

## Atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigado com água residuária da suinocultura

*Chemical attributes of the soil cultivated with sugar cane fertirrigated with  
swine farming wastewater*

Dione Henrique Breda Binoti<sup>1</sup>, Giovanni de Oliveira Garcia<sup>2</sup>, Karen Andreon Viçosi<sup>3</sup>,  
Leandro Pin Dalvi<sup>4</sup>

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar as possíveis alterações nos atributos químicos do solo, decorrentes da utilização de diferentes taxas anuais da água residuária da suinocultura (ARS) em duas safras na cana-de-açúcar (2020/2021 e 2021/2022). Os tratamentos constituíram na aplicação de seis doses de potássio advindo da ARS, sendo 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e uma adubação química correspondente a 120 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Foram coletadas amostras de solo na faixa de até 20 cm em intervalos de seis meses. A fertirrigação contínua com ARS na cultura da cana, durante dois anos, promove redução do pH e saturação de bases no solo, ao mesmo tempo que aumenta os teores de K, P, Ca, Mg, H+Al e CTC efetiva e potencial. O aumento da dose de ARS, em função do teor de K do resíduo, resulta em melhoria da fertilidade do solo. A fertirrigação com água residuária de suinocultura na cultura da cana-de-açúcar promove melhoria dos teores de Ca, Mg, t e T em relação a adubação mineral.

**Palavras-chave:** Dejetos; Fertilidade; Fertirrigação; Potássio.

**ABSTRACT:** The objective of the study was to evaluate the potential changes in soil chemical attributes resulting from the use of different annual rates of swine wastewater (SW) in two sugarcane harvests (2020/2021 and 2021/2022). The treatments consisted of applying six doses of potassium derived from ARS, ranging from 40 to 240 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, along with a corresponding chemical fertilization of 120 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Soil samples were collected at depths of up to 20 cm at six-month intervals. Continuous fertigation with swine wastewater (ARS) in sugarcane cultivation over two years leads to a reduction in soil pH and base saturation, while simultaneously increasing potassium (K), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), exchangeable aluminum (H+Al), and effective and potential cation exchange capacity (CTC). The increase in ARS dose, based on the potassium content of the residue, results in improved soil fertility. Fertigation with swine wastewater in sugarcane cultivation enhances calcium (Ca), magnesium (Mg), total nitrogen (t), and total phosphorus (T) levels compared to mineral fertilization.

**Keywords:** Fertility; Fertirrigation; Manure; Potassium.

**Autor correspondente:** Leandro Pin Dalvi

E-mail: leandropin@yahoo.com.br

Recebido em: 24/06/2023

Aceito em: 07/05/2024

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2022, com um rebanho com 2,067 milhões de matrizes, o Brasil produziu aproximadamente 4,9 milhões de toneladas de carne suína (ABPA, 2023). Como a maior

<sup>1</sup> Doutorando em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Campus de Alegre.

<sup>3</sup> Doutoranda em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

<sup>4</sup> Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa. Professor adjunto do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Campus de Alegre.

parte da criação comercial de suínos é realizada em sistemas confinados, são utilizados consideráveis volumes de água para limpeza e higienização dos diferentes espaços que abrigam os animais, gerando efluentes líquidos os quais são chamados de água residuária da suinocultura (Boitt *et al.*, 2018).

Apesar de apresentar elevado potencial poluidor, a água residuária da suinocultura (ARS) apresenta em sua composição nutrientes importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além da água, a incorporação dos nutrientes no sistema solo-planta pode contribuir de forma positiva com a preservação ambiental por meio do reaproveitamento seguro deste efluente em cultivos agrícolas. Assim como para outros tipos de efluentes, a disposição no solo da água residuária da suinocultura, visando o aproveitamento da água, nutrientes e incorporação de matéria orgânica em culturas anuais ou perenes, pode contribuir com a sustentabilidade dos cultivos, principalmente em regiões onde o déficit hídrico é fator limitante da produção (Garcia *et al.*, 2021).

Dentre os benefícios do uso agrícola da água residuária da suinocultura, pode-se destacar o aumento da fertilidade de solo e, conseqüentemente, o aumento das produtividades de culturas agrícolas. Foi observado a melhoria dos atributos químicos do solo, como aumento da soma das bases e da capacidade de troca catiônica (Lima *et al.*, 2019), nas quantidades totais de carbono e nitrogênio (Boitt *et al.*, 2018) e nos teores de fósforo e potássio do solo (Scheid *et al.*, 2020). Além disso, resultados positivos da aplicação deste efluente foram observados nas culturas do milho (Prior *et al.*, 2015); aveia (Mondardo *et al.*, 2011); soja (Rosa *et al.*, 2017); cana-de-açúcar (Menezes *et al.*, 2017) e forrageiras (Silva *et al.*, 2019; Garcia *et al.*, 2021). Assim, a utilização correta da água residuária da suinocultura em cultivos agrícolas pode ser uma boa alternativa como disposição final desses resíduos, proporcionando melhorias na fertilidade do solo refletindo no ganho de produtividade da cultura (Binoti *et al.*, 2022).

Entretanto, mesmo com respostas positivas ao promover o uso da água residuária da suinocultura em uma determinada cultura, torna-se necessário conhecer a dinâmica dos nutrientes na solução do solo fertirrigado com dejetos de animais. A compreensão pontual dos efeitos no solo e resposta da cultura contribuirão para prevenir os riscos de uma possível contaminação das águas superficiais e subterrâneas, reduzir os custos de produção e manejar corretamente as adubações (Grohskopf *et al.*, 2016).

