio	17,50-22,50		

Adaptado, Bull (1993); Martinez (1999).

Sintomas de toxicidade de cobre não são comuns, mesmo quando esse elemento existe em quantidade excessiva no solo. Porém, quando os sintomas aparecem, o principal sintoma durante os estágios iniciais é a redução no crescimento das plantas (GUPTA, 2001).

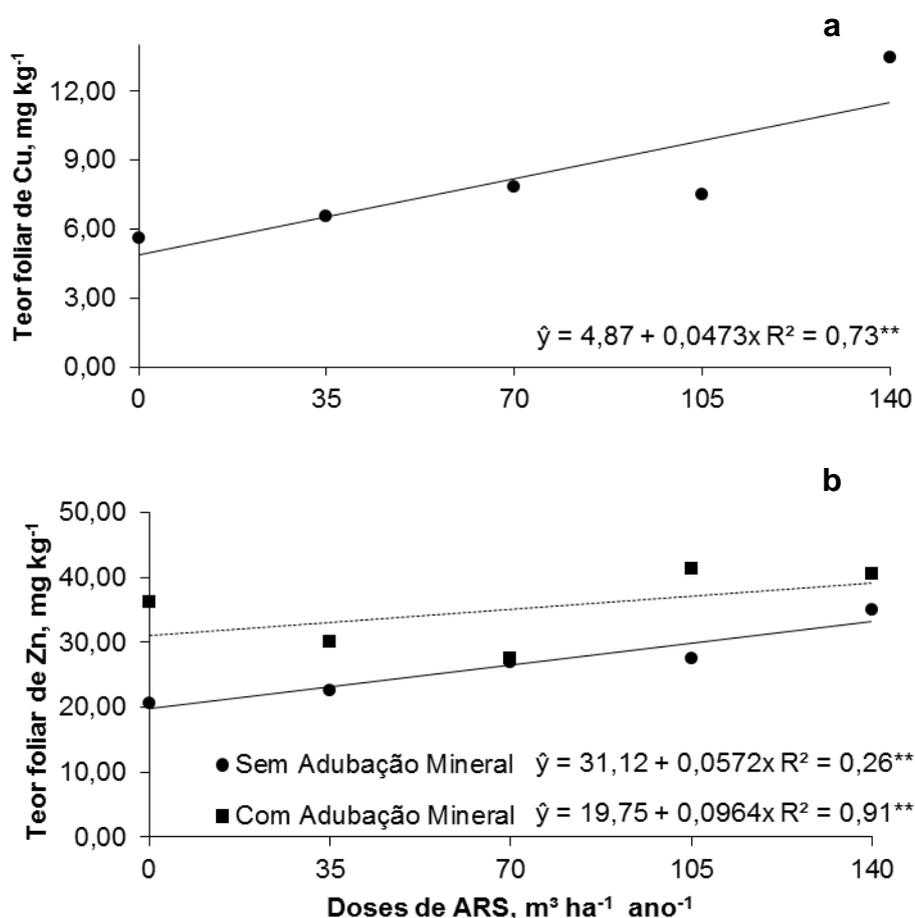


Figura 15 - Teores foliares de cobre (a) e teor foliar de zinco (b) em função das doses se ARS na cultura do milho** significativo (p<0,01) * significativo (p<0,05).

O zinco é micronutriente mais exigido pelo milho, porém o excesso de Zn pode prejudicar o aproveitamento de outros nutrientes metálicos, como o cobre, o que poderá predispor a planta à incidência de doenças (FANCELLI, 2010).

4.6 CONCLUSÕES

A aplicação de ARS proporciona aumento nos teores de P, nas profundidades de 0- 0,10 e 0,10 - 0,20 m em SPD após o cultivo de soja e milho segunda safra.

As doses de 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ não devem ser aplicadas na região Oeste do Paraná, por representarem risco de contaminação do meio ambiente, por incrementarem os níveis de P em Latossolo Vermelho Distroférico típico, e por possuírem alta carga de N.

O teor de carbono orgânico do solo não foi alterado significativamente.

Os teores de Cu e Zn tiveram aumento com adição de doses crescentes de ARS, somente na profundidade de 0 - 0,10 m.

Os teores foliares de Cu e Zn na cultura da soja foram adequados, e para a cultura do milho, houve incremento dos teores de Cu e Zn com aumento das doses de ARS.

No solo os teores de Cu e Zn não apresentaram níveis de contaminação e excesso, em função das doses de ARS.

Com base nos resultados deste capítulo, a dose mais adequada para este solo é a dose de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

4.7 REFERÊNCIAS

ABIPECS - Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios_mercado-interno/producao/Producao_2012.pdf> Acesso em: 24 fev 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**. Brasília, v.42 p.95-102, 2007.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG. v.32 p.2101-2111, 2008.

ASSMANN, T.S.; ASSMANN, J.M.; CASSOL, L.C.; DIEHL, R.C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E.C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.31 p.1515-1523. 2007.

BARILLI, J. **Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2005.

BARNETT, G.M. Phosphorus forms in animal manure. **Bioresource Technology**, Nova Iorque, v.49, p.39-147, 1994.

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; FLORES, E.M.M.; GIROTTO, E. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p.653-659. 2012.

BERTONCINI, E.I. Dejetos da suinocultura desafios para o uso agrícola. **Pesquisa & tecnologia**, vol. 8, n. 2. São Paulo. 2011. Disponível em: <http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=863&Itemid=284>. Acesso em: 19 jun. 2014.

BERTHRONG, S.T.; BUCKLEY, D.H.; DRINKWATER, L.E. Agricultural management and labile carbon additions affect soil microbial community structure and Interact with carbon and nitrogen cycling. **Microbial Ecology**. v. 66, n.1 p. 158-170. 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00248-013-0225-0#page-1>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

BERWANGER, A.L.; CERETTA, C.A.; RHEINHEMEIER, D.; Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG . v.32 p.2525-2532, 2008.

