



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO ASSOCIADO COM
ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

João Pedro Martins Rainha

ALEGRE – ES

2023

JOÃO PEDRO MARTINS RAINHA

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO BIODÉTRIGO ASSOCIADO COM
ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Agronomia na Área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia

Coorientador: Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel

Alegre – ES

2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

R154v Rainha, João Pedro Martins, 1996-
Viabilidade da Utilização do Biossólido Associado com Água Residuária de Suinocultura / João Pedro Martins Rainha. - 2023. 47 f. : il.

Orientador: Giovanni Oliveira Garcia.
Coorientador: Otacílio José Passos Rangel.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Efluente. 2. Fertilizante. 3. Salinidade. I. Garcia, Giovanni Oliveira. II. Rangel, Otacílio José Passos. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO BIODOSSÍLIDO ASSOCIADO COM ÁGUA
RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

João Pedro Martins Rainha

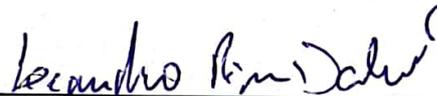
Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de mestre em Agronomia na área de Solo e água e interação com plantas.

Aprovada em 28 de Fevereiro de 2023.

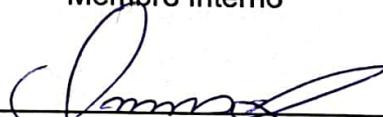
Comissão examinadora:



Prof. Dr. Tércio da Silva de Souza
Instituto Federal do Espírito Santo
Membro Externo



Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Interno



Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel
Instituto Federal do Espírito Santo
Coorientador



Prof. Dr. Giovanni Oliveira Garcia
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

A minha avó Maria Izabel Sartório Martins (*In memoriam*)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida que me deu.

Aos meus pais pelo suporte me dado de todas as formas, sem eles não poderia ter completado essa etapa.

Aos meus avós, tanto os que estão presentes comigo quanto a que partiu por todo apoio e incentivo a permanecer seguindo meus sonhos.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo Campus de Alegre pelo espaço cedido para realização da pesquisa.

A técnica de laboratório do IFES Jaqueline Rodrigues Cindra de Lima Souza pelo tempo cedido a me orientar em laboratório e me auxiliar em minhas análises.

Aos meus estagiários Filipe e Thatiani que estiveram comigo durante toda a pesquisa enfrentando todas as adversidades.

Aos meus amigos Lessa, Renan e Isabela que me ajudaram a montar meu experimento,

A Isabella Teixeira que me ouviu e me aconselhou em todos os meus momentos de dúvida e acompanhou fizesse chuva ou sol em todas as minhas coletas.

Aos meus amigos do grupo TBA, por todos os momentos de alegria e risadas, em especial aos meus amigos Gean, Gabriel Pontes, Gabriel Granfonte, Wallace e Eduardo, nossas histórias estão gravadas para sempre comigo.

Aos meus amigos que sempre jogam Yugioh comigo, em especial Pedro Lucas que me ajudou a finalizar meu experimento.

A Polyani pelas palavras de sabedoria durante o início da minha jornada me trazendo lucidez no meu momento de desespero.

Mateus Urbano pelo companheirismo e críticas construtivas para minha dissertação.

Ao meu melhor amigo Gabriel Marcolan, que embora não estejamos próximos, sempre me deu amparo e incentivo a continuar trilhando meus sonhos.

A minha eterna amiga Karyne que me suportou durante todas as madrugadas me ouvindo, discutindo, rindo e principalmente dando apoio mútuo.

Ao professor Tércio pelo seu apoio e incentivo a sempre buscar uma forma de continuar mesmo quando imprevistos aconteciam.

Ao professor Leandro Pin pela sua presença em prestigiar a minha defesa.

Ao meu coorientador Otacílio Passos Rangel por ser uma figura de admiração e um modelo a ser seguido como docente.

Ao meu querido professor orientador Giovanni Oliveira Garcia por toda a sua paciência, pois precisou de muita, pela sua dedicação em me instruir, por todos os momentos inconvenientes em que liguei sem avisar e principalmente por sua dedicação em me tornar um profissional melhor.

A Universidade Federal do Espírito Santo e ao Centro de Ciências Agrárias do Campus de Alegre pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior pela bolsa concedida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lagoa de coleta da água residuária de suinocultura	23
Figura 2: Valores de pH em função das proporções de água residuária de suinocultura	27
Figura 3: Valores de pH em função das doses de biossólido	27
Figura 4: Valores de condutividade elétrica em função da água residuária de suinocultura.	29
Figura 5: Valores da condutividade elétrica da solução do solo em função das doses de biossólido	30
Figura 6: Teores de cálcio em função das proporções de água residuária de suinocultura.	31
Figura 7: Teores de cálcio na solução do solo em função das doses de biossólido	32
Figura 8: Teores de magnésio em função das proporções de água residuária de suinocultura.	33
Figura 9: Teores de magnésio em função das doses de biossólido.	34
Figura 10: Teores de sódio e potássio em função das proporções de água residuária de suinocultura.	36
Figura 11: Valores da razão de adsorção de sódio em função das proporções de água residuária de suinocultura.	37
Equação 1: Dureza total	25
Equação 2: Dureza do cálcio	25
Equação 3: Razão de adsorção de sódio	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros médios para a utilização da água na irrigação.....	16
Tabela 2: Valores máximos permitidos no biossólido para o uso em solos	19
Tabela 3: Análise química e granulométrica do solo	21
Tabela 4: Análise química do lodo de esgoto	22
Tabela 5: Análise química da água residuária de suinocultura	23
Tabela 6: Quantitativo de água utilizado para cada proporção de água residuária utilizada	24
Tabela 7: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável pH em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.....	28
Tabela 8: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável Condutividade Elétrica em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.	30
Tabela 9: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável teor de cálcio na solução do solo em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.	32
Tabela 10: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável teor de magnésio na solução do solo em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.	34
Tabela 11: Análise de variância da condutividade elétrica para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.	45
Tabela 12: Análise de variância do pH para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.	45
Tabela 13: Análise de variância do sódio na solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.	45
Tabela 14: Análise de variância do potássio em solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.....	46
Tabela 15: Análise de variância do Magnésio em solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.	46
Tabela 16: Análise de variância do cálcio em solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.....	46

Tabela 17: Análise de variância da razão de adsorção de sódio para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.....	46
Tabela 18: Análise de variância da porcentagem de sódio trocável para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.	47

RESUMO

RAINHA, João Pedro Martins. **Viabilidade da Utilização do Biossólido Associado com Água Residuária de Suinocultura**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientador Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel. Coorientador prof. Dr. Leandro Pin Dalvi.

Diante do elevado consumo de água para fins de irrigação, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos visando uso de novas fontes hídricas para o fornecimento de água para as culturas. Neste sentido, objetivou-se com o desenvolvimento do presente estudo avaliar a composição química da solução de um solo que recebeu água residuária tratada da suinocultura após aplicação de diferentes doses de biossólido. O experimento foi realizado dentro de casa de vegetação em vasos de oito litros seguindo o delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial 5x5 com quatro repetições. Os fatores corresponderam a utilização de cinco proporções de água residuária tratada da suinocultura e cinco doses de biossólido. Após sessenta dias de aplicação da água residuária, amostras do solo foram enviadas ao laboratório para a extração da solução do solo onde foram quantificados o pH, a condutividade elétrica, e os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio. Após a obtenção dos teores dos nutrientes citados, foi calculada a razão de adsorção de sódio (RAS). Por meio dos resultados obtidos foi possível verificar que o uso de biossólido em conjunto com água residuária reduziu o pH da solução do solo. Por sua vez, os valores da condutividade elétrica, os teores de cálcio e magnésio aumentaram. Os teores de sódio, potássio e os valores de RAS e PST da solução do solo aumentaram com o incremento das proporções de água residuária tratada da suinocultura. Com base nos dados, concluiu-se que o aporte de água residuária e biossólido melhoram a disponibilidade de nutrientes para o solo, e que a aplicação de biossólido mitigou a efeito salinizador da água residuária de suinocultura.

Palavras-chave: Efluente, fertilizante, salinidade.

ABSTRACT

RAINHA, João Pedro Martins, **Viability of Using Biosolids Associated with Wastewater from Swine Farming**. 2023. Dissertation (Master in Agronomy) - Federal University of Espírito Santo, Alegre, ES. Advisor: Dr. Giovanni de Oliveira Garcia, Co-advisor: Otacílio José Passos Rangel, Co-advisor: Dr. Leandro Pin Dalvi.