Diante do exposto objetivou-se, com o desenvolvimento do presente trabalho, avaliar as possíveis alterações nos atributos químicos do solo decorrentes da utilização de diferentes taxas anuais da água residuária da suinocultura, em duas safras na cana-de-açúcar.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O estudo foi desenvolvido durante as safras agrícolas de 2020/2021 e 2021/2022 na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, no município de Alegre - ES. O clima da região onde está inserida a Fazenda experimental, segundo a classificação de Köppen (1928), é do tipo Aw,

com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso, tendo umidade relativa e temperatura média anual em torno de 55% e 23 °C, respectivamente, e precipitação média de 1.200 mm anuais.

## 2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi elaborado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, tendo sete tratamentos com cinco repetições. Os tratamentos constituíram na aplicação de seis doses de potássio advindo da água residuária da suinocultura sendo 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e uma adubação química correspondente a 120 kg ha<sup>-1</sup>.

A dose de potássio correspondente a adubação química foi determinada com base no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (Prezotti *et al.*, 2007), para atender uma produtividade superior a 80 t ha<sup>-1</sup>. As doses de potássio decorrentes da água residuária da suinocultura foram convertidas em volume os quais foram parcelados em iguais volumes e aplicado a cada 60 dias após a implantação do experimento.

O estudo foi composto por 35 unidades experimentais, com dimensões de 7,0 x 9,0 m. Cada unidade foi constituída de cinco fileiras de cana (plantadas em fileira simples) com 15 a 18 gemas por metro linear e espaçamento de 1,40 m entre linhas. A área total do experimento foi de 2.205 m<sup>2</sup>. A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a RB86-7515 de maturação média-tardia e colheita nos meses de julho a outubro.

Antes do preparo do solo para receber o experimento, visando determinar a necessidade de calagem e os níveis médios dos nutrientes no solo, foram retiradas amostras simples das quais resultou em uma amostra composta que foi enviada ao laboratório para caracterização química.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 1, verificou-se a necessidade de realizar a calagem e seguindo a recomendação proposta por Prezotti *et al.* (2007) elevou a saturação de bases a 60%. Por meio dos valores de fósforo e potássio, seguindo a recomendação proposta por Prezotti *et al.* (2007), foi realizada adubação química de plantio, onde foram aplicados 60 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio por cobertura.

**Tabela 1.** Análise de solo do local do experimento antes da realização da calagem

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
H <sub>2</sub> O	-mg/dm <sup>3</sup> -										
5,55	9,1	44,0	2,44	0,88	0,00	3,32	3,47	3,47	6,79	51,13	0,0

pH – potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K – potássio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, H + Al – acidez potencial, SB – soma de bases, t – capacidade de troca de cátions efetiva, T – capacidade de troca de cátions potencial, V – saturação de bases, m – saturação de alumínio.

Em todas as unidades experimentais, foi realizada calagem, adubação fosfatada no plantio e nitrogenada em cobertura. O tratamento correspondente a adubação química foi realizada a adubação potássica de 120 kg ha<sup>-1</sup> na ocasião do plantio, nos demais tratamentos o fornecimento do potássio foi feito por meio da aplicação da ARS.

A água residuária da suinocultura utilizada no experimento foi coletada na Unidade de Criação de Suínos existente na Fazenda Experimental. Por meio de um conjunto moto-bomba instalado em uma lagoa de estabilização, o efluente foi bombeado e distribuído manualmente nas unidades experimentais. Com o auxílio de um hidrômetro na extremidade final de uma mangueira, foi quantificado o volume necessário a ser aplicado visando atender a dose de potássio correspondente a cada tratamento. A composição média da água residuária da suinocultura está descrita na Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição da água residuária de suinocultura utilizada no experimento

CE	pH	Fe	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	K	Bo	Mn	Na	Ca	Mg	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
dS/m	-	-----mg/L-----				-----meq/L-----					
3,65	7,8	0,63	22,48	262,0	0,67	0,2	3,36	4,44	3,48	1,6	1,34

CE: Condutividade elétrica, pH: potencial hidrogeniônico, Fe: ferro, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> : fosfato, K: potássio, Bo: boro, Mn: manganês, Na: sódio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, CO<sub>3</sub><sup>-</sup> : carbonato, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> : sulfato.

### 2.3 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

A investigação das possíveis alterações nos atributos químicos do solo foi realizada por meio de cinco coletas de amostras de solo coletadas na faixa de até 20 centímetros de profundidade em cada parcela experimental em intervalos de seis meses. As amostras de solo foram retiradas em uma área útil central de 29,4 m<sup>2</sup> composta pelas três fileiras centrais, excluindo-se um metro nas extremidades. Após retiradas, as amostras de solo foram encaminhadas ao laboratório e, seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2009), foram determinados o pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, capacidade de troca de cátions efetiva e potencial e saturação de bases.

Seguindo o delineamento experimental adotado, os atributos químicos do solo obtidos em cada unidade experimental foram analisados estatisticamente seguindo a metodologia apresentada por Ferreira (2018), onde foi realizada análise de variância, regressão e teste de média a 5% de significância.