BLESH, J.; DRINKWATER, L.E. The impact of nitrogen source and crop rotation on nitrogen mass balances in the Mississippi River Basin. **Ecological Applications**. v.23, p. 1017–1035. 2013.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H. (ed.) **Cultura do milho; fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.63-145.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. **Nitrogênio e Enxofre**. In.: **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Volume 2. Nutrientes. IPNI, Piracicaba. 2014. p.7-35.

CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.45, p.593-602. 2010.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras**. In.: Séries históricas. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos> Acesso em: 19 fev 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE–CONAMA. **Resolução no 375/2006**, de 29/8/2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?co dlegi=506>>. Acesso em: 03 jul 2015.

COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES – CEC.[Online] **Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture**. Official J., 181:6–18, 1986. <Homepage:http://www.europa.eu.int/eurlex/en/consleg/pdf /1986/en_1986L0278_do_001.pdf>.

DENT, D.; HARTEMINK, A.; KIMBLE, J. **International year of planet earth**. Earth Sciences for Society Foundation, brochure 10. The Netherlands, p. 2 – 4, 2005.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão**. EMATER – RS Porto Alegre, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA **Soja. Sistemas de Produção 16**. ISSN 2176-2902 Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/975595/1/SP16online.pdf>>. 18 nov 2014.

FANCELLI, A.L. Milho. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Culturas**. IPNI, Piracicaba. p.43-89. 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. (UFLA), v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, n.4, p.1753-1761, 2008.

- GIROTTO, E. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquido de suínos**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- GIROTTO, E.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D.R.; SILVA, L.S.; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R.C.B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.34, p.955-965, 2010.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**. Salt Lake City, v.46, p.970-976, 1982.
- HERNANDEZ, D.; PLAZA, C.; SENESI, N.; POLO, A. Detection of copper(II) and zinc(II) binding to humic acids from pig slurry and amended soils by fluorescence spectroscopy. **Environmental Pollution**. v. 143, p. 212-220. 2006.
- KONZEN, E.A.; **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Circular técnica 6, Embrapa CNPSA, Concórdia – SC, 1983.
- KONZEN, E.A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**.
V Seminário Técnico da Cultura do Milho. Videira, SC. 2003.
- KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P.A.O.; Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.
- JONDREVILLE, C.; REVY, P.S.; DOURMAD, J.Y. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. *Livestock Production*. **Science**, Nova Iorque, v.84, n.2, p.147-156, 2003.
- LANA, M.C.; FEY, R.; FRADOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2010. 129p.
- LOURENZI, C.R. **Atributos químicos após dezenove aplicações de dejetos líquido de suínos em Argissolo sob plantio direto**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.
- LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LOURENSINI, F.; TIECHER, T.L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 35 P.1827-1836, 2011.
- LOURENZI, C.R. **Dejetos de suínos: produção de culturas, efeitos na matéria orgânica e na transferência de formas de fósforo**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. de.; SOUZA, R.B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (eds.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.143-168.

MEDEIROS, S.D. HANS, G., SOARES, F.A.L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.30, n.6, p. 1071-1080, 2010.

MIRANDA, C.R.; ZARDO, A.; GOSMANN, H. **Uso de dejetos na agricultura**. Instrução técnica para o suinocultor, 11, EMBRAPA. Concórdia, p.2, 1999.

MOREIRA, C.S. **Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos**. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2004.

MORI, F.M.; FAVRETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.33 p.189-198. 2009.

PALHARES, J.P.P; Legislação ambiental e suinocultura: barreiras, leis e futuro. In: **Gestão ambiental na suinocultura**. Embrapa, Brasília, p. 39, 2007.

PAULETTI, V.; VARGAS MOTTA, A.C.; SERRAT, B.M.; FAVARETTO, B.M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Atributos químicos de um Latossolo Bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.33. p.581-590, 2009.

PEREIRA, D. **Decomposição e mineralização de adubos orgânicos acondicionados em cápsulas porosas**. Tese (doutorado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F.A. **Soja. In.: Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Volume 3. Culturas. IPNI, p.7-35. Piracicaba. 2014.

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia. EMBRAPA-CNPNSA, p. 188. 1993.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute. IAC, Piracicaba, 2011. 420p.

SCHERER, E.E.; AITA, C.; BALDISSERA, I.T. **Avaliação da qualidade do esterco de suínos da região Oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante**. EPAGRI, Florianópolis, 46 p. 1996.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESE, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.31 p.123-131. 2007.

SCHIPANSKI, M.E.; BENNETT, E.M. The influence of agricultural trade and livestock production on the global phosphorus cycle. **Ecosystems**. v.15, n. 2, p.256-268. 2012. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/41413041>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

SHARPLEY, A.; DANIEL, T.C.; SIMS, J.T.; POTE, D.H. Determining environmental lysound soil phosphorus levels. **Journal Soil Water Conservation**. Ankeny, Iowa. v.51, p.160-166, 1996.

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**. Jaboticabal, v.30, n.2, p.346-357, 2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 1. ED. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2004. 107p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY–USEPA. 40 CFR-**Standards for the use and disposal of sewage sludge**. Washington, 1993. Part 503. p.9387-9415. (Federal Register, 58, 32).

5 CAPÍTULO 3: ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO ARGILOSO APÓS APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

5.1 RESUMO

A criação de animais em sistema confinado, buscando padronização da qualidade da proteína animal, gera grandes quantidades de dejetos, sendo estes, predominantemente utilizados para adubação das culturas. A água residuária de suinocultura (ARS) além de elementos químicos possui outros constituintes em sua composição que podem afetar a qualidade física do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na densidade do solo, na porosidade do solo e na condutividade hidráulica em solo saturada após aplicações de ARS no sistema de cultivo soja – milho segunda safra. O estudo foi desenvolvido em Latossolo Vermelho Distroférico típico no município de Cafelândia, região Oeste do Paraná, utilizando cinco doses de ARS antes da cultura da soja 0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, e avaliando amostras de solo indeformado após a colheita do milho segunda safra nas profundidades de 0 - 0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m. A aplicação das diferentes doses de ARS não alterou significativamente a densidade do solo, porosidade do solo e condutividade de água em solo saturado, mantendo as condições físicas do solo.

