

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

VIRGÍLIO GARCIA GOMES

**SALINIZAÇÃO E TOXIDEZ DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

**Uberlândia – MG
Dezembro – 2017**

VIRGÍLIO GARCIA GOMES

**SALINIZAÇÃO E TOXIDEZ DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Dra. Regina Maria Quintão
Lana.

**Uberlândia – MG
Dezembro – 2017**

VIRGÍLIO GARCIA GOMES

**SALINIZAÇÃO E TOXIDEZ DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 14/12/2017

Msc. Rafaella Ferreira Batista Bernardes
Membro da Banca

Msc. Luara Cristina de Lima
Membro da Banca

Prof.^a. Dra. Regina Maria Quintão Lana
Orientadora

VIRGÍLIO GARCIA GOMES

RESUMO

O confinamento de suínos destaca-se como grande gerador de águas residuárias de suinocultura (ARS). O destino final desses resíduos é uma preocupação da sociedade, uma vez que, se manejados de forma inadequada, podem provocar sérios impactos ao meio ambiente. Uma das alternativas é o uso da ARS como fonte de nutrientes, que após a mineralização da matéria orgânica, são disponibilizados para as plantas. O objetivo do trabalho foi comparar os atributos químicos do solo sob dois arranjos de plantio, em linhas simples e duplas de *Corymbia citriodora*. O experimento foi implantado na fazenda Bonsucesso, em Uberlândia - MG, em dois arranjos, sendo o primeiro com citriodora em linhas simples, com cinco plantas por parcela, com espaçamento de dois metros entre plantas e 15 metros entre linhas. O segundo foi com citriodora em linhas duplas, com dois metros entre plantas na linha, três metros entre linhas na parcela e 15 metros entre as linhas duplas de citriodora. O delineamento estatístico foi em blocos ao acaso. Os tratamentos utilizados foram cinco doses de ARS (0; 200; 400; 600 e 800 m³ ha⁻¹) com cinco repetições. A aplicação das doses de ARS foram parceladas na estação da seca, nos meses de junho, julho e agosto. Foram avaliadas as características químicas do solo, na camada de 0-20 cm de profundidade. O plantio realizado em linhas duplas de citriodora proporcionou maiores teores de nutrientes no solo. A aplicação de água residuária de suinocultura elevou os teores de potássio e de metais pesados como o cobre e o zinco. A dose de 200 m³ ha⁻¹ proporcionou teores adequados para maioria dos nutrientes presentes no solo.

Palavras- chave: Dejetos de suínos, fertirrigação, metais pesados, *Corymbia citriodora*.

ABSTRACT

Pig confinement stands out as a large swine wastewater generator (ARS). The final destination of these wastes is a concern of society, since if they are handled improperly, they can cause serious impacts to the environment. One of the alternatives is the use of ARS as a source of nutrients, which after the mineralization of organic matter, are made available to the plants. The objective of this work was to compare soil chemical attributes under two planting arrangements, in single and double lines of *Corymbia citriodora*. The experiment was carried out at the Bonsucesso farm in Uberlândia - MG, Brazil, in two arrangements, the first one with citriodora in single lines, with five plants per plot, spacing two meters between plants and 15 meters between rows. The second was citriodora in double lines, two meters between plants in the line, three meters between lines in the plot and 15 meters between double lines of citriodora. The statistical design was in randomized blocks. The treatments used were five doses of ARS (0; 200; 400; 600 and 800 m³ ha⁻¹) with five replicates. The application of ARS rates were divided in the dry season, in June, July and August. The chemical characteristics of the soil were evaluated in the 0-20 cm depth layer. Planting on double lines of citriodora provided higher nutrient contents in the soil. The application of swine wastewater raised the levels of potassium and heavy metals such as copper and zinc. The dose of 200 m³ ha⁻¹ provided adequate levels for most nutrients present in the soil.

Keywords: Pig slurry, fertirrigation, heavy metals, *Corymbia citriodora*

Sumário

1. Introdução	6
2. Material e Métodos	7
3. Resultados e discussões	10
4. Conclusões	19
5. Referências	19

1. INTRODUÇÃO

A carne suína é a proteína animal mais consumida no mundo e o consumo interno no Brasil cresce a cada ano, chegando a atingir de 80 a 85% da produção nacional (ABCS, 2017). Os maiores estados produtores do Brasil são Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Mas, com o aumento da produção, ocorre também o aumento da produção de água residuária de suinocultura (ARS) (MAPA, 2014).

A ARS pode ser utilizada na agricultura como fonte de nutrientes para as plantas, devido a presença de macro e micronutrientes, além de conter compostos orgânicos que ajudam a melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo (SEGANFREDO, 2004). A utilização da ARS como fertilizante adicionada ao solo promove mineralização dos elementos que poderão ser absorvidos pelas plantas da mesma forma que os dos fertilizantes minerais.

A ARS, quando mal manejadas e sem tratamento, por produzir grandes quantidades de resíduos com altas cargas de nutrientes como potássio (K), sódio (Na), cobre (Cu) e zinco (Zn), podem causar a contaminação do solo e de águas subsuperficiais devido a presença de metais pesados como Cu e Zn, e também a presença de Na, causando a salinização do mesmo (CERETTA et al., 2005; HESPAÑOL, 2003). A presença de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas e pode tornar os solos inadequados ao cultivo (AYERS; WESTCOT, 1999).