Adotando “P” como os períodos de avaliação e “D” como as doses de potássio aplicadas por meio da água residuária da suinocultura, optou-se por analisar a resposta de cada atributo químico do solo considerando apenas os tratamentos onde foram utilizadas a água residuária da suinocultura. Visando comparar os resultados obtidos no tratamento com adubação química em relação a aplicação da água residuária da suinocultura, foi realizado um contraste de médias entre as duas formas de fornecimento de potássio a cultura em estudo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verifica-se na Tabela 3 que a aplicação de água residuária da suinocultura associada aos períodos de avaliação não promoveu possíveis alterações nos atributos do solo avaliados. Por sua vez, de forma isolada, os fatores correspondentes ao uso do

efluente e períodos de avaliação acarretaram alterações em todos os atributos químicos do solo cultivado com a cana de açúcar.

**Tabela 3.** Resultado da análise de variância correspondentes aos atributos químicos do solo obtidos ao longo de duas safras de cana de açúcar cultivada associada a diferentes doses de potássio advindos da água residuária da suinocultura

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio								
		pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	t	T	V
<b>P</b>	4	5,25*	349,69*	1965,69*	0,10*	0,17*	17,17*	0,68*	15,68*	1712,7*
<b>D</b>	5	1,11*	151,55 <sup>ns</sup>	3337,83*	1,20*	0,21*	1,27*	1,95*	0,30 <sup>ns</sup>	456,85*
<b>Interação (P x D)</b>	20	0,07 <sup>ns</sup>	57,23 <sup>ns</sup>	267,90 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	134,92 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	120	0,16	122,01	451,13	0,21	0,02	0,46	0,29	0,369	97,538
<b>CV%</b>	-	7,07	82,47	38,824	19,62	21,44	30,16	16,82	11,133	16,512

pH – potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K – potássio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, H + Al – acidez potencial, t – capacidade de troca de cátions efetiva, T – capacidade de troca de cátions potencial, V – saturação de bases, \* – Significativo a 5% de probabilidade, ns – Não Significativo.

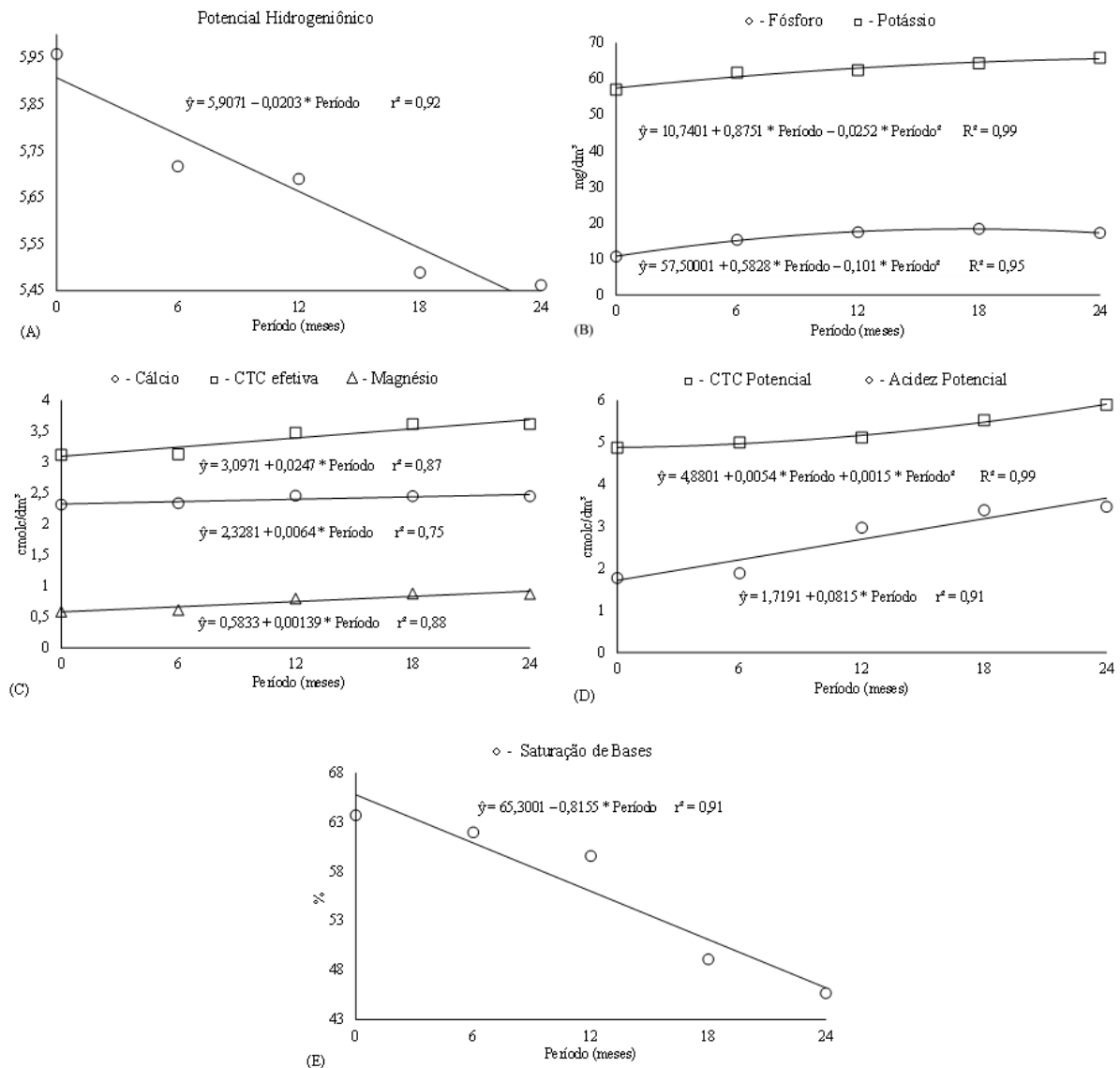
Verifica-se na Figura 1 que no decorrer de dois anos de cultivo, o pH (Figura 1A) e a saturação por bases (Figura 1E) reduziram linearmente seus valores. Por sua vez, foi verificada uma resposta quadrática positiva para os teores de potássio, fósforo e capacidade de troca de cátions a pH 7,0, assim como o aumento linear dos teores de cálcio, magnésio, a capacidade de troca de cátions efetiva e acidez potencial.