In view of the high consumption of water for irrigation purposes, it is necessary to develop studies aimed at the use of new water sources to supply water to crops. In this sense, the objective of the present study was to evaluate the chemical composition of the solution of a soil that received treated wastewater from pig farming after application of different doses of biosolid. The experiment was carried out in a greenhouse in eight-liter pots, following a randomized block design, in a 5x5 factorial scheme with four replications. The factors corresponded to the use of five proportions of treated swine wastewater and five doses of biosolids. After sixty days of wastewater application, soil samples were sent to the laboratory for extraction of the soil solution, where pH, electrical conductivity, and sodium, potassium, calcium, and magnesium contents were quantified. After obtaining the contents of the mentioned nutrients, the sodium adsorption ratio (RAS) was calculated. Through the results obtained, it was possible to verify that the use of biosolids together with wastewater reduced the pH of the soil solution. In turn, the values of electrical conductivity, calcium and magnesium contents increased. Sodium, potassium and RAS and PST values of the soil solution increased with increasing proportions of swine treated wastewater. Based on the data, it was concluded that the input of wastewater and biosolids improve the availability of nutrients to the soil, and that the application of biosolids mitigated the salinizing effect of swine wastewater.

Keywords: Effluent, fertilizer, salinity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Qualidade da água na Irrigação	15
3.2	Salinidade do Solo.....	15
3.3	Adubação Orgânica como amenizador dos efeitos da salinidade da água de irrigação	18
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Descrição do local.....	21
4.2	Delineamento experimental	21
4.3	Coleta do solo e montagem das unidades experimentais.....	21
4.4	Coleta da água residuária tratada de suinocultura e preparo da irrigação.....	22
4.5	Avaliação da composição da solução do solo.....	24
4.6	Análise estatística.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1	Viabilidade no uso agrícola do biossólido e da água residuária tratada da suinocultura	26
5.2	Análise da solução do solo	26
5.3	Razão de adsorção de sódio (RAS) e Porcentagem de sódio trocável (PST)	36
6	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
	ANEXOS	45

INTRODUÇÃO

No Brasil, o uso da água em cultivos agrícolas por meio da irrigação está presente em todas as regiões principalmente naquelas onde ocorre o déficit hídrico em parte do ano, pois o fornecimento de água por meio da irrigação total ou suplementar contribui para a sustentabilidade da produção agrícola. O uso da água na agricultura irrigada tem gerado debates, principalmente quanto ao quanto ao real volume de água consumido nos perímetros irrigados. No decorrer dos anos Ayars et al., (2006); Augusto et al., (2012); D'odorico et al., (2020) apontam que a irrigação consome 70% da água prontamente disponível no planeta enquanto as atividades industriais consomem 20% e o uso doméstico 10%.

Em meio a esse debate, destaca-se que para ser considerada própria para utilização na irrigação, a água precisa possuir características que não acarretem problemas as plantas, ao solo e ao sistema de distribuição da água. Neste sentido, na busca de fontes alternativas de água para uso em cultivos agrícolas (ZHANG. SHEN, 2019; BOLINCHES et al., 2022) apontam que o reuso de efluentes tratados pode vir a ser uma prática sustentável no fornecimento não somente da água, mas também de nutrientes às culturas.

A utilização de águas de qualidade inferior em cultivos agrícolas é uma prática antiga (JARAMILLO; RESTREPO, 2017; AL-SUHAIBANI et al., 2021), que apresentam resultados promissores na produtividade de diversas culturas por proporcionar nutrientes para a planta e melhorar atributos físicos, químicos e biológicos do solo (MALAFAIA et al., 2016; DE MELO, 2020), contudo o uso dessas águas deve ser observado.

Analisar os efeitos no solo, o uso sem critérios técnicos previamente definidos de efluentes em cultivos agrícolas pode causar riscos ao solo como a lixiviação de nutrientes, desequilíbrio na biota do solo, aumento da salinidade e intoxicação das plantas devido ao excesso de micronutrientes (TAIZ et al., 2017; BOLINCHES et al., 2022).

Na possibilidade do reuso de efluentes tratados em cultivos agrícolas em fornecer água e nutrientes às plantas, cabe ressaltar que as agências governamentais como o conselho nacional do meio ambiente (CONAMA), o conselho nacional de recursos hídricos (CNRH) e a agência nacional das águas e saneamento básico (ANA) abordam que tanto o solo que recebeu efluentes quanto o próprio efluente deve ser constantemente monitorado (BARROS et al., 2021).

Na busca de soluções para um correto manejo do uso de efluentes tratados na irrigação de diferentes culturas o uso de resíduos orgânicos (MEENA et al., 2019; CHEHAB et al., 2019) contribui para atenuar efeitos deletérios proporcionados pelo uso de fontes de água residuária com elevada salinidade (SOUZA et al., 2006; PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Estudos realizados em plantações de goiaba (CAVALCANTE et al., 2010), maracujá (DINIZ NETO et al., 2014), pimentão (NASCIMENTO et al., 2011), feijão-de-corda (DA SILVA et al., 2013), milho (SOUSA et al., 2012) e tomate cereja (MEDEIROS et al., 2011), obtiveram resultados positivos em relação a produtividade e desenvolvimento vegetal quando houve aplicação de biofertilizante associado a águas salinas.

Diante do exposto, torna-se necessário que sejam desenvolvidos estudos acerca do uso de efluentes tratados em cultivos agrícolas, a fim de que possa ser construída uma base teórica que fundamente a tomada de decisão quanto a sua aplicação e como ela influencia as características físicas químicas e biológica do solo.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

- Avaliar as características físicas e químicas da solução do solo por meio do uso de diferentes doses de biossólido associado ao uso da água residuária tratada de suinocultura.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar se o uso do biossólido contribui para a atenuação da salinidade causada pela água residuária;
- Averiguar a melhor interação entre as proporções de água residuária e doses de biossólido para aportar nutrientes na solução do solo.

REVISÃO DE LITERATURA

1.3 Qualidade da água na irrigação

A crise hídrica é um cenário que não pode mais ser desconsiderado quando se trata da água para a irrigação. No Brasil, períodos de seca acometem culturas de norte a sul do país. No Espírito Santo, em 2015, houve o maior período de seca já registrada em 40 anos. Em face desse cenário, à época, foi instituída pela Agência Estadual de Recursos Hídrico (AGERH). Por meio da 002 de 27 de janeiro de 2015, foram implantadas uma série de suspensões e ações para o racionamento de água, e o setor da agricultura foi diretamente impactado. Junto a um cenário de escassez e o fato de a agricultura ser o setor com maior consumo hídrico, novos métodos de irrigação e tecnologias precisam ser estudados para reduzir e/ou aperfeiçoar o uso da água.

Segundo a Resolução N°357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as águas podem ser classificadas em doce quando a salinidade está abaixo de 0,5‰, salobra com salinidade entre 0,6 a 30‰ e salina quando a salinidade está acima de 30‰. Nem todas as águas podem ser utilizadas para a irrigação, sendo apenas as de água doce de classe, I e II, e as salobras de classe II são as indicadas para a atividade sem restrição. Ainda segundo a mesma Resolução, deve se atentar para o controle de intoxicantes e coliformes, principalmente, para águas destinadas ao consumo humano e a irrigação.

Além da classificação instituída pelo CONAMA que regula o uso da água para todas as atividades, a água ainda pode ser classificada de acordo com sua salinidade e sodicidade que são diretamente aplicadas ao seu uso para a irrigação (DE ALMEIDA 2010). De acordo com a sua condutividade elétrica a água pode ser:

- C1: Pouca salinidade com uso irrestrito na irrigação ($CE < 0,25 \text{ dS m}^{-1}$), com pouco ou nenhum risco de salinizar o solo.
- C2: Pouca salinidade, mas deve haver algum manejo de lixiviação no solo (CE entre 0,25 e 0,75 dS cm^{-1}).
- C3: Água com alta salinidade e há risco de salinização do solo, não deve ser utilizada em solos com má drenagem e se utilizada deverá haver um manejo adequado da salinidade que a água causará (CE entre 0,75 e 2,25 dS m^{-1}).
- C4: Água com salinidade muito alta e risco extremo de salinização do solo, não deve ser utilizada para irrigação e apenas em casos especiais e indispensáveis e caso seja utilizada, deverá haver um manejo intensivo para o controle da salinidade.

Além da salinidade, outro fator utilizado para a classificação da água na irrigação é a alcalinidade (sodicidade) medida de acordo com a razão de adsorção de sódio (RAS: razão entre o sódio e demais bases trocáveis).