Diante disso, estudar a dose de ARS aplicada ao solo para verificar a quantidade mais adequada para a reposição dos nutrientes retirados pela planta, sua contribuição para fertilidade dos solos minimizando os riscos da contaminação dos mesmos, são de fundamental importância para um ambiente produtivo e sustentável (DAL BOSCO, 2007). No entanto, esse uso deve ser condicionado ao tratamento dessas águas, ao tipo de cultivo, à escolha de métodos de aplicação e ao controle de riscos ao meio ambiente (ABREU NETO, 2007).

Atualmente faz necessário uma boa produção, com cuidado ambiental em todo setor produtivo. Nesse contexto, os sistemas silvipastoris se consolidam neste modelo de conservação ambiental, onde a produção animal, plantas forrageiras e árvores estão combinadas na mesma área, para gerar produção de forma complementar por meio das suas interações (FRANCO, 2015).

O cultivo comercial das espécies de eucalipto tem ganhado importante destaque na economia do Brasil, em decorrência da multiplicidade de seus usos e da significativa área de florestas introduzidas no território nacional. O *Corymbia citriodora* é uma espécie de grande

importância na economia brasileira por ser menos susceptível as variações edafo-climáticas. Sua madeira é utilizada para a produção de carvão, postes, mourões e serraria e as folhas são as utilizadas na exploração comercial de extração de óleo essencial (DOGENSKI, 2013; ANDRADE; GOMES, 2000).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Bonsucesso, localizada no município de Uberlândia-MG, nas coordenadas geográficas Lat. 19°05'17"S, Long. 48°22'00"W e altitude média de 820 metros.

De acordo com o sistema de classificação de Koppen, o clima da região é caracterizado como sendo do tipo tropical típico, com média de precipitação em torno de 1600 mm por ano, apresentando moderado déficit hídrico no inverno e excesso de chuvas no verão (ROLIM, 2017).

O solo na área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, segundo Embrapa (2013) e está sob pastagem de *Urochloa decumbens*. Foi realizada a análise para caracterização química (Tabela 1 e 2), na profundidade de 0-20 cm. A textura do solo foi composta por 31,0% de areia grossa, 48,8% de areia fina, 8,8% de silte e 11,4% de argila (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, Uberlândia-MG, 2017.

Prof.	pH H ₂ O	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ³⁺	SB	T	V	M	M.O.
cm		-- mg dm ⁻³ --				cmol _c dm ⁻³				--- % ---		dag kg ⁻¹
00-20	5,7	9,6	29	0,0	0,9	0,5	1,8	1,47	3,27	45	0	1,7

Prof = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); P disponível (extrator Mehlich⁻¹); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio. M.O. = Matéria Orgânica pelo Método Colorimétrico. (EMBRAPA, 2011).

Tabela 2. Teores de micronutrientes da área experimental, Uberlândia-MG, 2017.

Prof.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm			dm ⁻³		
0-20	0,11	0,8	36	3,6	1,2

B = (BaCl₂.2H₂O 0,0125% à quente); Cu, Fe, Mn, Zn = (DTPA 0,005 mol L⁻¹ + TEA 0,01 mol⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ a pH 7.3). Argila: Método da pipeta (EMBRAPA, 2013).

Segundo CFSEMG (1999), de acordo com a Tabela 1, o pH é considerado bom, com acidez classificada como média. Diante dos resultados, não foi necessário realizar a correção da acidez do solo.

Foram realizados dois arranjos espaciais de plantio das mudas de *Corymbia citriodora*, em linhas simples e linhas duplas, no mês de dezembro de 2014. O espaçamento utilizado no plantio em linhas simples foi de 2 metros entre plantas e 15 metros entre as linhas simples. Na entrelinha, manteve-se a pastagem de *Urochloa decumbens*. As parcelas constituíram de 10 metros de comprimento, contendo 5 plantas em cada linha, totalizando 5 plantas na parcela, por 3 metros de largura, com uma área de 30 m².

O espaçamento utilizado no plantio de citriodora em linhas duplas foi de 2 metros entre plantas na linha mais 3 metros entre linhas e 15 metros entre as linhas duplas. Nas entrelinhas da citriodora manteve-se a pastagem de *Urochloa decumbens*. As parcelas constituíram de 10 metros de comprimento, contendo 5 plantas em cada linha simples, totalizando 10 plantas na parcela, por 6 metros de largura, com uma área de 60 m².

A adubação de plantio e cobertura para a citriodora foi realizada de acordo com a análise de solo e necessidade da planta, segundo (CFSEMG, 1999). No plantio das mudas, foram utilizados 100 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅) aplicados na linha de plantio e a adubação de cobertura com 0,15 kg por planta do formulado 20-00-20, aos 90 e 150 dias após o plantio. O controle de plantas infestantes foi realizado através de capina manual, aos 60, 120 e 180 dias após o plantio, em uma faixa de 80 cm sobre a linha de plantio.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com 5 repetições. Os tratamentos foram 4 doses de água residuária de suinocultura (ARS): 200, 400, 600 e 800 m³ ha⁻¹, e um tratamento sem a aplicação de ARS, sendo as aplicações parceladas nos meses de junho, julho e agosto de 2015.