Com exceção à saturação por bases, nota-se que não ocorre respostas expressivas dos demais atributos no decorrer de dois anos de cultivo da cana de açúcar. Isso pode ser explicado pelo fato da cana-de-açúcar, em especial a cultivar estudada RB86-7515, ser exigente em nutrientes, extraíndo por ciclo cerca de 237,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 18,6 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 264,2 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, além de 237,6 e 90,0 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio e magnésio, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2011). Devido à alta demanda por nutrientes pela cultura, a adição de nutrientes ao solo pela água residuária de suinocultura se mostrou pequena nos dois primeiros anos de cultivo, porém, com tendência de aumento a longo prazo.

O pH do solo apresentou regressão linear decrescente ao longo dos meses, com o menor valor ao final do período analisado (Figura 1A). Fato corroborado por Silva *et al.* (2019) e Rosa *et al.* (2017). De acordo com Rosa *et al.* (2022), a acidificação do solo é consequência do aumento da concentração de Al<sup>3+</sup> e dos altos teores de matéria orgânica nitrogenada contida do dejetos, sendo que a decomposição e mineralização da matéria orgânica produz hidrogênio e ácidos orgânicos, o que causa redução do pH.

O teor de fósforo e potássio do solo apresentaram comportamento quadrático, com o máximo de cada variável, após 17 e 28 meses, respectivamente, de acordo com a Figura 1B. Boitt *et al.* (2022) observaram que a aplicação de dejetos de suínos a longo prazo aumentou o teor de fósforo no solo e levou a um movimento descendente do nutriente até a camada de solo de 0–50 cm, enquanto Boitt *et al.* (2018) concluíram que a aplicação, a longo prazo (15 anos), de dejetos de suínos no solo resultou em acúmulos de fósforo proporcionais à sua taxa de aplicação. Silva *et al.* (2019) também observaram redução do pH do solo ao longo dos anos, com aumento do teor de fósforo e potássio no solo.

Entretanto, o estudo de Magalhães e Weber (2022), em área com três anos de aplicação de dejetos suínos, apresentou a menor concentração de fósforo disponível, o que pode estar relacionado à redução do valor do pH, que interfere no número de cargas positivas e aumenta a adsorção de fósforo por oxihidróxidos de ferro e alumínio.



**Figura 1.** Níveis de potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, capacidade de troca de cátions efetiva, capacidade de troca de cátions potencial e saturação de bases do solo, em função do tempo de aplicação de ARS.

De acordo com Chikuvire, Muchaonyerwa e Zengeni (2019), a utilização de água residuária de suinocultura por 10 e 20 anos proporcionou maiores concentrações de fósforo, potássio, cobre e zinco. O uso de água residuária de suinocultura por 8 e 15 anos promoveu aumento no teor de potássio no solo em relação a áreas com três anos de aplicação (Scheid *et al.*, 2020), entretanto, os autores afirmam que o excesso de potássio no solo pode se tornar um problema devido ao desequilíbrio nas relações com outros cátions no complexo de troca, como cálcio e magnésio.