Palavras-chave: Água residuária de suinocultura. Compactação do solo. Condutividade de água em solo saturado.

5.2 OXISOL PHYSICAL ATTRIBUTES AFTER SWINE WASTEWATER APPLICATION IN NO-TILLAGE SYSTEM

5.2 ABSTRACT

Animals creation in confined system to standardize the quality of animal protein, generates large quantities of wastes, these being predominantly used to fertilization in agriculture. The swine wastewater (SW) has chemical elements and other constituents on composition, that can affect the quality soil physics. The aim of this study was to evaluate changes on soil density, soil porosity and hydraulics conductivity of water in saturated soil after SW applications in crop system soybean-second crop corn. The study was developed

in a Oxisol any municipality of Cafelândia, Western Paraná State, Brazil, using five doses of the SW 0, 35, 70, 105 and 140 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ before cultivation of soybean, and evaluating samples soil undisturbed after a second crop corn depths of 0- 0,10, 0,10 - 0,20 and 0,20 - 0,30 m. The application of different doses of SW were not significant to soil density, soil porosity and conductivity of water in saturated soil, keeping as soil physical conditions quality.

Key words: Swine wastewater. Soil compaction. Water conductivity in saturated soil.

5.3 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a suinocultura tem passado por mudanças visando minimizar custos de produção, otimizar a produtividade e buscar padrões de qualidade e matéria prima estabelecidos pelo mercado consumidor internacional (MIRANDA, 2007). Desta forma, houve uma concentração da atividade, onde os animais são criados em sistema confinado (AGNE; KLEIN, 2014), com geração de uma grande quantidade de resíduos, cerca de 0,24 m³ por animal por mês (DIESEL et al., 2002), sendo um desafio reciclar os nutrientes deste resíduo sem causar efeitos deletérios ao meio ambiente (MORI et al., 2009).

O principal destino da água residuária de suinocultura é a utilização como adubação orgânica, sendo aplicada nas culturas de grãos e pastagens visando complementar ou suprir totalmente os nutrientes que seriam fornecidos via adubação mineral (AGNE; KLEIN, 2014). Neste sentido, estudos regionalizados devem ser desenvolvidos para definição de doses a serem aplicadas, no sentido de não serem superiores a capacidade de reciclagem dos solos ou em excesso as culturas, pois o uso prolongado pode ocasionar desequilíbrio na estrutura física do solo (FOLLADOR; SAMPAIO, 2009).

Na água residuária de suinocultura (ARS) estão presentes alguns constituintes como fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório, podendo apresentar grandes variações em seus componentes, dependendo do sistema de manejo adotado, e, principalmente, da quantidade de água e nutrientes em sua composição (DIESEL et al., 2002). Predominantemente, estas aplicações de ARS são realizadas com o conjunto trator e tanque distribuidor, de forma que quanto maior a dose, maior é o tráfego de máquinas, onde essa maior pressão de máquinas ocasiona a compactação do

solo, que, em conjunto com os constituintes da ARS supracitados, podem selar os poros do solo, aumentando o escoamento superficial de nutrientes e partículas para os rios e mananciais (RICHART et al., 2005).

Estudos da influência da ARS nos atributos físicos do solo são relevantes nas avaliações envolvendo a densidade de solo, para conhecimento de possíveis dificuldades do crescimento das raízes, devido a estrutura degradada e compactação do solo (ARRUDA et al., 2010), na macroporosidade, devido a relação da macroporosidade com o desenvolvimento do sistema radicular e aeração, além de sua influência na infiltração de água no solo (CORRÊA et al., 2011). Da mesma forma em outros atributos como a microporosidade que é responsável pela retenção e armazenamento da água no solo (REICHET et al., 2006). E, especialmente no caso das aplicações de ARS a condutividade hidráulica de solo saturado, pela relação direta com a resistência do solo a erosão hídrica, e da capacidade do solo em transportar a água para as profundidades mais profundas ou para cursos de água (GONÇALVES; LIBARDI, 2013).

A agregação é o principal atributo físico influenciado pelo uso de ARS, afetando a densidade, aeração, quantidade de macro e microporos, infiltração e retenção de água (AGNE; KLEIN, 2014). Em contrapartida, processos de formação e estabilização dos agregados são influenciados pelo tipo de solo e sistema de cultivo adotado em cada região, sendo eles: textura, mineralogia da fração argila, o tipo e teor de cátions presentes, diversidade de microrganismos, raízes de plantas e resíduos vegetais, além do balanço de carbono orgânico no solos (GUBANI et al., 2007).

Neste contexto, o atual sistema de cultivo que predomina na região Oeste do Paraná, o sistema de cultivo soja-milho segunda safra, tem se mantido com o principal sistema de cultivo adotado pelos produtores (DETEC COPACOL, 2015). Este sistema apresenta baixo aporte de matéria orgânica, sendo caracterizado como uma monocultura, com degradação física e biológica do solo, pois após o mês de junho (colheita do milho segunda safra) ao final do mês de setembro (início da semeadura da soja) há uma janela sem haver nenhuma cultura à campo, o que favorece a decomposição da palhada e expõe o solo a degradação (SANTOS, 2011), onde existe a necessidade de adoção de práticas como utilização da ARS, a qual possui potencial em incrementar a matéria orgânica do solos, ajudando no aporte de carbono aos sistemas de cultivo (KIEHL, 1985).