A ARS é proveniente da suinocultura da fazenda Bonsucesso, com 6.000 suínos na fase de engorda, apresentando um volume médio de 110 m³ de ARS por dia. Os dejetos são manejados com biodigestor de manta de PVC e lagoa de estabilização, ficando armazenados por aproximadamente 20 dias. Em todas as aplicações de ARS, foram coletadas amostras para a caracterização da sua composição química (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização química da água residuária de suinocultura (ARS), de uma granja de terminação.

Determinação	Unidade	1ª aplicação	2ª aplicação	3ª aplicação
pH		7,00	7,4	7,4
Densidade	%	1,00	1,01	1,0
Matéria orgânica	%	0,65	0,91	0,65
Carbono orgânico	%	0,36	,05	0,36
Nitrogênio (N) total	%	0,35	0,47	0,14
Relação Carbono / Nitrogênio	%	1,03	10,7	2,57
Fósforo (P ₂ O ₅) total	%	0,70	0,07	0,08
Potássio (K ₂ O) sol. em água	%	0,36	0,18	0,36
Cálcio (Ca)	%	0,54	0,58	0,68
Magnésio (Mg)	%	0,05	0,06	0,10
Enxofre (S)	%	0	0	0
Sódio (Na)	mg L ⁻¹	200,00	300,00	700,00
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	5,00	6,00	15,00
Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	5,00	5,00	9,00

Após o primeiro ano de aplicação de ARS, foram coletadas três amostras de solo por parcela, na profundidade 0-20 cm para avaliar as propriedades químicas do solo. As amostras de solos foram homogeneizadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 45°C durante 48h, caracterizadas como terra fina seca em estufa (TFSE), trituradas com uso de destorreador manual, passando por peneira de 2 mm de diâmetro para remover os torrões e impurezas. As análises químicas foram realizadas com base na metodologia da EMBRAPA (2011).

Após atender todas as pressuposições do ponto de vistas estatístico, foi realizada a análise conjunta dos dados, com regressão para a variável doses de ARS, e teste F para as linhas de plantio de citriodora, para a comparação da análise química do solo, utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2000). Para a análise conjunta, foram selecionadas apenas as características cujos quadrados médios residuais não diferiram em mais de sete vezes de um experimento para o outro (GOMES, 1985). Para os ajustes dos modelos e confecção dos gráficos, foi utilizado o aplicativo computacional SigmaPlot 10.0 (SIGMA PLOT, 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

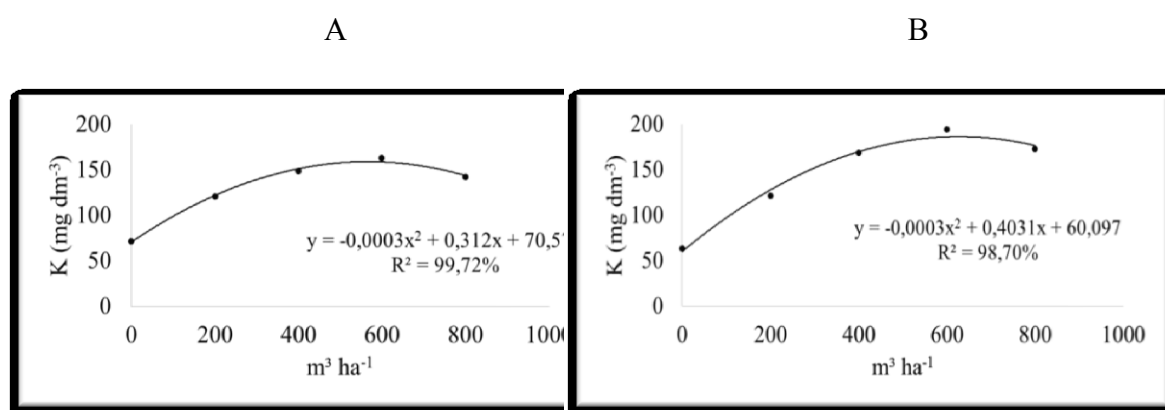
O teor de potássio (K) antes da aplicação dos tratamentos foi considerado baixo e após a aplicação da ARS, o teor passou a ser classificado como muito bom, segundo CFSEMG (1999). Não houve interação entre doses de ARS e o tipo de arranjo adotado na área (Tabela 4), ocorrendo apenas significância para as doses de ARS, onde foi aplicado o teste de regressão (Figura 1).

Tabela 4. Médias dos teores de K, relação potássio com a CTC a pH (7) (K/T) e teores de Na do solo, sob dois arranjos de plantio de citriodora, linha simples e linhas duplas, com aplicação de diferentes doses de ARS.