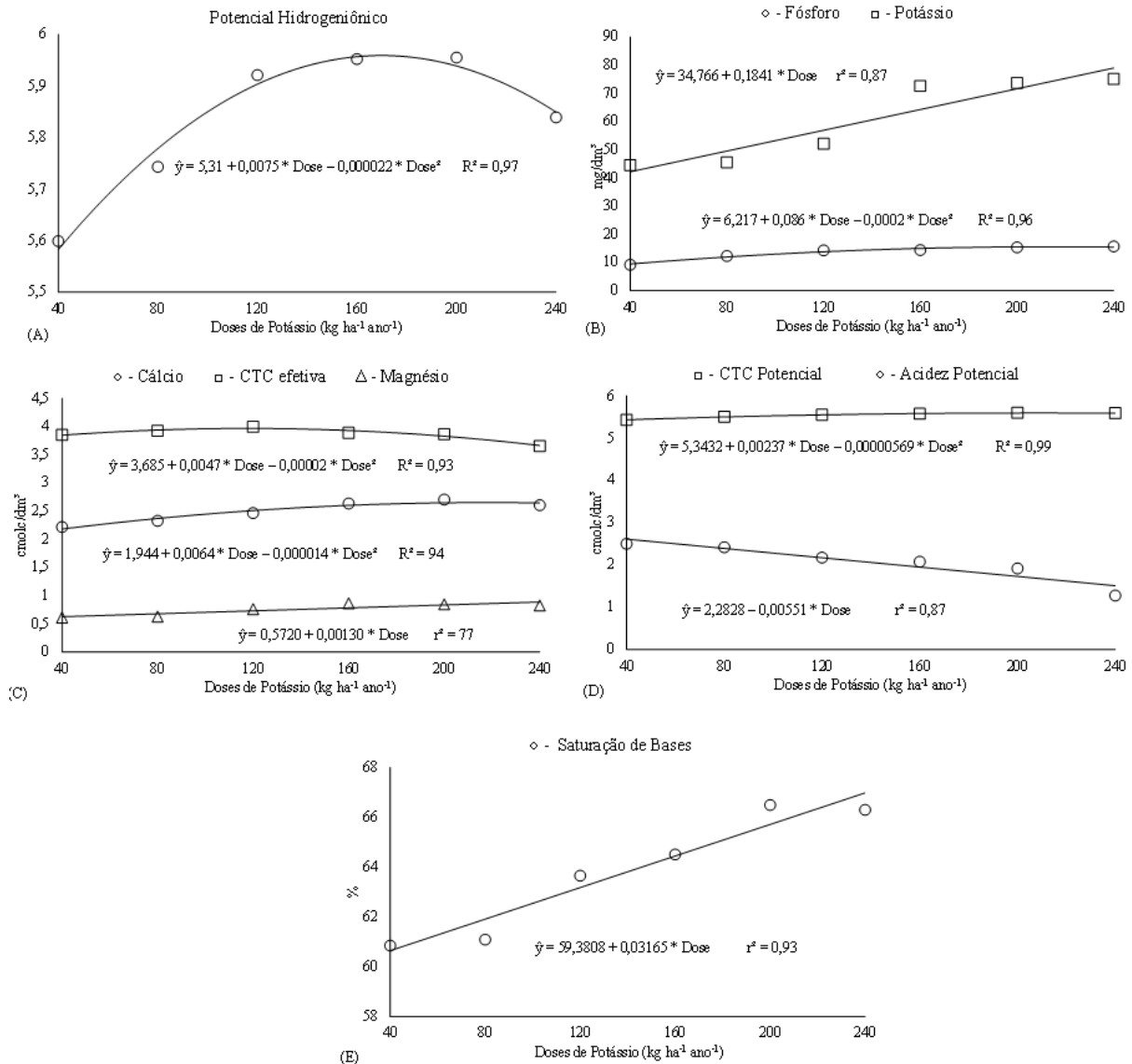
Em relação ao cálcio e magnésio (Figura 1C), ambos apresentaram ajuste de primeiro grau, com aumento dos teores dos nutrientes no solo ao longo do tempo de aplicação, mesmo o aumento para o cálcio não sendo significativo. Dal Bosco *et al.* (2008) observaram que a aplicação de água residuária de suinocultura aumentou a concentração de cálcio, magnésio e fósforo no solo, na camada de 0-30 cm, ao longo de oito anos de aplicação.

O valor da acidez potencial (Figura 1D), assim como a CTC efetiva (Figura 1C), aumentaram linearmente com o tempo, mesmo a CTC efetiva não apresentando diferença estatística entre o período de aplicação. Para a CTC potencial, houve ajuste quadrático de regressão, enquanto a saturação por bases reduziu linearmente (Figura 1D e 1E). De acordo com resultados de Silva *et al.* (2019), comparando dois e quatorze anos de aplicação do resíduo, houve aumento do teor da acidez trocável. Queiroz *et al.* (2004), observaram que o solo que recebeu água residuária de suinocultura, durante quatro anos, teve a CTC efetiva aumentada e redução na saturação de bases. Também Silva *et al.* (2019) constataram que a aplicação de água residuária de suinocultura diminuiu a saturação de bases do solo.

A Figura 2 representa os atributos de fertilidade do solo em função da dose de água residuária de suinocultura aplicada. É possível observar que o pH, assim como o fósforo, apresentaram comportamento quadrático, com o máximo estimado na dose de 170 e 215 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 2A e 2B), mesmo o fósforo não apresentando diferença estatística entre as doses aplicadas.

Resultados divergentes foram encontrados na literatura em relação à influência da fertirrigação com água residuária de suinocultura sobre o valor do pH do solo. De acordo com dados de Lourenzi *et al.* (2014), houve aumento do valor de pH com o aumento da taxa de aplicação de água residuária de suinocultura. Entretanto, Rosa *et al.* (2022) observaram reduções significativas nos valores de pH do solo com a aplicação de chorume de até 1,6 unidades em relação à testemunha e aos tratamentos químicos, assim como Cabral *et al.* (2011). Já Lima *et al.* (2019) não observaram efeito da dose aplicada de água residuária de suinocultura sobre o pH do solo.

Segundo Broetto *et al.* (2014), maiores taxas de aplicação de água residuária de suinocultura (300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) promoveram maior acúmulo de fósforo no solo, em comparação a doses menores (80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Grohskopf *et al.* (2016) observaram aumento do teor de fósforo na dose anual de 100 kg de dejetos ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Já Boitt *et al.* (2022) e Cabral *et al.* (2011) observaram que o fósforo total do solo aumentou proporcionalmente ao aumento das doses aplicadas.



**Figura 2.** Níveis de potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, capacidade de troca de cátions efetiva, capacidade de troca de cátions potencial e saturação de bases do solo, em função da taxa de aplicação de água residuária de suinocultura.

O potássio (Figura 2B) apresentou aumento linear do seu teor no solo em função da dose de água residuária de suinocultura, assim como o magnésio (Figura 2C). O cálcio obteve seu valor máximo quando a curva atingiu  $228 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Figura 2C). Neto *et al.* (2017) observaram comportamento linear crescente para potássio com aumento da dose de água residuária de suinocultura aplicada, na profundidade de 0 – 0,10 m. Para Rosa *et al.* (2019), o aumento do teor de potássio no solo com o aumento das doses de água residuária de suinocultura é devido ao alto valor do nutriente em sua composição, o que reflete em maior disponibilidade para a planta. Cabral *et al.* (2011) notaram um aumento linear nos teores de magnésio com o aumento das doses de água residuária de suinocultura aplicadas. Lima *et al.* (2019) observaram, para os teores trocáveis de cálcio e magnésio no solo, uma resposta linear crescente com a aplicação da água residuária de suinocultura. Para Tian *et al.* (2022), a irrigação com águas residuais pode melhorar significativamente os teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio do solo.