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de água residuária de suinocultura (ARS) nos atributos físicos do solo, em associação com fertilizante mineral na sucessão das culturas de soja e milho segunda safra em sistema de

plântio direto em Latossolo Vermelho Distroférico típico no município de Cafelândia, Oeste do Paraná.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos meses de outubro 2013 a setembro de 2014, no município de Cafelândia, região Oeste do Paraná, no Centro de Pesquisa Agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol), localizado a 24° 37' 18,77" S e 53° 18' 17,63" O, a 590 metros de altitude.

O solo possui teor médio de argila de 720 g kg⁻¹; 130 g kg⁻¹ de silte e 150 g kg⁻¹ de areia; densidade do solo de 1,09 kg dm⁻³; 1,65 condutividade hidráulica saturada de 41 mm h⁻¹; microporosidade 0,25 m³ m⁻³ e macroporosidade 0,33 m³ m⁻³ na profundidade de 0-0,20 m, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2013). Os atributos químicos encontram-se descritos na apresentada no item 3.4.2 do capítulo 1, Tabela 1 (pág. 11).

Com base na análise de solo, foi necessária a correção do solo, para tanto utilizou-se calcário dolomítico com um PRNT de 85% na dose de 3630 kg ha⁻¹, com objetivo de elevar saturação de bases (V%) para 70%. Como o sistema de cultivo adotado foi em sistema de plântio direto, a dose aplicada em superfície foi de 50% do cálculo da necessidade de calagem, ou seja, 1810 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2014).

No mês de setembro de 2013, foi semeado a cultura da soja, sobre gleba com declividade de 2,5%, que por 10 anos os cultivos foram conduzidos em sistema de plântio direto, sendo soja no verão, e trigo, milho segunda safra e aveia-preta no inverno. Em fevereiro de 2014, foi semeada a cultura do milho segunda safra.

A adubação das culturas foi feita com fertilizantes minerais (300 kg ha⁻¹ da formulação 04-24-16 para a cultura da soja e 300 kg ha⁻¹ da formulação 10-15-15 para o milho segunda safra). No milho a adubação nitrogenada em cobertura foi no estágio V4, com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (formulação 45-00-00) em todas as parcelas.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada bloco apresentava cinco parcelas de 65 m². Os tratamentos foram cinco doses de ARS (0, 35, 70, 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Após colheita do milho segunda safra, foram coletadas amostras de solo indeformadas nas profundidades 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, para avaliação da influência das doses de ARS, nestas diferentes profundidades.

As doses de ARS foram aplicadas com o conjunto trator e tanque distribuidor 10 dias antes da semeadura da soja. A densidade da média apresentada pela ARS utilizada no experimento foi de 1006 kg m^{-3} .

Em cada parcela, duas amostras indeformadas foram coletadas em cada profundidade, totalizando 6 amostras por parcela, sendo 120 amostras no total. As amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de um suporte de resina (com cabeça batente) e um martelo pedológico e conduzidas ao Laboratório de Física do Solo na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no campus de Cascavel-PR, sendo preparadas e limpas para início das análises (Figura 16).



Figura 16 - Assepsia das amostras e preparação dos anéis para início das análises no laboratório de física do solo da UNIOESTE – Cascavel-PR.

Foram utilizados cilindros de aço inoxidável com volume de $0,90 \text{ m}^3$ nas profundidades descritas, retirados com auxílio de espátula pedológica. Após a saturação na mesa de tensão, as amostras foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, por 24 horas.

Determinaram-se a densidade do solo, porosidade (porosidade total, macroporosidade, microporosidade) e a condutividade de água em solo saturado. A microporosidade foi determinada em mesa de tensão de areia, com sucção de -6 kPa e a porosidade total foi calculada pela relação entre as densidades do solo e de partículas. A macroporosidade foi calculada por diferença entre porosidade total e microporosidade. A condutividade hidráulica em solo saturado foram determinados pelo método do permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 1997).

Os atributos físicos do solo tiveram seus resultados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para análise das camadas individuais (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) e da análise conjunta das profundidades. Para as médias das doses ARS foram selecionados modelos de

regressão com base na significância pelo teste F, considerando os níveis de 0,05 e 0,01 de probabilidade e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2), sendo utilizado análise estatística foi utilizado o programa estatístico Sisvar 5.1 (FERREIRA, 2011).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Densidade do solo

Os valores da densidade do solo (Tabela 19) não apresentaram diferença significativa entre as doses de ARS. Os valores médios encontrados não são considerados impeditivos ao desenvolvimento das culturas (ROSOLEM, 2003). Foram obtidos valores médios de 1,08, 1,07 e 1,10 Mg m^{-3} nas profundidades de 0- 0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, respectivamente.

Tabela 19 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios de densidade do solo, após aplicação de ARS em associação com adubação mineral

Fonte de variação	GL	0- 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Doses de ARS	4	0,0015 ^{ns}	0,0026 ^{ns}	0,0006 ^{ns}
Bloco	3	0,0011 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0063 ^{ns}
Erro	12	0,0012	0,0012	0,0013
Total	19			
CV (%)		3,15	3,24	3,56
Média		----- Mg m^{-3} -----		
		1,08	1,07	1,01

^{ns} não significativo, *significativo ($p < 0,05$) e **significativo ($p < 0,01$).

Valores de densidade do solo em sistema de plantio direto, geralmente possuem valores baixos na profundidade de 0-0,05 m, sendo esta a profundidade superficial que devido ao sistema de semeadura concentra a maior parte de material orgânico em decomposição.