- S1: Água com baixo teor de sódio (<18,87 -4,44 log CE), podendo ser usada em todo tipo de cultivo com pouco ou nenhum risco de sodificação do solo.
- S2: Água com teor médio de sódio (entre 18,87 -4,44 log CE a 31,31 -6,66 log CE), representa certo risco para solos mais argilosos, esse tipo de água deve ser reservado a solos com boa troca catiônica e alto teor de matéria orgânica.
- S3: Água com alto teor de sódio (entre 31,31 -6,66 log CE e 43,75 – 8,87 log CE). Pode elevar o íon a níveis tóxicos. Esse tipo de água deve ser aplicado quando o solo tiver boa drenagem, alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de gesso para reduzir os teores de sódio.
- S4: Água com teor crítico de sódio (>43,75 -8,87 log CE). Essa classe de água deve ser evitada na irrigação a menos que a disponibilidade de gesso não seja economicamente inviável e a salinidade do solo não seja alta.

Com base nessas classificações, a figura 1 faz uma relação dos valores médios de parâmetros químicos para a água ser considerada própria para irrigação

Tabela 1: Parâmetros médios para a utilização da água na irrigação

Parâmetros	Símbolo	Unidade ¹	Intervalo usual na água de irrigação	Fatores de conversão
SALINIDADE				
Conteúdo de sais				
Condutividade Elétrica ou Total de Sais Dissolvidos	CEai TSD	dS m ⁻¹ mg L ⁻¹	0 - 3 0 - 2.000	P _o = 0,36 CE (atm) (dS m ⁻¹)
CÁTIONES E ÂNIONES				
Cálcio	Ca ²⁺	meq L ⁻¹	0 - 20	20.04
Magnésio	Mg ²⁺	meq L ⁻¹	0 - 5	12.16
Sódio	Na ⁺	meq L ⁻¹	0 - 40	22.99
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meq L ⁻¹	0 - 0.1	30.00
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq L ⁻¹	0 - 10	61.02
Cloretos	Cl ⁻	meq L ⁻¹	0 - 30	35.45
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq L ⁻¹	0 - 20	48.03
NUTRIENTES³				
Nitrato – Nitrogênio	NO ₃ ⁻ - N	mg L ⁻¹	0 - 10	62.00
Amoníaco – Nitrogênio	NH ₄ ⁺ - N	mg L ⁻¹	0 - 5	18.04
Fosfato – Fósforo	PO ₄ ³⁻ -P	mg L ⁻¹	0 - 2	31.66
Potássio	K ⁺	mg L ⁻¹	0 - 2	39.10
VARIOS				
Boro	B ³⁺	mg L ⁻¹	0 - 2	3,60
Acidez ou Alcalinidade	pH		6 - 8.5	
Razão de Adsorção de Sódio	RAS	(mmol.L ⁻¹) ^{1/2}	0 - 15	

Fonte: Almeida (2010)

Onde: Po = Pressão Osmótica

1 – dS m = deciSiemens por metro em unidade do sistema internacional (SI) (1 mmho cm⁻¹ = 1 dS m⁻¹);

mg L^{-1} = miligrama por litro = partes por milhão (ppm) meq L^{-1} = mili equivalente por litro ($\text{meq L}^{-1} \times \text{Pe} = \text{mg L}^{-1}$).

Em unidade do Sistema Internacional (SI), $1 \text{ meq L}^{-1} = 1 \text{ mmol L}^{-1}$ corrigido segundo a carga elétrica.

$2 - \text{Pe} = \text{Peso equivalente} = \text{Peso atômico} \div \text{valência}$

3 - $\text{NO}_3^- - \text{N}$ significa que o laboratório deverá determinar NO_3^- e expressá-lo em termos de equivalente químico de N. Da mesma forma, para $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, o laboratório determinará o NH_4^+ porém expressará em termos de equivalentes químicos de N elementar. O nitrogênio total disponível para as plantas será a soma de equivalentes de nitrogênio. O mesmo método deverá ser utilizado para o fósforo.

O uso de águas de qualidade inferior ou água residuária na agricultura é uma atividade histórica que vem sendo utilizada há décadas como meio alternativo de irrigação (JARAMILLO; RESTREPO, 2017), além de se apresentarem como uma fonte de nutrientes para culturas (AL-SUHAIBANI et al., 2021; DE SOUSA et al., 2012). Elas podem ser definidas como águas oriundas de processos industriais, redes urbanas ou de uso agrícola ou pecuário, perdem sua qualidade original e que após passar por processos de descontaminação, podem ser utilizadas novamente.

A obtenção da água residuária é feita através de processos físico-químicos e biológicos que visam remover e reduzir possíveis agentes poluentes e patogênicos da água a fim de torná-la viável para o uso novamente. Esses processos podem ser desde de tanques de decantação e estabilização, biodigestores, estações de tratamento (DE ALMEIDA, 2010).

Embora diversos estudos apontem o uso de águas residuárias como uma fonte hídrica a ser aproveitada, é preciso observar também a sua composição. Essas águas tendem a possuir uma quantidade elevada de determinados elementos químicos, com riscos para culturas e toda a cadeia alimentar. Outro problema do uso agrícola das águas residuárias é a possibilidade de aporte de altas quantidades de sais ao solo, tornando-o salino e comprometendo a sua fertilidade. Portanto, para a utilização dessas águas, primeiro deve ser feito um estudo de viabilidade técnica e, se possível, fazer o tratamento antes de aplicá-la quando necessário (LA BELA et al., 2022).

1.4 Salinidade do solo

A principal origem da salinização do solo ocorre pela baixa taxa pluviométrica anual e acúmulo de sais no solo devido à alta evaporação que não permite uma lixiviação adequada dos sais pelo perfil do solo. Em climas úmidos o processo de drenagem e lixiviação ocorre de maneira adequada permitindo aos sais percolarem até o lençol (DIAS; BLANCO, 2010).

Os sais originam-se primariamente das rochas que são intemperizadas e se acumulam por condições climáticas. Nas regiões áridas e semiáridas, a maior parte é oriunda de deposições

secundárias de xisto, arenitos e aluviões de várias idades geológicas. Estes sais podem estar associados formando moléculas ou dissociados na forma iônica. Ainda na forma iônica, os íons podem estar na forma solúvel, em que estão dispersos na solução do solo, ou na forma trocável, em que estão presentes na superfície de argilas, óxidos e matéria orgânica (PEREIRA 1986).

Solos salinos normalmente ocorrem em regiões áridas e semiáridas devido ao acúmulo de sais precipitados e solúveis no solo, e das condições climáticas que favorecem esse cenário (ANDRADE et al., 2004). Esse tipo de solo tem como características pH levemente ácido ou alcalino, são pouco profundos, com complexo sortivo com alto teor de bases, com predominância do cálcio, magnésio e sódio (BRESLER; MCNEAL; CARTER, 2012).

De acordo com os teores de sais, o solo pode ser considerado salino, sódio ou salino sódico. Os solos salinos possuem altas concentrações de sais, porém não apresenta alto teor de sódio se comparado ao cálcio e magnésio. Alguns sais insolúveis como sulfatos e carbonatos também são encontrados em solos salinos. Neste tipo de solo é comum o aparecimento de uma crosta branca de sais na superfície (BRESLER; MCNEAL; CARTER, 2012).

Solos sódicos apresentam teores de sódio mais alto em proporções aos demais sais do solo, Solos salinos sódicos possuem altas concentrações de sais e sódio trocáveis, altas o suficiente para afetar o desenvolvimento vegetal e a produção das culturas em geral (PEREIRA, 1986). Esse tipo de solo necessita de amplos cuidados para sua remediação devido aos elevados teores que dificultam o uso do gesso como principal agente desintoxicante do sódio.

Os sais no solo, tanto os endógenos como os exógenos, causam danos às plantas, sendo comum aparecer sintomas como crescimento vegetativo excessivo, retardo na maturação das culturas, acamamento da planta, manchas foliares (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Em casos de irrigação por aspersão, os íons sódio e cloreto podem ser absorvidos causando queimaduras nas folhas (GHEYI; DA SILVA DIAS; DE LACERDA, 2010).

A salinidade do solo também influencia a disponibilidade de água para as culturas bem como disponibiliza elementos tóxicos para a planta e ainda podem causar prejuízos econômicos (KAFKAFI, 1984; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Em regiões áridas e semiáridas, a irrigação pode ser prejudicada devido à impermeabilização do solo pela concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio, isso devido à dispersão das argilas que provoca o selamento no solo. A alta concentração de sais ainda pode provocar alterações na pressão osmótica e dificultar a absorção de água pela planta (GHEYI; QUEIROZ; MEDEIROS, 1987). Em locais com lençol freático alto (<3m), os sais podem ascender junto da água por capilaridade e piorar o quadro salino da área. Por fim os sais

na água de irrigação ainda podem causar entupimento e corrosão de bombas, motores, aspersores e sistemas de irrigação (SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999).