O aumento da fertilidade devido ao uso da fertirrigação com água residuária de suinocultura pode ser atribuída aos teores de nutrientes adicionados ao solo pelo resíduo serem maiores do que as extraídas pelas lavouras (Balota *et al.*, 2014; Chikuvire; Muchaonyerwa; Zengeni, 2019; Lima *et al.*, 2019).

Os valores de acidez potencial reduziram linearmente com o aumento da dose de água residuária de suinocultura aplicada no solo, conforme Figura 2D. A CTC efetiva e CTC potencial apresentaram comportamento quadrático, com o máximo nas doses de 119 e 208 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2C e 2D) mesmo a CTC potencial não apresentando diferença estatística entre as doses aplicadas. A saturação por bases aumentou linearmente com a aplicação de água residuária de suinocultura (Figura 2E). De acordo com Lima *et al.* (2019), a soma de bases, que representa a soma dos teores trocáveis dos cátions cálcio, magnésio, potássio e sódio, exceto hidrogênio e alumínio, aumentou linearmente devido ao aumento das doses de água residuária de suinocultura, o que refletiu no aumento da CTC efetiva e potencial.

Lourenzi *et al.* (2014), ao estudarem o acúmulo de nutrientes no solo com aplicação de dejetos ao longo de 93 meses, concluíram que a utilização de maiores doses acarretou em aumento da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, cobre, zinco, CTC efetiva e potencial e saturação de bases, ao mesmo tempo que reduziu o teor de alumínio e de acidez potencial. Entretanto, Lourenzi *et al.* (2013) concluíram que apesar da aplicação em longo prazo aumentar os teores de fósforo e potássio disponíveis no solo, houve transferência de nitrogênio, fósforo e potássio para camadas abaixo do limite amostrado de 60cm, que pode gerar consequências ambientais e econômicas indesejáveis da aplicação de dejetos de suínos e reforça a necessidade de um uso racional, que envolve a utilização de menores quantidades de esterco combinado com fertilizantes minerais.

Garcia *et al.* (2021), entretanto, afirmam que a água residuária de suinocultura, nas diferentes doses aplicadas, não proporcionou aumentos significativos dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio na camada superficial do solo (0-10 cm).

A Tabela 4 apresenta a análise de variância relativa aos atributos químicos do solo em estudo. Não houve interação significativa entre os fatores, ou seja, em dois anos de monitoramento não ocorreu a interação entre o período e as doses de água residuária de suinocultura aplicadas. Considerando os fatores individuais, houve contraste significativo entre as diferentes fontes de potássio para o cálcio, magnésio, CTC efetiva e potencial.

**Tabela 4.** Resultado da análise de variância correspondentes aos atributos químicos do solo referente ao contraste entre as fontes de potássio obtidos ao longo de duas safras de cana de açúcar.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio								
		pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	t	T	V
P	4	3,15*	201,38*	3471,6*	0,51*	0,16*	8,73*	1,26*	5,40*	213,52*
P	1	0,29 <sup>ns</sup>	122,64 <sup>ns</sup>	672,32 <sup>ns</sup>	1,01*	0,17*	0,10 <sup>ns</sup>	1,77*	2,96*	121,20 <sup>ns</sup>
Interação (P x D)	4	0,07 <sup>ns</sup>	10,36 <sup>ns</sup>	704,45 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	2,18 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	4,04 <sup>ns</sup>	184,82 <sup>ns</sup>
Resíduo	165	0,20	107,26	491,03	0,23	0,027	0,51	0,34	0,39	115,53
CV%	-	7,78	79,35	39,92	20,88	24,40	31,8	18,39	11,63	18,07

pH – potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K – potássio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, H + Al – acidez potencial, t – capacidade de troca de cátions efetiva, T – capacidade de troca de cátions potencial, V – saturação de bases, \* – Significativo a 5% de probabilidade, ns – Não Significativo.

A Tabela 5 apresenta o resultado do contraste entre a adução mineral e o uso da água residuária de suinocultura no cultivo da cana-de-açúcar. Os valores de pH, fósforo, potássio, acidez potencial e saturação de bases não diferiram entre os tratamentos com água residuária de suinocultura e adubação química. Já os valores de cálcio, magnésio CTC efetiva e potencial apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, sendo que os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos com água residuária de suinocultura (Tabela 5).

**Tabela 5.** Contraste entre a adubação mineral e ARS

Parâmetro	Adubação Mineral	ARS
pH	5,65A	5,77A
P (mg/dm <sup>3</sup> )	11,00A	13,39A
K (mg/dm <sup>3</sup> )	60,30A	54,70A
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,13B	2,35A
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,59B	0,68A
H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,18A	2,25A
t (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,94B	3,23A
T (cmolc/dm <sup>3</sup> )	4,46B	5,09A
V %	57,43A	59,81A

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

Da Silva *et al.* (2018), trabalhando com doses crescentes de água residuária de suinocultura e combinações com adubação química (0, 160, 270 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, adubação química, 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> + adubação química e 270 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> + adubação química), em plantio de soja, durante duas safras, não observaram diferenças significativas nos valores do pH do solo. Silva *et al.* (2015) observaram que não houve diferença para os valores de pH estudando a adubação química e com dejetos de suínos, até a profundidade de 60 cm, em pastagem. Da mesma forma, Maggi *et al.* (2011) constataram que os valores de pH não variaram em função dos tratamentos com adição ou não da adubação química, estudando o percolado de lisímetros instalados na cultura da soja sob aplicação de águas residuárias de suínos. Andrade Filho *et al.* (2013), trabalhando com diluições do efluente doméstico (25, 50, 75 e 100% e adubação química), em latossolo, no cultivo de algodão (115 dias), não encontraram diferenças para o pH.