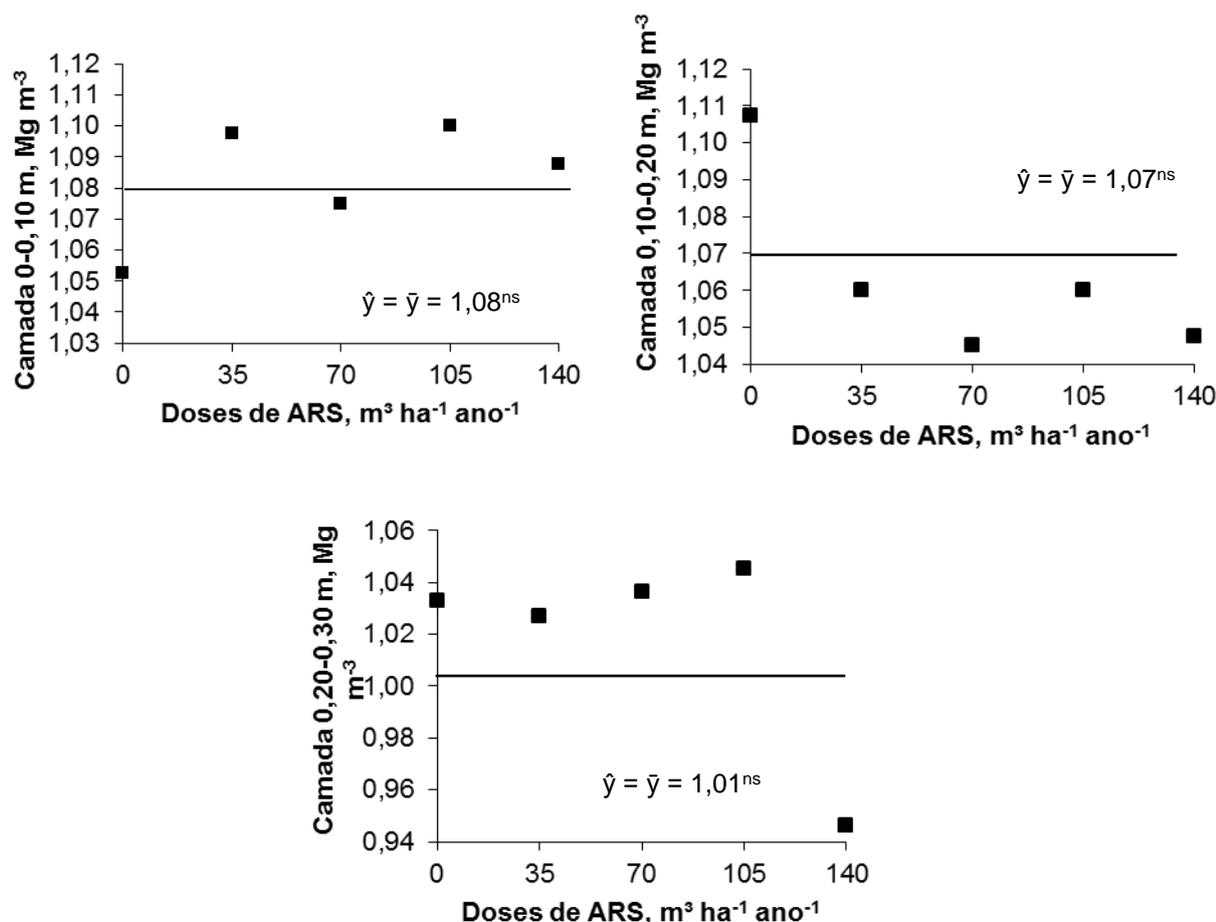


Figura 17 - Valores de densidade do solo para as camadas de 0- 0,10 m (a), 0,10 - 0,20 m (b), 0,20 - 0,30 m (c), após aplicação anual de ARS. ^{ns}não significativo, *significativo ($p < 0,05$) e **significativo ($p < 0,01$).

Segundo Agne e Klein (2014), quanto maior for o teor de matéria orgânica inicial de um solo (23,77 e 17,14 g dm⁻³ nas profundidades de 0- 0,10 e 0,10 - 0,20 m no caso deste experimento), mais difícil a elevação deste atributo, porém os autores salientam que os valores de densidade do solo podem ser influenciados positivamente pelas aplicações de ARS em todas as profundidades devido à contribuição para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, agregando matéria orgânica e propiciando maior atividade biológica. A densidade do solo é diretamente alterada pela matéria orgânica, pois a matéria orgânica possui densidade específica menor do que as partículas minerais, sendo assim, quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor a densidade que este apresenta (CORRÊA, 2011).

Na média das profundidades analisadas observa-se um decréscimo do valor de densidade na profundidade 0,20 - 0,30 m. A análise conjunta não mostrou efeito de significância para doses, sendo demonstrado na Figura 18 o comportamento das médias em função da profundidade.

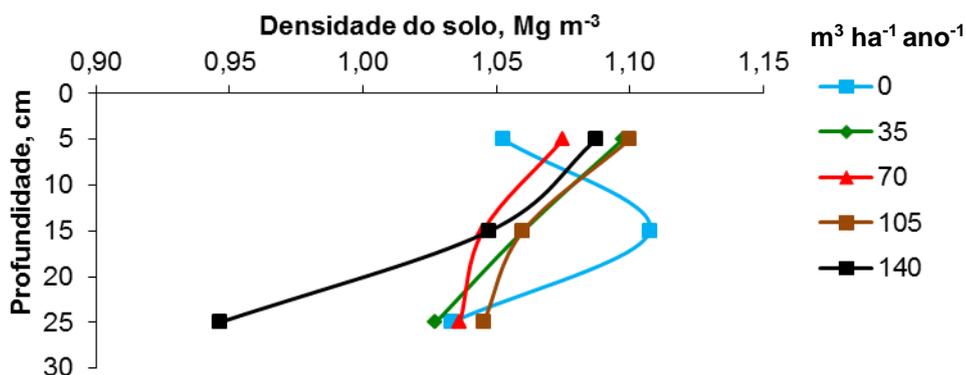


Figura 18 - Valores de densidade do solo para a camada de 0-0,30 m após aplicação anual de ARS em associação com adubação mineral.