1.5 Adubação orgânica como amenizador dos efeitos da salinidade da água de irrigação

A adubação orgânica tem como função dar destino a resíduos produzidos, principalmente aqueles de origem animal e vegetal. Em 2009, o Ministério da Agricultura lançou a Instrução Normativa N°25, de 23 de julho de 2009 para o uso de fertilizantes orgânicos e os limites para sua aplicação, de acordo com o risco de contaminação para culturas. Essa normativa classifica os fertilizantes orgânicos em classe A, que são aqueles resíduos de origem agrícola, agroindustrial, industrial e comercial, abrangendo resíduos vegetais e animais, bem como águas residuária; e os fertilizantes classe B, que são caracterizados como matéria prima de fonte urbana e/ou industrial podendo conter dejetos sanitários, porém estes deverão passar por processo de tratamento em estações e subseqüente análise para que não ofereça risco à saúde nem para a contaminação do solo.

Segundo a resolução N° 498 de 19 de agosto de 2020 publicada pelo CONAMA, entende-se como biossólido o produto do tratamento do lodo de esgoto sanitário que atende aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos na Resolução, estando, dessa forma, apto a ser aplicado em solos. Segundo o artigo 8° da mesma resolução, para fins de uso do biossólido este deve atender as seguintes demandas: potencial agrônômico, redução da atividade de vetores, substâncias químicas e qualidade microbiológicas.

Ainda para ser apto para o uso em solos, o biossólido de classe 1 ou 2 ainda deverá atender aos valores máximos permitidos dentro da lei vigente para elementos químicos considerados metais pesados como mostra a figura 2 publicada pelo ministério do meio ambiente e pelo conselho nacional do meio ambiente.

Tabela 2: Valores máximos permitidos no biossólido para o uso em solos

Substâncias Químicas	Valor máximo permitido no biossólido (mg kg ⁻¹)	
	Classe 1	Classe 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1500	4300
Cromo	1000	3000
Mercúrio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2800	7500

FONTE: CONAMA (2020)

Entre as principais vantagens da aplicação de adubos orgânicos está a melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MÁVIA et al., 2012). Em geral, os resíduos orgânicos aumentam a agregação e a porosidade do solo, o que melhora a infiltração de água e reduz a compactação, graças à liberação de agentes cimentantes durante o processo de decomposição do material orgânico (HAFEZ, 1974; ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000). Também é comprovado que há um aumento de cargas negativas do solo, que melhora a capacidade de troca catiônica (CTC) e, conseqüentemente, a fertilidade do solo (RÓS; NARITA; HIRATA, 2014).

A melhoria da atividade microbiana também é atribuída à aplicação de fertilizantes orgânicos, pois disponibiliza nutrientes para os microrganismos que utilizaram os resíduos como fonte de energia (PAUL, 2014).

Os adubos orgânicos também têm potencial de reduzir a salinidade do solo, pois podem reter parte dos sais solúveis que aumentam a salinidade ao disponibilizarem mais cargas negativas ao solo que ao adsorverem os sais, os removerão da solução (DE OLIVEIRA MESQUITA et al., 2014). A matéria orgânica também influencia na infiltração de água no solo ao melhorar a agregação e a porosidade que resulta na lixiviação dos sais e na lavagem do solo reduzindo a salinidade (NASCIMENTO et al., 2011).

MATERIAL E MÉTODOS

1.6 Descrição do local

O experimento foi realizado dentro de casa de vegetação no Instituto Federal de Educação do Espírito Santo, Campus de Alegre (Ifes- Campus de Alegre) no distrito de Rive – ES. A casa de vegetação era protegida por cobertura de polietileno e contava com sistema de irrigação automática, o qual se manteve fechado durante toda realização do experimento. O experimento iniciou-se em setembro de 2023 e foi mantido por 60 dias.

1.7 Delineamento experimental

O experimento foi realizado em vasos de oito litros seguindo um delineamento em bloco casualizado no esquema fatorial 5x5 com quatro repetições. Os fatores corresponderam à utilização de cinco proporções de água residuária da suinocultura misturadas com água de abastecimento interno da casa de vegetação sendo, respectivamente, 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 e 100/0. O outro fator correspondeu na utilização de cinco doses de biossólido sendo 33,58, 67,10, 100,74, 164,32 e 167,9 gramas. As doses corresponderam a demanda de N da cultura do feijoeiro. Tal cultura foi escolhida por ser uma cultura sensível e responder rapidamente a estresse salino (NOVAIS; NEVES; BARROS, 1991).

1.8 Coleta do solo e montagem das unidades experimentais

O solo utilizado no experimento foi coletado manualmente no perfil natural de um argissolo existente em uma área de pastagem próximo ao local onde foi realizado o experimento. Após coletado, destorroado, peneirado e homogeneizado, retirou-se uma amostra composta, a qual foi enviada ao laboratório de solos da UFES para caracterização físico-química e textural (Tabela 1) conforme metodologia preconizada pela Embrapa (2017).

Tabela 3: Análise química e granulométrica do solo

Ph	H ₂ O	6,94
N	mg/dm ³	22,2
P	mg/dm ³	2,20
K	mg/dm ³	58,20
Fe	mg/dm ³	103,50
Cu	mg/dm ³	1,20
Zn	mg/dm ³	1,80
Mn	mg/dm ³	63,40
Ca	cmolc/dm ³	3,58
Mg	cmolc/dm ³	1,09
Al	cmolc/dm ³	0,00
H+Al	cmolc/dm ³	1,32
SB	cmolc/dm ³	5,00
t	cmolc/dm ³	5,00

CTC	cmolc/dm ³	6,32
V	%	79,10
m	%	0,00
MO	g/Kg	9,60
Areia	%	46,00
Areia fina	%	11,49
Silte	%	7,21
Argila	%	33,29

Fonte: O autor (2023)

Onde: SB: Soma de base, t: Capacidade de troca catiônica efetiva, CTC: Capacidade de troca catiônica, V: Saturação por bases, m: Saturação por alumínio, MO: Matéria orgânica.

Para o preenchimento dos vasos, inicialmente padronizou-se a densidade do solo, conforme sugerido pela Embrapa (2017), para assim corrigir a massa de solo a ser utilizado nos vasos e garantir que a quantidade de quilogramas correspondesse a volume em litros dos vasos.

O biossólido (Tabela 2) utilizado no experimento foi coletado na estação de tratamento de esgoto do município de Jerônimo Monteiro – ES. Seguindo a recomendação proposta pela Sanepar (1997), para uso agrícola, o biossólido coletado foi tratado com cal hidratada para eliminar os riscos de contaminação sanitária. A caracterização do biossólido é apresentada na Tabela 2.

Tabela 4: Análise química do lodo de esgoto

pH	CaCl ₂	5,50
MO	%	50,94
N	%	3,28
P	%	2,17
K	%	0,38
Mg	%	0,44
S	%	0,91
Ca	%	2,01
B	mg/kg	13,80
Dd	mg/kg	2,00
Pb	mg/kg	31,50
Ni	mg/kg	31,50
Fe	mg/kg	1,45
Zn	mg/kg	1367,90
Cu	mg/kg	157,5
Mn	mg/kg	439,40
Cr	mg/kg	13,80

Fonte: O autor (2023)

Onde: MO: Matéria orgânica

1.9 Coleta da água residuária tratada de suinocultura e preparo da irrigação

A água residuária tratada da suinocultura foi coletada em uma lagoa de armazenamento localizada no setor de suinocultura do Ifes – Campus de Alegre. Após coletada, a água residuária foi transportada em recipientes de 60 litros dos quais foram preparadas as proporções

para a aplicação no experimento. Uma amostra de água foi levada ao laboratório para caracterização química (Tabela 3) conforme metodologia preconizada por Rice et al., (2012).

Tabela 5: Análise química da água residuária de suinocultura

pH	H ₂ O	7,85
CE	uS/cm	5160
N	mg/L	511
Ca	mg/L	54,40
Mg	mg/L	12,00
K	mg/L	210,00
Na	mg/L	50,00
B	mg/L	0,42
Zn	mg/L	0,11
Fe	mg/L	0,52
Cu	mg/L	<0,05
S	mg/L	<5,00
Mn	mg/L	0,25
P	mg/L	61,87
RAS	-	1,6

Fonte: O autor (2023)

Onde: CE: Condutividade elétrica, RAS: Razão de adsorção de sódio.