Dose $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	LS	LD	LS	LD	LS	LD
	K		K/T		Na	
	mg dm^{-3}		%		mg dm^{-3}	
0	71,4	63,6	6,0 a	4,8 a	64,0	82,0
200	121,2	121,2	6,2 a	8,7 a	196,0	288,0
400	148,6	168,8	8,4 b	13,8 a	298,0	342,0
600	163,0	194,2	8,3 b	17,1 a	364,0	476,0
800	142,2	172,8	7,5 b	11,6 a	340,0	396,0
Médias	129,3 ^{ns}	144,1 ^{ns}	7,3	11,2	252,4 a	317,0 b
CV (%)	21,45		23,13		25,69	

(*) Valores seguidos por letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas refere-se a comparação entre os arranjos de plantios linhas simples (LS) e linhas duplas (LD). ns: não significativo ($P > 0,05$).

Figura 1: Teor de K no solo (mg dm^{-3}), no plantio realizado em linhas simples (A) e em linhas duplas (B) de citriodora, em função das doses de ARS.



O teor máximo de K no solo, no plantio em linhas simples de citriodora (A), foi de 151,7 mg dm^{-3} na dose de 520 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, verificando um aumento de 113,7% a mais que o tratamento em que não houve aplicação de ARS. Para o plantio em linhas duplas, o máximo teor

encontrado de K foi de $195,52 \text{ mg dm}^{-3}$, na dose de $671,83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, representando um aumento de 207,42% a mais que o tratamento sem aplicação de ARS. Grande parte do K contido na alimentação dos suínos, é excretado pelos animais, onde a eficiência média na utilização dos nutrientes pelos suínos é de 29% para o nitrogênio (N) e fósforo (P), e 6% para o K (BERTONCINI, 2011).

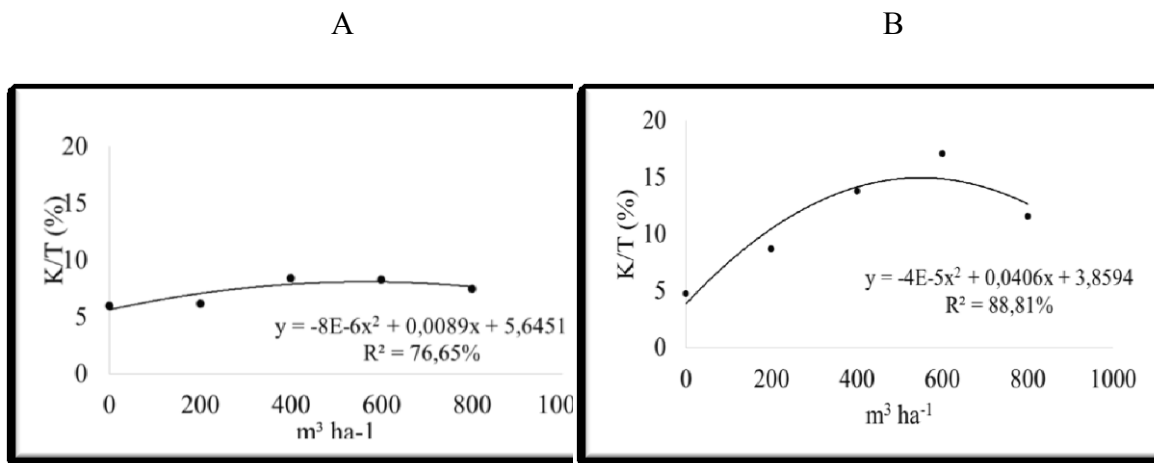
Na maior dose aplicada de ARS ($800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no plantio de citriodora em linhas simples e duplas, houve uma redução no teor de K de 13,4% e 35,72%, respectivamente. A ARS é uma fonte líquida de nutrientes, porém ela pode causar lixiviação desses para camadas mais profundas ou até mesmo escoamento superficial no solo, principalmente se a capacidade de infiltração estiver baixa e o volume de líquido for alto. O volume de líquido aplicado de $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, pode ser considerado alto, o que pode ter ocasionado a lixiviação do K.

A disponibilidade depende das formas de K presentes e da quantidade armazenada em cada uma dessas formas, o que contribui na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo (WERLE et al., 2008). O K é facilmente lixiviado, principalmente em solos arenosos. Neste estudo, o solo se caracteriza como arenoso (11% de argila), favorecendo a lixiviação deste cátion.

Resultados semelhantes foram encontrados por Homem et al. (2014), onde os valores de K trocável do solo apresentaram diferença estatística na camada de 0 – 20 cm, observando um aumento no teor do mesmo ao longo das aplicações de quatro doses de ARS (0; 50; 100 e $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Para a relação de K com a capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (T), K/T, houve significância para a interação doses de ARS e o tipo de arranjo de citriodora (Tabela 4 e Figura 2).