Estudando efeitos de 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ em um Latossolo Vermelho Distroférico, Arruda et al., (2010) no período de 2001 a 2006, encontraram valores de densidade do solo entre 1,34 e 1,50 Mg m⁻³, não apresentando significância entre doses nem em profundidade, evidenciando redução da estabilidade de agregados do solo em relação à testemunha sem adubação.

Segundo Corrêa et al., (2011), com a adição de ARS ao longo dos anos, a densidade do solo apresentará menor densidade na profundidade de 0,20 - 0,30m devido ao acúmulo de matéria orgânica, conseqüentemente aumentando a formação de compostos orgânicos responsáveis pela estabilização dos agregados.

Em solos argilosos, o limite de densidade para que o sistema radicular das culturas não tenha dificuldade para o pleno desenvolvimento está entre 1,2 e 1,3 kg dm⁻³ (REICHERT et al., 2007), porém Rosolem et al., (2003) salientam que esses valores podem variar em função de diferentes sistemas de cultivos e de retenção de culturas.

Segundo Santos (2011), o sistema de sucessão de culturas soja-milho segunda safra, traz pouco incremento de matéria orgânica ao sistema, onde se torna imprescindível adoção de sistemas de manejo conservacionistas e práticas que amenizem esses problemas e atuem no sentido de restaurar a estrutura física do solo (SCHAEFER et al., 2001).

5.5.2 Efeitos das doses de ARS na porosidade do solo

A porosidade total, macroporosidade e microporosidade, não foram influenciadas pelas doses aplicadas e profundidades analisadas (Tabela 20). Para porosidade total, foram obtidos valores médios de 59,27, 59,64 e 61,31 m³ m⁻³ nas profundidades de 0-

0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, respectivamente. Quando se analisa a porosidade total, nota-se que em todas as profundidades a média dos valores encontram-se acima de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, dados estes, que segundo Kiehl (1979), são ideais para o crescimento das raízes e o pleno desenvolvimento das plantas. Os dados observados para densidade e porosidade total (Figura 18 e 19) do solo em todas as profundidades amostradas do presente experimento reforçam as evidências que a ARS contribuiu para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

Tabela 20 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios para porosidade total, macroporosidade e microporosidade, após aplicação de doses de ARS em associação com adubação mineral

Porosidade total				
Fonte de variação	GL	0- 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Doses de ARS	4	0,8167 ^{ns}	0,4146 ^{ns}	7,9026 ^{ns}
Bloco	3	0,2966 ^{ns}	2,5064 ^{ns}	1,3863 ^{ns}
Erro	12	2,2390	1,2040	5,9368
Total	19			
CV (%)		2,52	1,83	3,97
		$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
Média		59,27	59,64	61,31
Macroporosidade				
Fonte de variação	GL	0- 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Doses de ARS	4	0,4436 ^{ns}	1,6665 ^{ns}	9,9992 ^{ns}
Bloco	3	1,0986 ^{ns}	61,5686 ^{ns}	2,2861 ^{ns}
Erro	12	2,4643 ^{ns}	2,3481	16,4959
Total	19			
CV (%)		6,09	5,08	15,66
		$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
Média		25,74	26,65	25,92
Microporosidade				
Fonte de variação	GL	0- 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Doses de ARS	4	2,2660 ^{ns}	19,9407 ^{ns}	8,4992 ^{ns}
Bloco	3	0,2991 ^{ns}	40,5302 ^{ns}	0,8350 ^{ns}
Erro	12	1,22	17,1635	5,14
Total	19			
CV (%)		3,30	12,10	6,40
		$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
Média		33,52	32,98	35,38

^{ns} não significativo a 0,05 de probabilidade de erro.

Para macroporosidade, foram obtidos valores médios de 25,74, 26,65 e 25,92 m³ m⁻³ nas profundidades de 0- 0,10, 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, respectivamente. Os valores de macroporosidade, apesar de não terem apresentado efeito significativo, aumentaram com o aumento das doses de ARS aplicadas conforme Figura 20a. No entanto doses altas como as doses de 105 e 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de ARS, devem ser evitadas devido á alta carga de N e P que este resíduo orgânico apresenta (LOSS et al., 2013), além do tráfego de máquinas para aplicação da ARS ser maior nestas doses. O solo compactado possui sua infiltração de água reduzida, com redução da ação da macrofauna, menor decomposição e menor formação de bioporos, fatores estes, que comprometem o pleno desenvolvimento radicular da próxima cultura (KLEIN, 2014).

Tabela 21 - Valores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade após aplicação de doses crescentes de ARS em associação com adubação mineral

Profundidades m	Doses, m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹					CV (%)
	0	35	70	105	140	
Porosidade total, m ³ m ⁻³						
0- 0,10 ^{ns}	0,5899	0,5911	0,5919	0,5938	0,5968	2,14
0,10 - 0,20 ^{ns}	0,5823	0,5996	0,6000	0,6004	0,5999	1,95
0,20 - 0,30 ^{ns}	0,6102	0,6126	0,6164	0,6056	0,6210	3,75
Macroporosidade, m ³ m ⁻³						
0- 0,10 ^{ns}	0,2503	0,2551	0,2571	0,2608	0,2639	5,30
0,10 - 0,20 ^{ns}	0,2500	0,2762	0,2638	0,2657	0,2832	7,09
0,20 - 0,30 ^{ns}	0,2617	0,2577	0,2563	0,2501	0,2706	13,63
Microporosidade, m ³ m ⁻³						
0- 0,10 ^{ns}	0,3396	0,3359	0,3349	0,3331	0,3329	3,26
0,10 - 0,20 ^{ns}	0,3323	0,3294	0,3362	0,3347	0,3167	4,26
0,20 - 0,30 ^{ns}	0,2557	0,3630	0,3561	0,3481	0,3547	6,17

^{ns}não significativo a 0,05 de probabilidade de erro.