Figura 1: Lagoa de coleta da água residuária de suinocultura



Fonte: O autor (2023)

Para o preparo da água utilizada no experimento foi utilizado um recipiente de dez litros, em que se adicionaram as proporções de água residuária combinadas com água de abastecimento interno do local.

A aplicação da água residuária foi feita diariamente com o auxílio de um regador. Visando manter a umidade próxima à capacidade máxima de armazenamento do solo durante todo o período do experimento. Foram utilizados 10 galões de água residuária ao longo de todo o experimento totalizando 720L de água residuária aproximadamente.

Na tabela 4 seguem as proporções de água residuária aplicada em cada tratamento em conjunto com as diferentes doses de bio sólido aplicado ao solo.

Tabela 6: Quantitativo de água utilizado para cada proporção de água residuária utilizada

Proporções de água residuária	Proporções de Água comum
100% = 10L	0% = nenhuma quantidade
75% = 7,5L	25% = 2,5L
50% = 5L	50% = 5L
25% = 2,5L	75% = 7,5L
0% = nenhuma quantidade	100% = 10L

Fonte: O autor (2023)

1.10 Avaliação da composição da solução do solo

Para avaliação do pH e condutividade elétrica (CE), foi pesado 10g de solo e colocado em copo descartável e adicionado 20 ml de água destilada, o copo então foi levemente agitado e deixado em repouso por 10 minutos. Logo após, foi feita a leitura direta em pHâmetro e condutivímetro (conforme preconizado pela Embrapa (2017)).

A composição da solução do solo foi determinada aos 60 dias após o início do experimento, quantificando os teores de Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio. Por meio dos resultados de sódio, potássio, cálcio e magnésio foram calculadas a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) conforme metodologia preconizada pela Embrapa (2017).

Para a obtenção da solução do solo foram coletadas, de cada vaso aproximadamente 100g de amostras de solo que foram encaminhadas ao laboratório de química aplicada para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Após a obtenção da terra fina seca ao ar, retirou-se 20g de solo que foram transferidos para erlenmeyers de 100 mL. Obedecendo uma proporção 1:2,5 conforme preconizado por Tavares e Freire (2015) foram adicionados 50 mL de água destilada. Ao solo nos erlenmeyers. A mistura foi agitada em mesa agitadora horizontal por dez minutos e então deixada em repouso por uma hora, após o repouso foram novamente agitadas por mais dez minutos e então filtradas com papel filtro. A solução resultante foi transferida para frascos, onde ficaram reservadas em freezer para posterior análise. Os valores de Na e K também foram obtidos por leitura direta via fotômetro de chama, utilizando uma amostra de 5 a 10 mL da solução do solo no equipamento.

A obtenção dos valores de Ca e Mg foi realizada por meio da dureza da solução do solo conforme preconizado pela Embrapa (2017). O método utilizado foi a titulometria com EDTA e os indicadores Negro de Eriocromo e Murexida, para dureza total e dureza do cálcio respectivamente.

Para a dureza total, foi medido 10 mL de solução do solo e aplicada 1 mL de solução tampão 0,1M da marca alfakit para estabilizar o pH, em seguida adicionou-se 0,5g do indicador negro de eriocromo T e agitou-se em erlenmeyer. Foi adicionado EDTA na bureta para titulação até que houvesse mudança de cor do violeta para azul claro. O valor gasto foi anotado para realizar o cálculo da dureza.

Equação 1: Dureza total

$$\text{Dureza Total} = \text{VEDTA} \times 20$$

Onde: VEDTA: volume gasto de EDTA na titulação

Para obter a dureza de cálcio foi medido 1 mL da solução do solo, adicionada a solução tampão, e em seguida, adicionado o indicador murexida. Agitou-se o erlenmeyer. Foi adicionado para titulação EDTA até que a coloração passasse de rosa para violeta. Foi anotado o volume gasto para ser feito o cálculo posteriormente.

Para a obtenção do magnésio em solução, foi calculada a diferença entre a dureza total e a dureza do cálcio.

Equação 2: Dureza do cálcio

$$\text{Dureza Ca} = (\text{VEDTA} * 20) * 0,4$$

Os valores de razão de adsorção de sódio (RAS) foram obtidos através de cálculos usando as concentrações obtidas entre Na, K, Mg e Ca análise de solo

Equação 3: Razão de adsorção de sódio

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}}{2}}$$

Onde: Na: Valor de sódio na solução do solo; Ca: Valor de dureza do cálcio na solução do solo, Mg: Valor da dureza do magnésio na solução do solo.

1.11 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, e as tabelas com os dados da análise de variância encontram-se nos anexos. A partir dos dados encontrados na análise de variância, os efeitos das variáveis da solução do solo foram submetidos à análise de regressão quando apresentaram significância pelo teste T. Para executar o processamento dos dados foi utilizado o programa estatístico PAST (PIMENTEL-GOMES, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.12 Uso agrícola do biossólido e da água residuária da suinocultura

Verificando a composição química do biossólido e da água residuária da suinocultura apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, nota-se que ambos os resíduos apresentam em sua composição, nutrientes de interesse agrônômico. Com base nos teores de nutrientes encontrados, existe a possibilidade de utilizar a água residuária e o biossólido como fonte adicional de nutrientes ao solo, assim como foi observado na água residuária utilizada nos trabalhos de Bonini; Alves; Montanari, 2015 e Dos Santos et al., (2020).

Ao comparar os valores observados na água residuária e no biossólido com os valores preconizados pelo CONAMA, não foram encontrados nenhum elemento tóxico ou metal pesado acima dos valores permitidos por lei, enquanto a água residuária também não ultrapassou nenhum limite disposto pelo órgão regulamentador, ao valores de salinidade como sódio e razão de adsorção de sódio também se mantiveram dentro do limite caracterizando a água como possível fonte auxiliar de irrigação e complementar de nutriente.

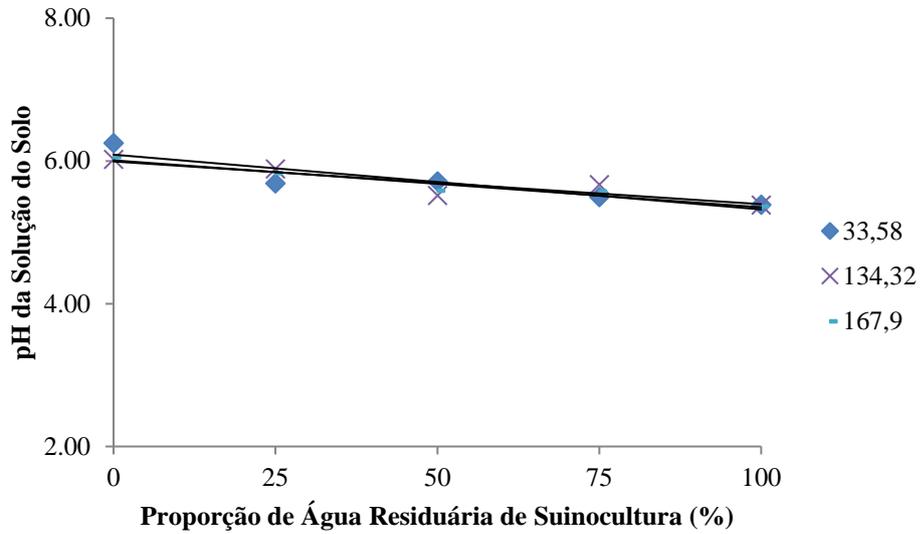
1.13 Análise da solução do solo

Ao realizar a análise de variância, houve interação significativa entre os fatores doses de biossólido e proporções de água residuária. Ao realizar os desdobramentos das interações para cada uma das doses e proporções, observou-se que para os fatores pH, CE, Ca e Mg foi possível obter uma equação linear ajustada para as interações. Para os fatores Na e K, apenas a proporções de água residuária tiveram efeito sob os dois nutrientes. Ao realizar a análise de regressão para a RAS, não foi possível obter uma equação ajustada sendo realizado um gráfico com os valores médios.

A utilização da água residuária de suinocultura associada à adubação orgânica acarretou alterações nos valores do pH, condutividade elétrica, cálcio e magnésio da solução do solo. Por sua vez, os teores de sódio, potássio e os valores da razão de adsorção de sódio e porcentagem do sódio trocável foram alterados apenas quando utilizada água residuária da suinocultura nas diferentes proporções.

Verifica-se na Figura 3 que o aumento da proporção de água residuária reduziu linearmente os valores do pH nas doses de 33,58, 134,32 e 167,90 g de biossólido. Por sua vez, ao utilizar as doses de 100 e 150% os valores do pH permaneceram constantes na solução do solo (Tabela 5).