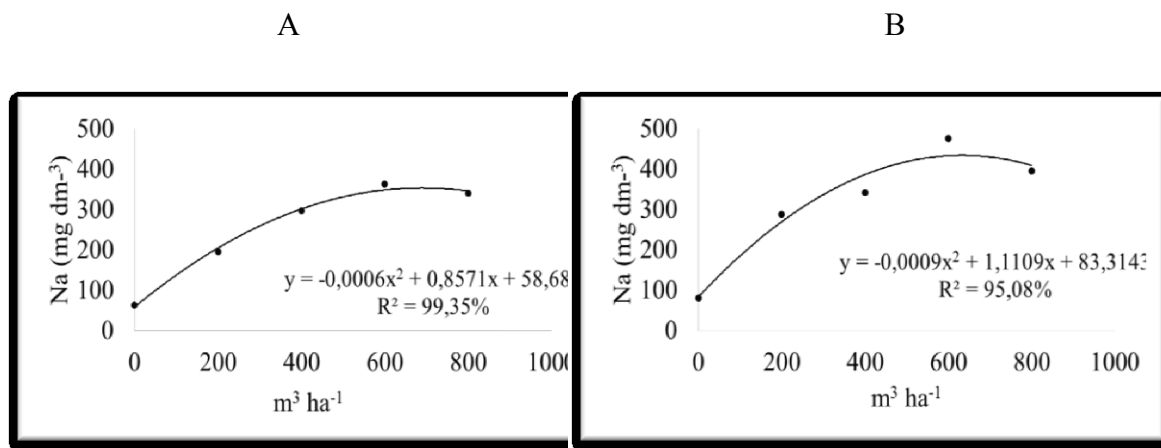
Figura 2: Relação de K com a capacidade de troca catiônica a pH (7) no solo (%), no plantio realizado em linhas simples (A) e em linhas duplas (B) de citriodora, em função das doses de ARS.



A relação ideal de K/T para a maioria das culturas é de 5%, ou seja, 5% das cargas da CTC a pH 7 do solo estão ocupadas por K. Verifica-se neste trabalho, que em ambos os arranjos de plantio, após a aplicação de ARS, para todas as doses aplicadas, essa relação está acima do nível recomendado, como na dose de 600 m³ ha⁻¹, no plantio em linhas duplas, encontrou uma relação K/T de 17,12%, mostrando que os teores de K estão elevados no solo, podendo impedir ou inibir a retenção de cátions como Ca e Mg. No plantio em linhas duplas, observou-se uma maior relação K/T que no plantio em linhas simples, devido a maior concentração desse nutriente na linha dupla, como explicado anteriormente.

Houve diferença entre as doses de ARS e o tipo de plantio de citriodora para os teores de sódio (Na) no solo (Tabela 4 e Figura 3).

Figura 3: Teor de Na no solo (mg dm^{-3}), no plantio realizado em linhas simples (A) e em linhas duplas (B) de citriodora, em função das doses de ARS.



Verificou-se um aumento na concentração de Na no solo nos plantios em linhas simples e duplas, à medida que se aumentaram as doses de ARS. Em geral, as concentrações de Na são elevadas após a aplicação de ARS, principalmente nas camadas superficiais. Altas concentrações de Na na solução do solo, em comparação com as de Ca e de Mg, podem causar deterioração da estrutura do solo pela dispersão dos coloides e com isso, causar o entupimento dos macroporos, causando uma redução da infiltração de água e dos gases (HOMEM et al., 2014).

Outro problema decorrente da aplicação de ARS é a capacidade de ocasionar salinização do solo, devido a presença de Na (OLIVEIRA et al, 2000). Os impactos causados nas propriedades do solo pelo Na vão depender muito da quantidade e da frequência em que se aplica ARS. Esse nutriente, por ser monovalente e ter grande raio hidratado, tem baixa afinidade pelas cargas negativas do solo. Dessa forma, o Na presente na solução do solo pode ser lixiviado rapidamente para as camadas subsuperficiais, desde que haja fluxo descendente de água, podendo causar a salinização do solo (ALMEIDA et al., 2008).

Na maior dose aplicada de ARS, $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para ambos os tipos de plantio do citriodora, houve um decréscimo nos teores de Na no solo. A causa para essa queda pode ter sido ocasionada pela lixiviação desse cátion para camadas mais profundas devido ao alto volume de líquido aplicado.

Quando comparado o teor de Na no solo, entre as duas formas de plantio, as linhas duplas apresentaram maiores concentrações desse nutriente. O fato de encontrar maior teor de Na no

plantio em linhas duplas em relação as linhas simples, pode estar relacionado a maior vegetação de *Urochloa decumbens*, retendo mais a ARS, aumentando a absorção pelo solo.

O Na está presente em grandes quantidades na ARS, pois o NaCl (Cloreto de sódio) é adicionado nas rações como palatilizante, e consequentemente é eliminado nos dejetos. A aplicação de ARS no solo pode causar a salinização do solo, interferindo na condutividade elétrica, relação de absorção de nutrientes pelas plantas e pode contribuir para a dispersão da argila, podendo ocasionar uma impermeabilização do solo (MEURER et al., 2012). Nas plantas, o Na em excesso prejudica o comportamento germinativo, vegetativo e produtivo pela ação direta sobre o potencial osmótico e íons potencialmente tóxicos (GONÇALVES et al., 2011).