Observando os dados de Rosa *et al.* (2022), é possível ver que a adubação mineral resultou em maiores valores de cálcio e magnésio no solo em comparação ao dejetos. Krob *et al.* (2011), trabalhando com composto de lixo orgânico, verificaram que teores de cálcio e magnésio do solo foram maiores com a utilização do resíduo do que com adubação mineral. Silva Júnior (2019), trabalhando com pimentão, com adubação de plantio e irrigação com águas residuárias de suínos e água de rio, não observaram diferença significativa entre os tratamentos para acidez potencial e saturação de bases.

Sobre a legislação vigente, a atividade da suinocultura é regida pela resolução Conama n° 237, de 19 de dezembro de 1997, que dispõe sobre os procedimentos e critérios sobre o licenciamento ambiental. Além disso, cada estado possui legislação própria sobre a atividade e o reuso da água. No Paraná, por exemplo, existe a Resolução CERH n° 122/2023, que estabelece diretrizes e critérios gerais para reuso de água proveniente de efluentes tratados de origem sanitária ou industrial, para fins urbanos, agrícolas,

florestais, ambientais e industriais. No Espírito Santo, onde o estudo foi conduzido, tem-se a Instrução Normativa nº 024/2014, que estabelece que os resíduos de suinocultura destinados à agricultura devem ter projeto técnico elaborado por profissional habilitado, atestando a viabilidade da área em receber o material com base em análise físico-química do solo, do produto gerado no tratamento e exigência nutricional da cultura existente, além do georreferenciamento do local de aplicação, em cada requerimento de licença ambiental. Desse modo, deve-se primeiro consultar a legislação do estado em que se quer fazer o uso da ARS para cumprir devidamente as normas ambientais exigidas.

#### 4 CONCLUSÃO

A fertirrigação com água residuária de suinocultura é uma importante fonte de nutrientes para a cana-de-açúcar.

A fertirrigação contínua com água residuária de suinocultura na cultura da cana, durante dois anos, promove redução do pH e saturação de bases no solo, ao mesmo tempo que aumenta os teores de K, P, Ca, Mg, H + Al e CTC efetiva e potencial.

O aumento da dose de ARS, em função do teor de K do resíduo, resulta em melhoria da fertilidade do solo.

A fertirrigação com água residuária de suinocultura na cultura da cana-de-açúcar promove melhoria dos teores de Ca, Mg, t e T em relação a adubação mineral.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório Anual 2023**.

ANDRADE FILHO, J. A.; SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; NASCIMENTO, L. B.; MEDEIROS, J. F.; COSME, C. R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. *Irriga*, v. 18, n. 4, p. 661-674, 2013. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n4p661>

ARAÚJO, A. S.; SANTOS, A. C.; NETO, S. P. S.; SANTOS, P. M.; SILVA, J. E. C.; SANTOS, J. G. D. Produtividade do capim-marandu e alterações químicas do solo submetido a doses de dejetos líquidos de bovinos. *Revista de Ciências Agrárias*, v.54, p. 235-246, 2011. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.019>

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 490, p. 397-404, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019>

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.47-51, 2005. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp47-51>

BINOTI, D. H. B.; GARCIA, G. O.; VIÇOSI, K. A.; DALVI, L. P.; VIEIRA, P. A. L. M.; SILVA, S. F. **Uso da água residuária de suinocultura na agricultura**. In: Caminhos para o desenvolvimento sustentável: perspectivas interdisciplinares – volume 5. São Paulo: Editora Dialética, 2022. p. 127-147.

BOITT, G.; MARCHEZAN, C.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; LOURENZI, C. R.; GIOTTO, E.; FERREIRA, P. A. A.; BASSO, C. J.; GATIBONI, L. C.; CONDRON, L. The fate of pig slurry phosphorus applied to a sandy loam soil under no-till cropping in southern Brazil. **Geoderma**, v. 422, p. 115931, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115931>

BOITT, G.; SCHMITT, D. E.; GATIBONI, L. C.; WAKELIN, S. A.; BLACK, A.; SACOMORI, W.; CASSOL, P. C.; CONDRON, L. M. Fate of phosphorus applied to soil in pig slurry under cropping in southern Brazil. **Geoderma**, v. 321, p. 164-172, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.010>

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v.45, p. 217-228, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00092-5)

BROETTO, T.; TORNQUIST, C. G.; BAYER, C.; CAMPOS, B. C.; MERTEN, C. G.; WOTTRICH, B. Soils and Surface Waters as Affected by Long-Term Swine Slurry Application in Oxisols of Southern Brazil. **Pedosphere**, n.24, v.5, p. 585–594, 2014. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60044-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60044-8)

CABRAL, J. R.; DE FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 823-831, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800009>

CHIKUVIRE, J. T.; MUCHAONYERWA, P.; ZENGENI, R. Long-term effects of pig slurry application on selected soil quality parameters and tissue composition of maize in a subhumid subtropical environment. **South African Journal of Plant and Soil**, v.36, n.2, p. 143-148, 2019. <https://doi.org/10.1080/02571862.2018.1512663>

DAL BOSCO, T. C. D.; IOST, C.; NOVAES, S. L. da.; CARNELLOSI, F. C.; EBERT, D. C.; SCHREINER, J. S.; SAMPAIO, S. S. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – Estudo de caso. **Irriga**, v. 13, n. 1, p. 139-144, janeiro-março, 2008. <https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n1p139-144>

EMBRAPA (Brasília). Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. rev. ampl. Brasília, DF; **Embrapa informações tecnológicas**, 2009, 627p.