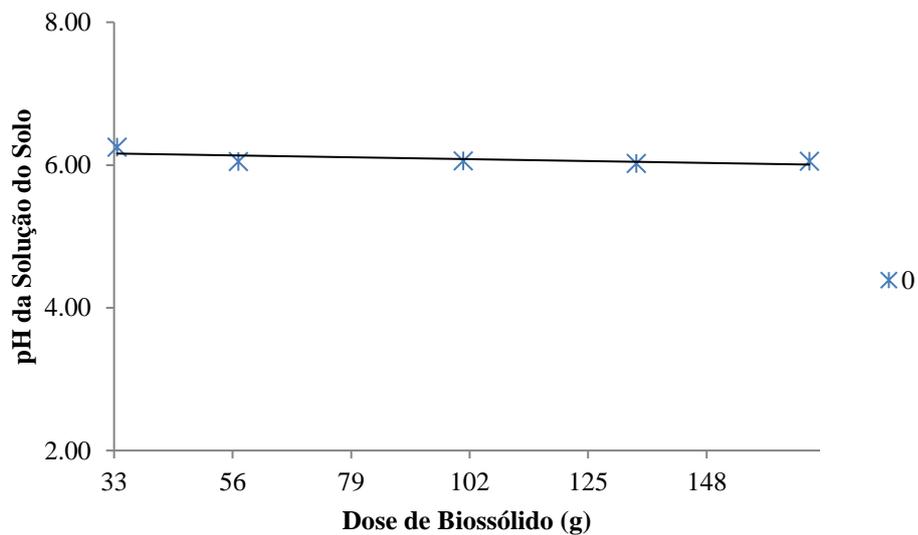
Figura 2: Valores de pH em função das proporções de água residuária de suinocultura



Fonte: O autor (2023)

Por sua vez, verifica-se na Figura 4 que o aumento das doses de biofóssido reduziu linearmente o pH na solução do solo somente quando se utilizou água de abastecimento interno. Quando a água residuária da suinocultura esteve presente nas proporções, o valor do pH da solução do solo manteve-se constante (Tabela 4)

Figura 3: Valores de pH em função das doses de biofóssido



Fonte: O autor (2023)

Tabela 7: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável pH em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.

Biossólido aplicado	Equações
33,58 (g)	pH= 6,088-0,0076 PRO* r ² =0,82
67,10 (g)	pH= 5,88
100,74 (g)	pH= 5,72
134,32 (g)	pH= 5,993-0,0059 PRO* r ² =0,81
167,90 (g)	pH= 6,008-0,0065 PRO** r ² =0,94
Proporção de Água Residuária de Suinocultura	Equações
0%	pH= 6,423-0,0044 DOS* r ² =0,88
25%	pH= 5,76
50%	pH= 5,62
75%	pH= 5,54
100%	pH= 5,67

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, * Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade.

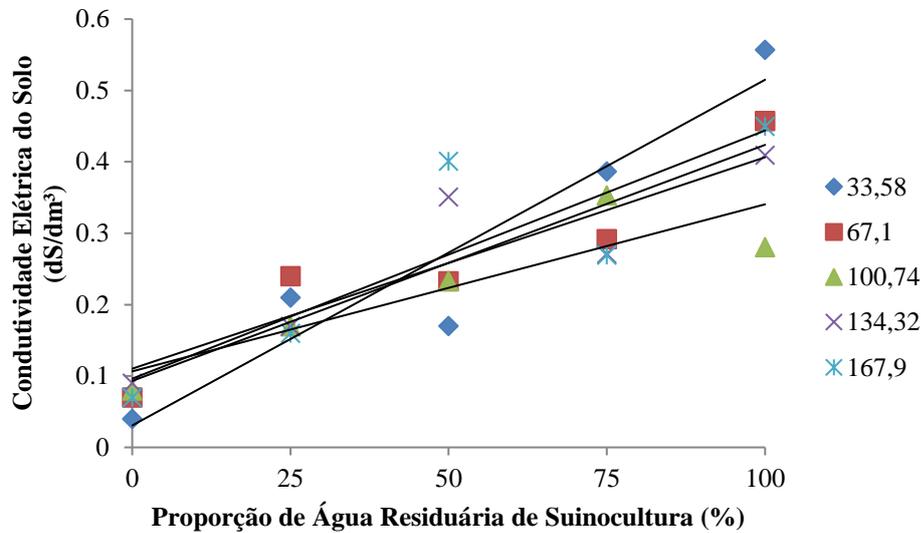
Fonte: O autor (2023)

Conforme abordado por DUARTE et al., (2008), por meio dos resultados obtidos pode-se afirmar que a decomposição do biossólido em contato com a água residuária da suinocultura promoveu a formação de ácido carbônico, liberando CO₂, diminuindo assim o pH da solução do solo. Associado à formação de ácidos orgânicos, o aporte de nitrogênio advindo do efluente e do biossólido também contribuiu para a redução do pH, pois segundo Bower (2000) neste processo a microbiota do solo, na presença de nitrogênio, aumenta o processo de decomposição, acarretando em acidificação do solo. Assim como no presente trabalho, Dal Bosco et al (2008) verificaram redução dos valores do pH após aplicação de água residuária de suinocultura no solo.

Contudo Lo Monaco et al., (2009), Vigilio et al., (2009); Silva et al., (2012) abordam que o tipo de tratamento e a composição química natural do solo também afetam os valores do pH da solução do solo mediante ao uso de água residuária da suinocultura

Verifica-se na Figura 5 que a CE da solução do solo aumentou linearmente com o incremento da proporção de água residuária da suinocultura em todas as doses de biossólido aplicadas.

Figura 4: Valores de condutividade elétrica em função da água residuária de suinocultura.

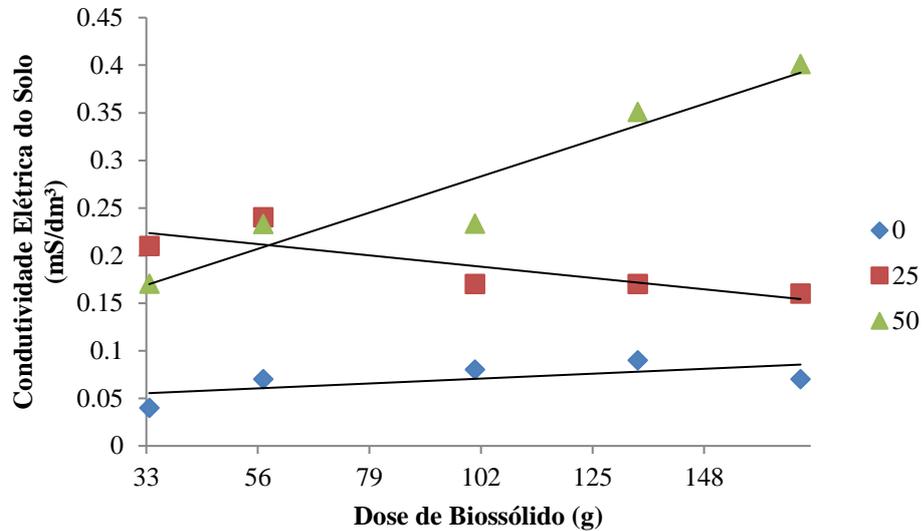


Fonte: O autor (2023)

De acordo com a reta da regressão, há um aumento da condutividade elétrica ao passo em que se aumenta a proporção de água residuária, isso ocorre devido ao aporte de sais e nutrientes presentes na água. Estes resultados reforçam a importância da adoção de propostas de manejo que promovam a manutenção da CE na solução do solo dentro de limites que não comprometam o desenvolvimento das culturas.

O incremento das doses de biofósforo associado ao uso de 75 e 100% de água residuária da suinocultura não proporcionou alterações na CE da solução do solo, a qual conforme apresentado na Tabela 5, permaneceu constante. Ao utilizar água de abastecimento (0%) e a proporção contendo 50% de água residuária, os valores da CE aumentaram linearmente. Por sua vez, quando utilizado 25% de água residuária na proporção os valores da CE reduziram com o incremento das doses de biofósforo. Em nenhuma das combinações aplicadas a condutividade elétrica atingiu valores críticos que impediam o desenvolvimento vegetal para culturas.

Figura 5: Valores da condutividade elétrica da solução do solo em função das doses de biossólido



Fonte: O autor (2023)

Tabela 8: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável Condutividade Elétrica em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.