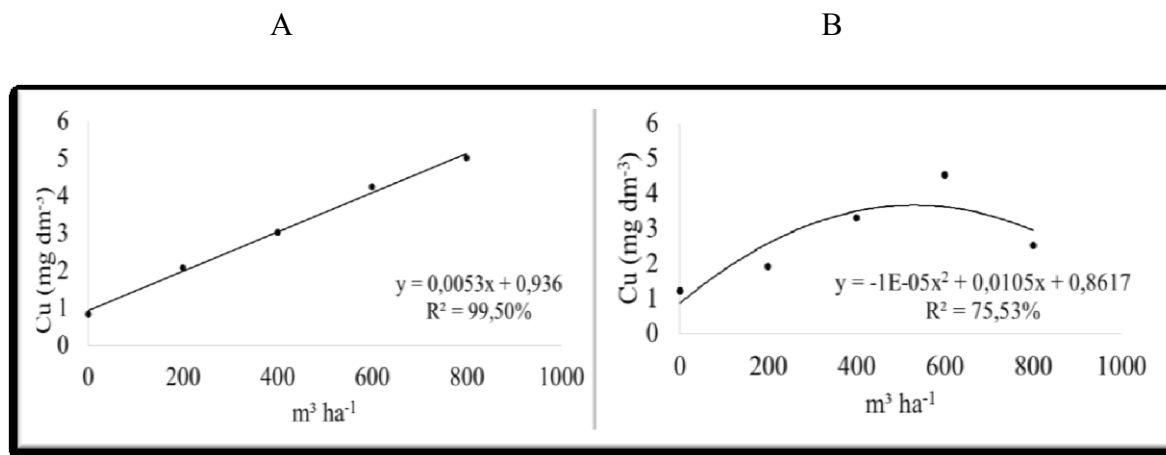
Os teores de Cu no solo diferiram apenas para as doses de ARS, onde foram aplicados os testes de regressão (Tabela 5 e Figura 4).

Tabela 5. Média dos teores de Cu e Zn do solo, sob dois arranjos de plantio de citriodora, linhas simples e linhas duplas, com aplicação de cinco diferentes doses de ARS.

Dose m³ ha⁻¹	LS	LD	LS	LD
	Cu		Zn	
	mg dm⁻³			
0	0,84	1,22	1,76	1,94
200	2,08	1,92	2,10	2,58
400	3,02	3,30	2,94	3,72
600	4,24	4,52	3,80	4,48
800	5,02	2,52	2,02	4,34
Médias	3,04 ^{ns}	2,70 ^{ns}	2,52 a	3,41 b
CV (%)	49,24		48,37	

(*) Valores seguidos por letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05). Letras minúsculas refere-se a comparação entre os arranjos de plantios linhas simples (LS) e linhas duplas (LD). ns: não significativo (P > 0,05).

Figura 4: Teor de Cu no solo (mg dm^{-3}), no plantio realizado em linhas simples (A) e em linhas duplas (B) de citriodora, em função das doses de ARS.



Observa-se que para o plantio em linha dupla, a maior concentração de Cu foi de $3,62 \text{ mg dm}^{-3}$, na dose de $525 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Esse valor, segundo CFSEMG (1999), está bem acima do valor considerado alto, que é $1,8 \text{ mg dm}^{-3}$. O Cu está presente nas rações, e aproximadamente 70 a 95% é excretado, sem ser digerido pelo animal (PERDOMO; CAZZARÉ, 2001). Vários trabalhos relatam o aumento de Cu no solo após a aplicação de ARS, principalmente nas camadas superficiais, sendo um indicativo para mostrar a qualidade do solo em que se aplicam ARS.

Silva & Mendonça (2007) afirmaram que dentre os metais pesados, o Cu é um dos menos móveis no solo devido sua forte adsorção nos coloides orgânicos e inorgânicos. Girotto (2007), após sete anos de aplicação de ARS, observou aumento dos teores de Cu e Zn no solo e movimentação desses em seu perfil.

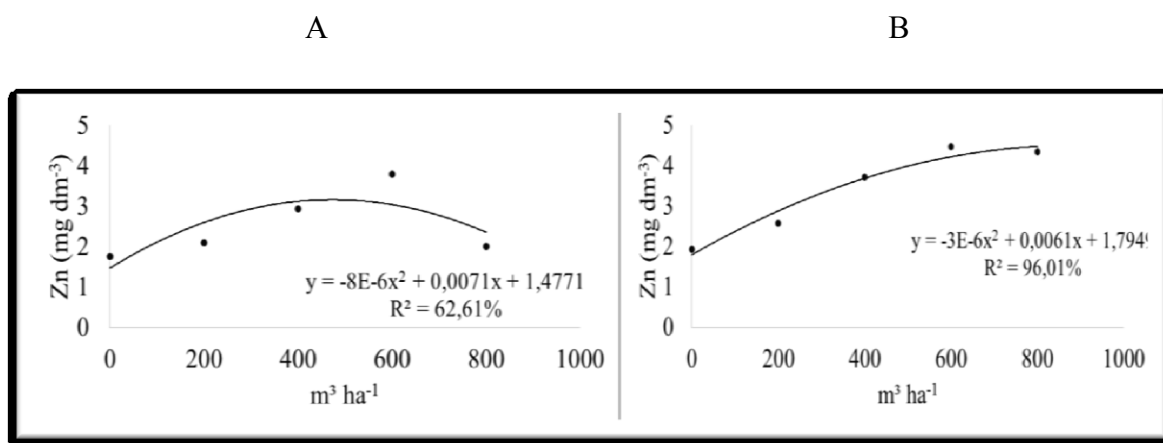
Quando se aplicou a maior dose de ARS, observou-se que houve uma queda na concentração de Cu no solo. O mesmo comportamento não foi observado no teor de Cu no plantio em linhas duplas. Acredita-se que a pastagem entre as linhas duplas de citriodora foi capaz de reter mais ARS.