GARCIA, G. O.; RIGO, M. M.; CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F.; BAUER, M. O.; RANGEL, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Agrária**, v. 7, p. 737- 742, 2021. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7isa1906>

GROHSKOPF, M. A.; CASSOL, P.C.; CORRÊA, J.C.; ALBUQUERQUE, J. A.; ERNANI, P. R.; MAFRA, M. S. H.; MAFRA, A. L.; Soil Solution Nutrient Availability, Nutritional Status and Yield of Corn Grown in a Typic Hapludox under Twelve Years of Pig Slurry Fertilizations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p. e0150341, 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150341>

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 x 200cm. 1928.

KROB, A. D.; MORAES, S. P.; SELBACH, P. A.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. D. O. Propriedades químicas de um Argissolo tratado sucessivamente com composto de lixo urbano. **Ciência Rural**, v. 41, p. 433-439, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000017>

LIMA, C. J. G.; PEREIRA, L. D.; SANTOS, T. I. S.; PINTO, S. N.; RODRIGUES, A. C.; NUNES, L. A. P. L. Soil changes and yield of maize fertilized with swine wastewater. **Revista Caatinga**. v. 32, n. 1, p. 167-178, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n117rc>

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; De CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 37, v. 1, p. 157-167, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100016>

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 38, v. 3, p. 949-958, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300027>

MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S. Phosphorus fractions in Cerrado Oxisols fertilized with liquid swine wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n.1, p.3-10, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p3-10>

MAGGI, C.F, FREITAS, S.L.; SAMPAIO, S.C.; DIETER J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com a aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.170-177, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200010>

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; PÉREZ-MARIN, A. M.; SOARES, F. A. L.; FERNANDES, P. D. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1047-1055, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300038>

MENEZES, J. F. S.; SILVA, M. P.; BENETT, C. G. S.; BENITES, V. M.; CANTÃO, V. C. G. Perdas de água, solo e nutrientes por escoamento superficial após aplicação de dejetos líquidos de suínos na cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 17- 22, 2018. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i1.1747>

MONDARDO, D. CASTANGNARA, D. D.; OLIVEIRA, P. S. R; ZOZ. T.; MESQUITA, E. E. Produção e composição químico-bromatológica da aveia preta fertilizada com doses crescentes de dejetos líquido suíno. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 509–517, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200034>

NETO, A. A.; CARMO LANA, M.; RAMPIM, L.; COPPO, J. C.; DE MENDONÇA COSTA, L. A. Água residual de suinocultura em atributos químicos del suelo y tenores foliares de soja y maíz. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 25, n. 2, p. 92-106, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i2.708>

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Rev. Ciênc. Agron**, v. 42, n. 3, p. 579–588, jul. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo : 5<sup>a</sup> aproximação**. Vitória, ES: SEEA; Incaper. 2013. 289 p.

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**, v. 35, n. 4, p. 744-755, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p744-755/2015>

QUEIROZ, F. M. D.; MATOS, A. T. D.; PEREIRA, O. G. OLIVEIRA, R. A. D. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1487-1492, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500024>

ROSA, A.; PEREIRA, N.; DAMACENO, F. M.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Pig slurry improves the productive performance of eucalypt and exceeds the mineral fertilization. **Revista Árvore**, v. 46, p. e4624, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820220000024>

ROSA, D. M.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, P. A. M.; MAULO, M. M.; REIS, R. R. Swine wastewater: impacts on soil, plant, and leachate. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.5, p.928-939, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n5p928-939/2017>

SCHEID, D. L.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; DA ROS, C. O.; PINTO, M. A. B.; GABRIEL, M.; CHERUBIN, M. R. Changes in soil chemical and physical properties in pasture fertilised with liquid swine manure. **Scientia Agrícola**. v.77, n.5, e20190017, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0017>

SILVA JÚNIOR, W. R. D.; SANDRI, D.; FIGUEIREDO, C. C. D.; PEREIRA, R. M. Chemical attributes of soil irrigated with treated sewage effluent and cultivated with bell pepper. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 5, 2019. <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.2341>

SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; COSTA, A. M. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da *Brachiaria decumbens* e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p.254-265, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p254-265/2015>

SILVA, D. A. A.; SILVA, D. M.; BERNARDO, J. T.; BELLÉ, C.; KUHN, P. R.; LANZANOVA, M. E. Soil attributes and edaphic nematofauna in pastures with pig slurry successive applications. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 867-876, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n402rc>

TIAN, L.; SUN, H.; DONG, X.; WANG, J.; HUANG, Y.; SUN, S. Effects of swine wastewater irrigation on soil properties and accumulation of heavy metals and antibiotics. **Journal of Soils and Sediments**, v.22, p. 889–904, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-03106-7>

TORSIAN, W. S.; ALMEIDA, L. S.; SILVA, N. C. L.; NASCIMENTO, M. F.; CARON, V. C. Pig manure in the production of banana seedlings. **Revista Agrogeoambiental**, v. 12, n. 2, 2020. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v12n220201452>