Biossólido aplicado	Equações
33,58 (g)	$C\hat{E} = 0,0339 + 0,0049 \text{ DOS}^{**}$ $r^2 = 0,89$
67,10 (g)	$C\hat{E} = 0,0909 + 0,0033 \text{ DOS}^{**}$ $r^2 = 0,88$
100,74 (g)	$C\hat{E} = 0,1045 + 0,0023 \text{ DOS}^*$ $r^2 = 0,78$
134,32 (g)	$C\hat{E} = 0,1115 + 0,0029 \text{ DOS}^{**}$ $r^2 = 0,80$
167,90 (g)	$C\hat{E} = 0,1038 + 0,0034 \text{ DOS}^{**}$ $r^2 = 0,68$
Proporção de Água Residuária de Suinocultura	Equações
0%	$C\hat{E} = 0,0049 + 0,0008 \text{ PRO}^*$ $r^2 = 0,93$
25%	$CE = 0,2427 - 0,0003 \text{ PRO}^*$ $r^2 = 0,65$
50%	$CE = 0,0929 + 0,0012 \text{ PRO}^{**}$ $r^2 = 0,92$
75%	$CE = 0,31$
100%	$CE = 0,43$

Onde: CE: Condutividade elétrica, PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido,

* Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade.

Fonte: O autor (2023)

Analisando os valores da CE apresentados na Figura 6, sugere-se que o uso do biossólido promove a manutenção da salinidade da solução do solo seja reduzindo ou mantendo em valores médios.

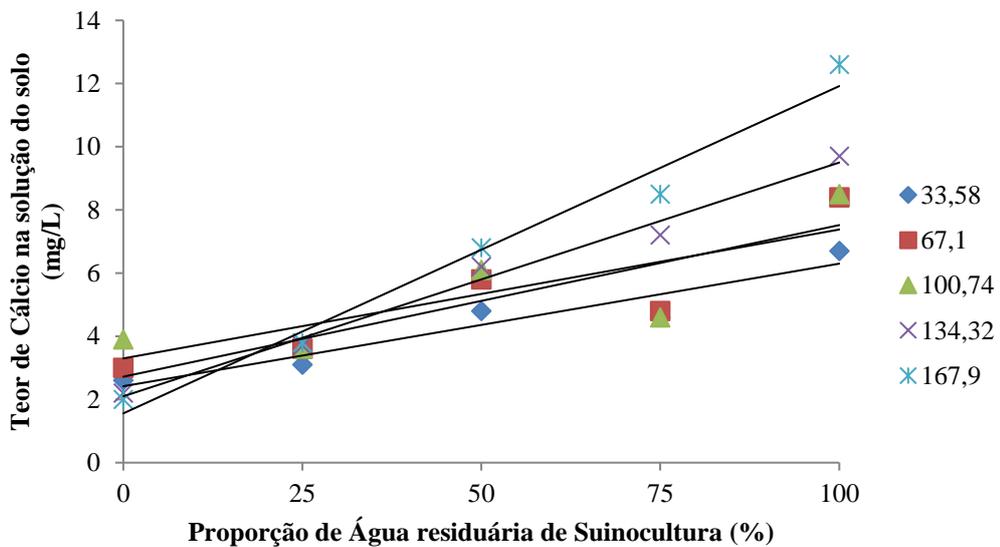
Embora a dose de 0%, em que não houve aporte de efluente, a CE tenha aumentado, esse efeito pode ocorrer devido à presença de sais que estão no biossólido como nitratos,

cloretos e sulfatos que, embora em menor quantidade, também afetam a salinidade (PEREIRA et al., 1983).

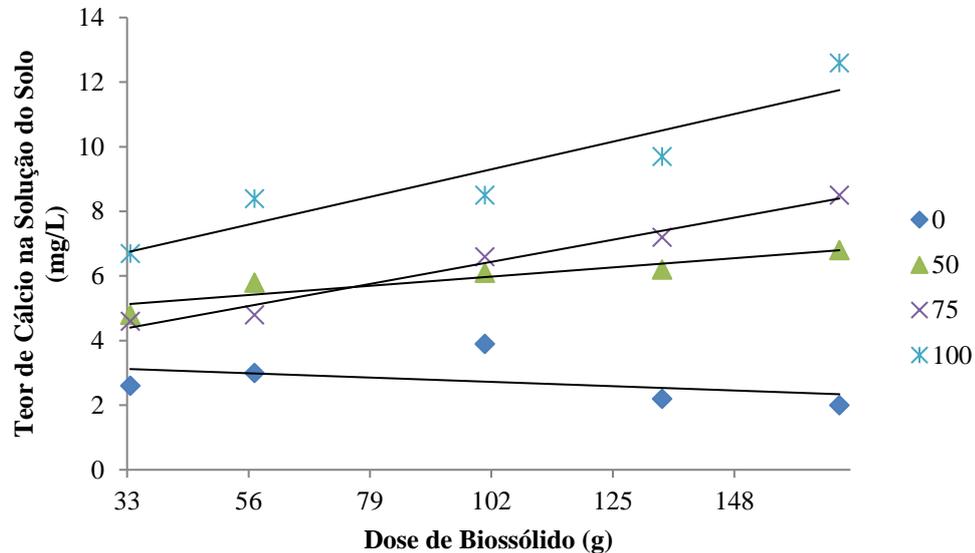
Em regiões áridas que sofrem por possuir extensa área cultivada com solos salinos, o uso de biofertilizante bovino atuou na redução da CE no extrato de saturação. Nessas condições, Nascimento et al. (2011) obtiveram resultados significativos entre os tratamentos com e sem a aplicação de biofertilizante bovino na CE do solo

Os teores de cálcio na solução do solo apresentados na Figura 7 e 8, aumentaram linearmente quando associados o uso de biossólido com a água residuária de suinocultura. A presença deste nutriente no efluente associado à incorporação de matéria orgânica advinda do biossólido contribuiu para o aumento da disponibilidade de cálcio em solução disponibilização do cálcio em solução. Outra fonte de cálcio que possibilitou o aumento dos teores do nutriente em solução foi o uso de cal no tratamento do biossólido que também aumenta a disponibilidade do nutriente.

Figura 6: Teores de cálcio em função das proporções de água residuária de suinocultura.



Fonte: O autor (2023)

Figura 7: Teores de cálcio na solução do solo em função das doses de biossólido

Fonte: O autor (2023)

Tabela 9: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável teor de cálcio na solução do solo em relação ao fator dose de biossólido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biossólido.

Biossólido aplicado	Equações
33,58 (g)	Ca= 2,42+0,0388 DOS * r ² =0,90
67,10 (g)	Ca= 2,72+0,048 DOS * r ² =0,79
100,74 (g)	Ca= 3,3+0,0488 DOS * r ² =0,90
134,32 (g)	Ca= 2,1+0,074 DOS ** r ² =0,90
167,90 (g)	Ca= 1,56+0,1036 DOS ** r ² =0,97
Proporção de Água Residuária de Suinocultura	Equações
0%	Ca= 2,33+0,0078 PRO * r ² =0,87
25%	Ca= 3,12
50%	Ca= 4,62+0,0088 PRO * r ² =0,89
75%	Ca= 2,88+0,0204 PRO * r ² =0,79
100%	Ca= 5,25+0,0262 PRO * r ² =0,89

Onde: Ca: Cálcio, PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, * Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade.

Fonte: O autor (2023)

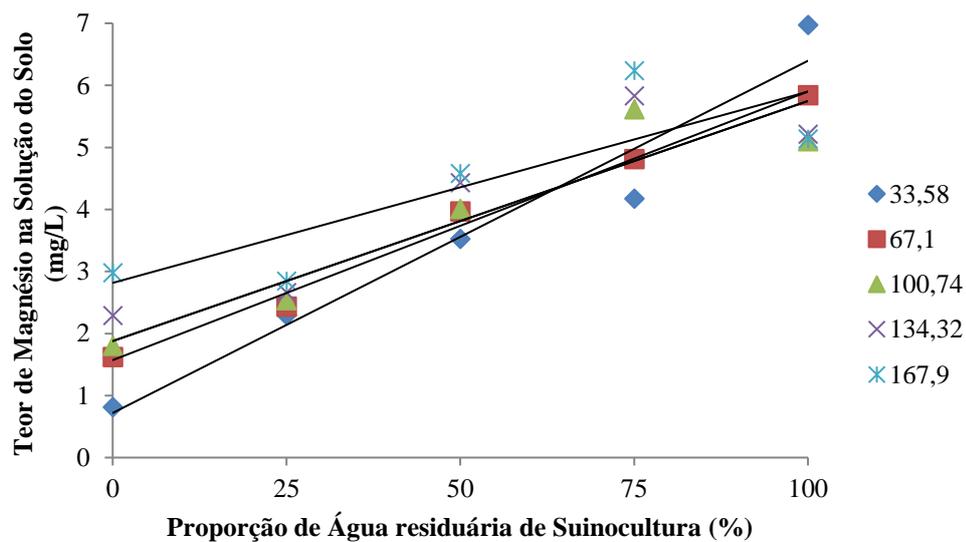
Ao comparar os teores de Ca obtidos no experimento com os trabalhos de outros autores, verifica-se que os valores de cálcio se assemelham aos de Santos et al., 2010; Coinaski et al., 2019. Essa diferença pode decorrer do tipo de tratamento aplicado na suinocultura bem como o tratamento feito no efluente. Efeitos similares foram encontrados nos trabalhos de De

Albuquerque et al., (2014) e De Melo et al., (2005) com diferentes fontes de efluente no aporte de cálcio.