Para o plantio em linha simples de citriodora, observou-se que o aumento de Cu ocorreu de forma linear, sendo que na medida em que aumentaram as doses de ARS, aumentou sua concentração no solo. Prior et al., (2015), aplicando cinco doses de ARS (0; 112,5; 225; 337,5 e $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na cultura milho, constataram aumento na concentração de Cu no solo, à medida em que se aumentaram as doses.

O cobre é um elemento essencial para as plantas, pois participa do metabolismo de carboidratos, do nitrogênio, da síntese de lignina e de clorofila (MARSCHNER, 1995; FILHO, 2005). Porém, esse nutrientes em quantidades elevadas, pode se tornar tóxico para as plantas. Entretanto, a maioria das plantas manifesta sintomas de toxidez como necrose e redução no crescimento do sistema radicular (SOARES et al., 2000), necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento aéreo da planta.

Não houve interação entre as doses de ARS com o tipo de plantio para o teor de Zn no solo, havendo apenas diferenças significativas para as doses e para linhas (Tabela 5 e Figura 5).

Figura 5: Teor de Zn no solo (mg dm^{-3}), no plantio realizado em linhas simples (A) e em linhas duplas (B) de citriodora, em função das doses de ARS.



Com o aumento das doses de ARS na linha simples e dupla, houve um aumento no teor de Zn. Os teores observados na tabela 8, para as linhas simples e duplas, na ausência de ARS, foram classificados como bom ($1,6 - 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$). Após a aplicação de ARS, os teores foram classificados bom ($1,6$ a $2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) a alto ($> 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) (CFSEMG, 1999). Assim como o Cu, o Zn também está presente na ração dos suínos, e 70 a 95% também é excretado pelas fezes e urina. Este nutriente é considerado um metal pesado, e seu acúmulo no solo pode causar toxidez para as plantas. Vários trabalhos já evidenciaram o aumento de Zn pela aplicação de ARS. Com a aplicação de ARS, verificou que os teores passaram de bom para muito alto, segundo a classificação de CFSEMG (1999). Isso comprova a capacidade da ARS em aumentar os níveis de Zn no solo.

Smanhotto et al., (2010), avaliando quatro doses de ARS (0; 100; 200 e 300 m³ ha⁻¹), verificaram aumento no teor de Zn com o aumento da dosagem, onde na maior dose aplicada houve o maior acúmulo de Zn. Comportamento semelhante foi observado por Bertol (2005) que, com a aplicação de 60 m³ ha⁻¹ de ARS, verificou concentração de zinco 26 vezes maior em relação à parcela-testemunha e à adubação mineral. Freitas et al., (2005) também verificaram incrementos na concentração de zinco no solo com a aplicação de ARS.

Em ambos os plantios, na dose de 800 m³ ha⁻¹, verificou redução nos teores de Zn. Acredita-se que o alto volume de líquido aplicado interferiu diretamente para esses resultados. A concentração nas linhas duplas foi maior com relação a linha simples para o teor de Zn.

O Zn é um micronutriente essencial para as plantas por ser um componente estrutural de muitas proteínas, além de ser particularmente indispensável para seu crescimento (LI et al., 2002). A deficiência de Zn pode reduzir a produtividade de grãos e debilitar a resistência a doenças, diminuir a qualidade nutricional, causar a redução drástica da síntese proteica, causar redução no crescimento, folhas pequenas e mal conformadas e clorose internerval, devido a participação do Zn na formação de clorofila (MARENCO; LOPES 2009; BROADLEY et al., 2007). Em altas concentrações, esse metal é potencialmente tóxico (LI et al., 2002). A toxidez do Zn em plantas acarreta na diminuição tanto da produção de matéria seca da parte aérea, quanto da biomassa radicular; necrose da radícula ao entrar em contato com o solo, morte da plântula e inibição do crescimento vegetal (CARNEIRO et al., 2002; LI et al., 2011).

O arranjo de plantio interferiu significativamente no teor de matéria orgânica, porém nem o dose de ARS, ou a interação desses promoveu diferenças significativas a matéria orgânica (Tabela 6).

Tabela 6. Média dos teores de matéria orgânica e carbono orgânico no solo, no plantio de citriodora, realizado em linhas simples e duplas, em função das doses de ARS.