Segundo Reynolds et al., (2002), o nível crítico para macroporosidade é de 0,10 m³ m⁻³, embora este valor dependa, também, do tipo de planta e da atividade biológica do solo (TORMENA et al., 1998).

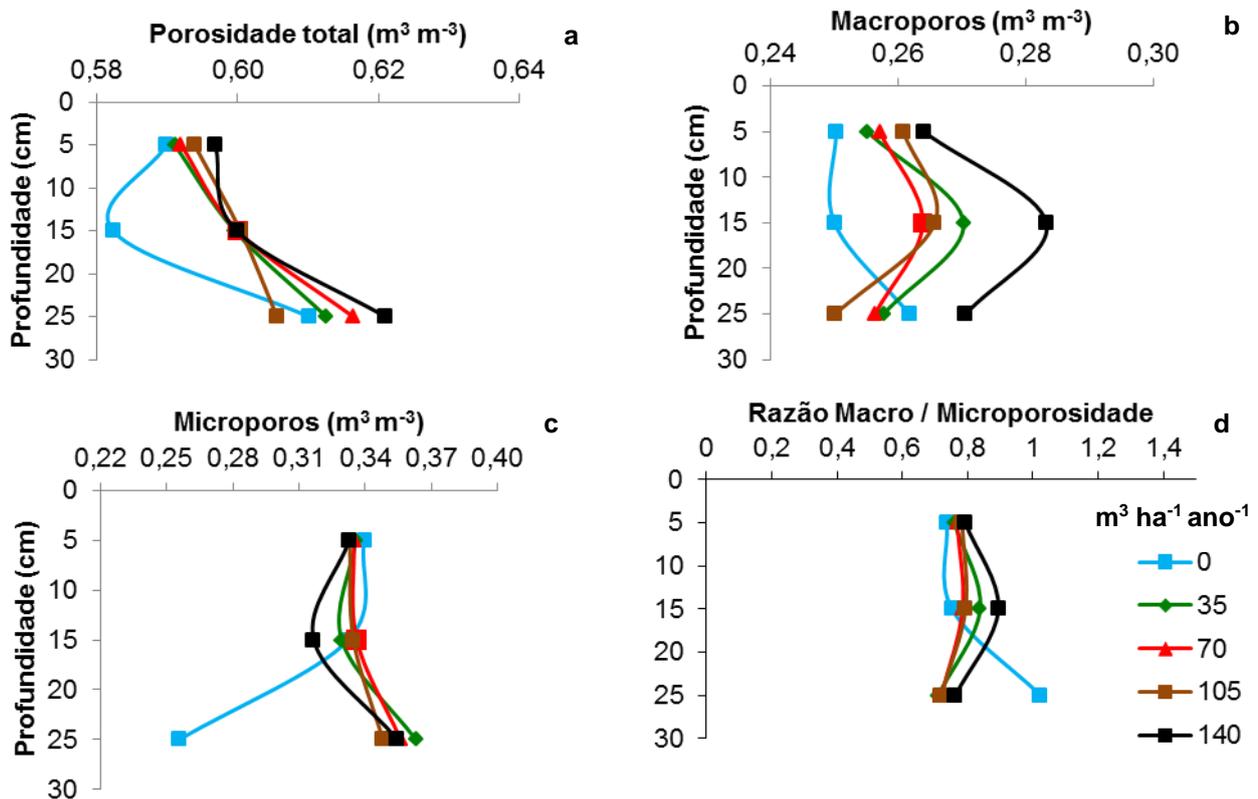


Figura 20 - Valores de porosidade total (a), macroporosidade (b), microporosidade (c) e razão entre macro / microporosidade (d) do solo para a profundidade de 0-0,30 m após aplicação anual de ARS em associação com adubação mineral.

Para microporosidade, responsável pela retenção de água no solo (REICHET et al., 2006), onde os maiores valores foram encontrados na profundidade de 0,20 - 0,30 m, sem significância para as doses de ARS aplicadas (Figura 20c).

A razão entre macro e microporosidade é um indicador sensível de compactação do solo, indicando o quanto de macroporos está sendo alterado em relação ao volume de microporos, onde um maior volume de microporos é benéfico para que o solo tenha maior retenção de água, entretanto, há perda de aeração e circulação de gases, fatores que podem estar associados à compactação e perda de qualidade física do solo (OLIVEIRA, et al., 2015). No presente estudo a razão entre macro e microporos não apresentou resultado significativo, com média de 0,8, o que indica um maior proporção de microporos do que macroporos (Figura 20d).

Segundo Corrêa (2011) a adição de esterco de animais e de outros materiais orgânicos, em condições adequadas de temperatura e umidade, podem aumentar a estabilidade dos agregados, microporosidade e retenção de água, no entanto, o autor salienta que essa propriedade depende da textura dos solos, como exemplo, os solos arenosos que geralmente apresentam menor estabilidade, respondem mais do que solos

argilosos, onde estes geralmente necessitam de vários anos de aplicação para que as diferenças apresentem resultados significativos.

5.5.3 Condutividade hidráulica em solo saturado

A condutividade hidráulica da água em solo saturado não foi afetada significativamente pelas doses de ARS aplicadas. (Tabela 24). Projetos que utilizem fertirrigação, como uso de águas residuárias e/ou dejetos líquidos como adubação orgânica, que visem dimensionar aplicações para locais a serem estudados, devem levar em conta o comportamento de água no perfil do solo (VIEIRA, et al., 2003).

Tabela 24 - Quadro de análise de variância com os quadrados médios de condutividade de água em solo saturado, após aplicação de ARS em associação com adubação mineral

Fonte de variação	GL	0- 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Doses de ARS	4	970116,22791 ^{ns}	32544,3122 ^{ns}	524734,4482 ^{ns}
Bloco	3	777564,1614 ^{ns}	88604,3298 ^{ns}	2103752,4076 ^{ns}
Erro	12	1288760,0184	48239,6461	4480660,7090
Total	19			
CV (%)		140,59	143,63	179,41
Média		----- mm dia ⁻¹ -----		
		271,73	100,75	157,73

^{ns}não significativo a 0,05 de probabilidade de erro.