Dose	LS	LD	LS	LD
	MO		CO	
m ³ ha ⁻¹	dag kg ⁻¹			
0	3,40	2,30	2,01	1,33
200	3,54	2,14	2,05	1,24
400	3,38	2,46	1,96	1,43
600	3,70	2,46	2,14	1,43
800	3,12	2,24	1,81	1,30
Médias	3,44 a	2,32 b	1,99 a	1,34 b
CV (%)	13,60		13,64	

(*) Valores seguidos por letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas refere-se a comparação entre os arranjos de plantios linhas simples (LS) e linhas duplas (LD).

As diferentes doses não aumentaram o teor de matéria orgânica do solo (Tabela 6), diversos fatores podem ter contribuído para este resultado destacando-se o baixo teor de MO encontrado na ARS. Na ausência de ARS, o solo já possuía teores considerados médios de MO, segundo CFSEMG (1999), o que torna mais difícil sua elevação. Em solos degradados, a aplicação de ARS promove um incremento nos teores de MO que pode ser observado mais rapidamente. Scherer et al., (2010) realizaram estudos nos quais a aplicação de ARS também não aumentaram os teores de MO do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Caovilla et al., (2010), que não encontraram aumento no teor de MO com a aplicação de ARS. Segundo Cunha (2009), o incremento de MO deve-se mais ao aumento de deposição no solo de massa seca, parte aérea e de raízes dos cultivos, do que ao próprio teor de MO da ARS.

Assmann et al., (2006) não observaram aumento no teor de MO com a aplicação de ARS. De acordo com os autores, devem ser consideradas características intrínsecas do esterco utilizado, em que a qualidade dos compostos orgânicos pode determinar maior ou menor acúmulo de MO no solo, uma vez que dependendo do tratamento utilizado, tem-se redução da concentração de MO.

Provavelmente, antes da instalação do experimento, a MO se encontrava em equilíbrio, e após a aplicação de ARS, aumentou a microbiota do solo, causando um desequilíbrio, não elevando os teores no solo.

O menor teor de MO no solo, no plantio em linha dupla, pode ter ocorrido devido as características inerentes ao solo, pelo maior aporte de restos culturais da vegetação e sistema radicular do citriodora e da pastagem *Urochloa*, podem ter causado um desequilíbrio, reduzindo seu valor.

4. CONCLUSÕES

O plantio realizado em linha dupla proporciona maiores teores de nutrientes no solo, sob aplicação de ARS.

A água residuária de suinocultura aumentou os teores de potássio, sódio e metais pesados, como o cobre e o zinco no solo.

A dose de 200 m³ ha⁻¹ de água residuária de suinocultura proporciona níveis adequados para a k, Na, Cu e Zn.

5. Referências

ALMEIDA, H. C.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; JUNIOR, J. M.; ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1775-1784, 2008

ASSMANN, A. P.; SANTOS, I.; ASSMANN, J. M.; BRAIDA, J. A.; MALAGI, G. Efeito de doses crescentes de esterco líquido de suínos na intensidade de antracnose e produtividade de soja. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v.1, n.1-4, p.1- 778, 2006.

BERTOL, O.J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água perolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. 2005. 209 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BROADLEY, M.R.; WHITE, P.J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc inplants. **New Phytologist**, v. 4, n. 173, p. 677-702, 2007

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L. H. P.; QUEIROZ, M. M. F.; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.7, p.692–697, 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, 2002

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., Editores. – Viçosa, MG, 1999. 359p.

CUNHA, J. L. **Impacto ambiental em sistema de pastagem sob aplicações de esterco líquido de suínos**. 2009. 91 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília. Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para o Windows versão 4.0**. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional biometria, 45.000, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FILHO, H. G. Cobre na planta. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS. **Departamento de Recursos Naturais**. Ciência do Solo, 2005.

FREITAS, W.S.; OLIVEIRA, R.A.; CECON, P.R.; PINTO, F.A.; GALVÃO, J.C.C.Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura em solo cultivado com milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.2, p.95-102, 2005.

GIROTTTO, E. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 11.ed. São Paulo: Nobel, 1985. 466p.

GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, M. A.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 42, p. 589-596, 2011.

HOMEM, B. G. C.; NETO, O. B. A.; CONDE, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I.M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas

e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014.

LI X.; CHEN, B.; FENG, G.; CHRISTIE, P. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. In: 17th **WCSS**, Thailand, 2002.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Universidade Federal de Viçosa, 2009. p.267- 297.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MEURER, E. J.; BISSANI, C.A.; CARMONA, F.C. **Solos ácidos e solos afetados por sais**. In: MEURER, E.J. (ED.) Fundamentos de química do solo. 5 ed. Porto Alegre:EVANGRAF, 2012.

OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P. L. G.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.;CECON, P. R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.263-267, 2000.

PERDOMO, C.C.; CAZZARÉ, M. Sistema Dalquim de tratamento de resíduos animais.**Comunicado Técnico, 284**. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA, 2001.

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; DIETER, J.; COSTA, M. S. S. M. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.744-755, 2015.

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

SIGMA PLOT. Sigma Plot Instrumentation Framework. 2015.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S.;GRAZZIOTTI, P. E. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e

Eucalyptus urophylla em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 213-225, 2000.

SMANHOTTO, A.; SOUSA, 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.