Na maior dose (140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) houve uma queda considerável na condutividade de água em solo saturado (Figura 20).

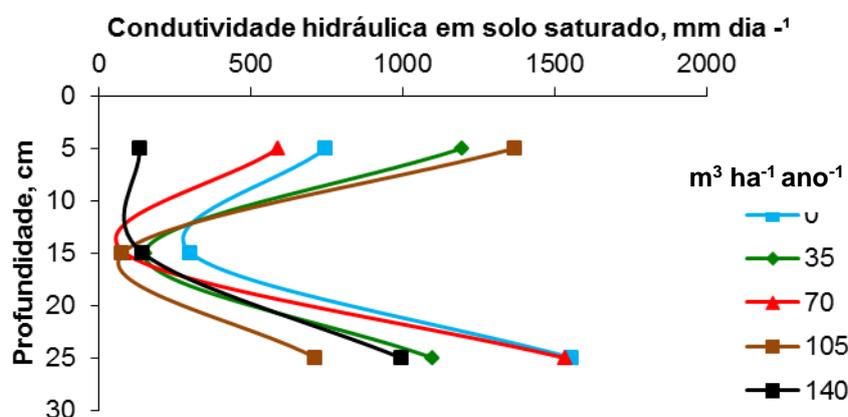


Figura 20 - Valores de condutividade hidráulica em solo saturado para a profundidade de 0-0,30 m após aplicação anual de ARS em associação com adubação mineral.

Peles (2007), ao estudar as perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial, em Latossolo Bruno Distrófico típico, sob doses de 0, 30, 60 e 90 m³ ha⁻¹ de ARS, concluiu que após 14 horas da aplicação de ARS, já houve um selamento superficial que acarretou em perdas de solo via escoamento superficial. O autor atribuiu este comportamento ao efeito hidrofóbico que a ARS possui, alterando o comportamento da hidrologia de superfície e obstruindo parcialmente alguns macroporos, alterando a condutividade hidráulica do solo. Solos com baixa permeabilidade favorecem a formação do escoamento superficial, potencializando as perdas de água e sedimentos (BEUTLER et al., 2003). No entanto, nesta dose de 140 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ foi o tratamento que apresentou maior macroporosidade.

5.6 CONCLUSÕES

Não houve alterações significativas nos atributos físicos, densidade do solo, porosidade e condutividade hidráulica em solo saturado nas doses de ARS aplicadas, após os 12 meses de condução do experimento.

Os atributos físicos do solo não alterados devido a baixa quantidade de material orgânico da ARS utilizada e o período de 12 meses não foram suficientes para influenciar os atributos físicos do solo, sendo que as alterações nos atributos químicos ocorrem em função da quantidade, frequência e tempo de aplicação.

5.7 REFERÊNCIAS

AGNE, S.A.A. KLEIN, V.A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, v. 18, n. 7. p. 720-726, 2014.

ARRUDA, C.A.O.; ALVES, M.V.; MAFRA, A.L.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; SANTOS, J.C.P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

BEUTLER, J.F., BERTOL, I., VEIGA, M. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

BORTOLUZZI, E.C.; PARIZE, G.L.; KORCHAGIN, J.; SILVA, V. R.; RHEINHEMEIER, D. S.; KAMINSKI, J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v. 38. p. 262-271. 2013.

CORRÊA, J.C. BARILLI, J. REBELLATTO, A. VEIGA, M. Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo. **Circular Técnica 11**. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Corcórdia, 2011.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C.C. **Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão**. EMATER – RS Porto Alegre, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção de informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FOLLADOR, F. A. C., & SAMPAIO, S. C. **Dinâmica e lixiviação de íons em coluna de solo de uma área irrigada com água residuária**. EDIUNIOSTE, Cascavel, 2009.

GONÇALVES, A.D.M.A. & LIBARDI, P.L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p.1174-1184. 2013.

GUBANI, P.I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; CERETTA, C.A.; KUNZ, M. **Condições físicas de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico após oito ciclos de cultivo e uso de dejetos de suínos**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, (XXXI CBCS), Gramado (RS), 2007.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. Agronômica Ceres, São Paulo. 264p. 1979.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, Piracicaba. 1985.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3.ed. Passo Fundo: EDIUPF. 2014. 263p.

LOSS, A.; COMIN, J.J.; VEIGA, M.; COUTO, R. da R.; BENEDET, L.; BRUNETTO, G. Carbono orgânico e atributos físicos em um Argissolo Vermelho-Amarelo adubado com dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos em sistema plantio direto. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao_tecnico_cientifica/DOC_31570.pdf>. Acesso em 23 mai 2015.

MIRANDA, C.R; Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: **Gestão ambiental na suinocultura**. Embrapa, Brasília, p.302, 2007.

MORI, F.H.; FAVRETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p. 189-198, 2009.

OLIVEIRA, D.S.O. LIMA, R.P.; JAN VERBURG, E.E. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.19 p.280-285, 2015.

PELES, D. **Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquidos de suínos**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina Ciências Agrárias**. Londrina, v. 26, n.3, p.321-344, 2005.

ROSOLEM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN, J.C.; BRANCALIANO, S.R. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27. p. 875-884, 2003.

SANTOS, E.A. **Cobertura do solo em sistema de semeadura direta em Fênix-PR**. Dissertação (mestrado). Universidade Oeste Paulista, p.177 Presidente Prudente, 2001.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS M., F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa v.25, p.765-769. 2001.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22. p.301-309. 1998.

VIEIRA, J. J.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; FREITAS, P. S. L.; ALVES, D. S. Determinação da velocidade de infiltração básica de água em dois solos do noroeste do estado do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, p. 155-170, 2013.