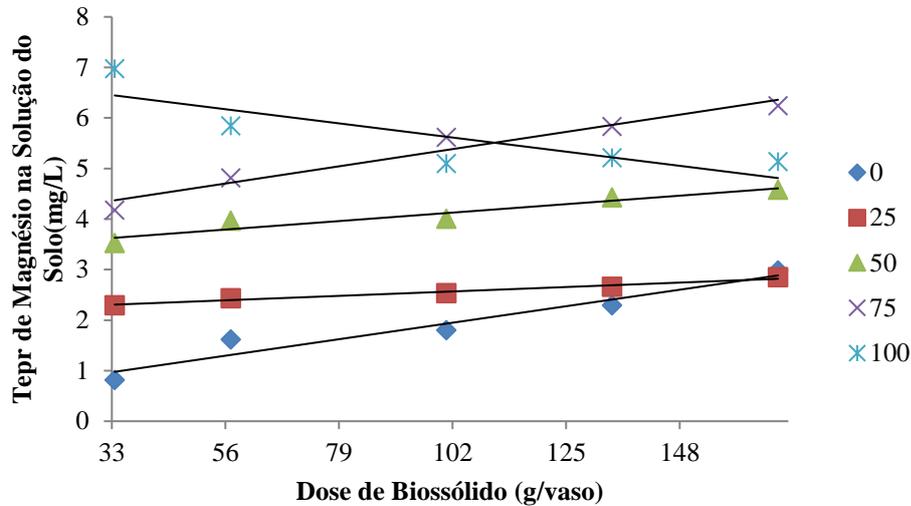
O uso de adubos orgânicos demonstrou efeitos positivos em outros trabalhos com a aplicação de esterco bovino, torta de mamona, e resíduos de curtume, melhorando os teores de cátions como cálcio no solo (PIRES et al., 2008; MACHADO et al., 1983). Embora a aplicação de maiores doses de biofóssido tenham aumentado os valores nutricionais do solo, é importante ressaltar a importância do controle da adubação orgânica, pois a mesma pode demandar de altas doses para atingir valores adequados para um nutriente e conseqüentemente elevar os teores de outros não desejados como micronutrientes (NASCIMENTO et al., 2009).

Pelas mesmas razões do ocorrido para o cálcio, nas Figuras 9 e 10, é possível verificar o aumento linear dos teores de magnésio com o uso associado do biofóssido e água residuária de suinocultura.

Figura 8: Teores de magnésio em função das proporções de água residuária de suinocultura.



Fonte: O autor (2023)

Figura 9: Teores de magnésio em função das doses de biofóssido.

Fonte: O autor (2023)

Tabela 10: Equações ajustadas e valores médios da regressão para a variável teor de magnésio na solução do solo em relação ao fator dose de biofóssido dentro fator proporções de água residuária e proporção de água residuária dentro fator doses de biofóssido.

Biofóssido aplicado	Equações
33,58 (g)	Mg = 0,7192+0,0567 DOS ** r ² =0,95
67,10 (g)	Mg = 1,571+0,0433 DOS ** r ² =0,99
100,74 (g)	Mg = 1,878+0,0386 DOS * r ² =0,80
134,32 (g)	Mg = 2,283+0,0360 DOS * r ² =0,83
167,90 (g)	Mg = 2,616+0,0388 DOS * r ² =0,87
Proporção de Água Residuária de Suinocultura	Equações
0%	Mg = 0,4024+0,01 PRO ** r ² =0,96
25%	Mg = 2,157+0,0026 PRO ** r ² =0,90
50%	Mg = 3,333+0,0051 PRO ** r ² =0,95
75%	Mg = 3,791+0,0003 PRO ** r ² =0,95
100%	Mg = 5,504+0,0095MAG-0,00006 PRO ² * r ² =0,90

Onde: Mg: magnésio, PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biofóssido, * Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade.

Fonte: O autor (2023)

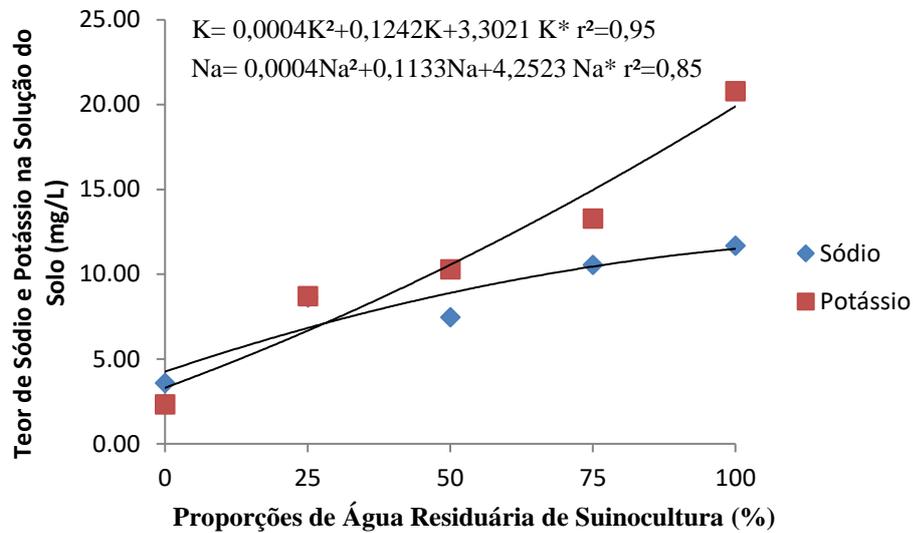
De acordo com as Figuras 9 e 10, os teores de magnésio apresentaram tendência a se elevar linearmente tanto com o aumento da proporção de água residuárias quanto nas diferentes doses de biofóssido. Entretanto na Figura 10 nos desdobramentos das proporções de água residuária dentro das doses de biofóssido, o gráfico apresenta tendência de aumento do teor de magnésio apenas entre as proporções de 0 a 75%, havendo uma queda ao aplicar a dose máxima. Essa queda pode ocorrer devido ao aumento de sulfatos presentes do biofóssido que precipita o Magnésio e reduz sua presença em solução.

A queda do nutriente não era esperada, visto que há um aporte de magnésio oriundo da água residuária. Condé et al. (2013) também observou um decréscimo no teor de magnésio no solo quando comparou o tratamento com aplicação de água comum e com aplicação de água residuária de suinocultura e com aplicação da água residuária aplicação máxima.

O aumento do magnésio em solução pode ocorrer devido ao seu aporte pela água residuária de suinocultura, que possui o nutriente na composição (Tabela 4) e também pela adição do bio sólido que também irá aumentar os teores do nutriente no solo. Caovilla et al (2010) e Dos Santos (2020) encontraram valores significativos no aumento do teor de magnésio ao aplicarem esterco bovino no solo. Já Erthal et al. (2010) encontraram valores similares de Magnésio em seu experimento com efluente de bovinocultura, porém em menor quantidade quando comparado ao cálcio.

O aumento dos teores de sódio e potássio na solução do solo, apresentados na Figura 11, decorrem-se do incremento destes nutrientes presentes na água residuária tratada da suinocultura. Estes resultados demonstram que o bio sólido utilizado no experimento, mesmo aplicando a dose de 167,9g de bio sólido, não promoveu a redução ou manutenção dos teores de sódio e potássio na solução do solo. Embora o uso do bio sólido não tenha reduzido ou mesmo promovido a manutenção constante dos teores de sódio e potássio, isso não reflete na sua ineficiência desta fonte de resíduo na mitigação dos efeitos deletérios da salinidade, visto que a os valores condutividade elétrica reduziram mediante a aplicação do bio sólido. Esses resultados corroboram com os dados de Batista et al. (2013); Granja et al. (2019) e Dos Santo et al. (2020) que também observaram redução dos efeitos tóxicos da salinidade ao aplicar diferentes resíduos orgânicos.

Figura 10: Teores de sódio e potássio em função das proporções de água residuária de suinocultura.



Fonte: O autor (2023)

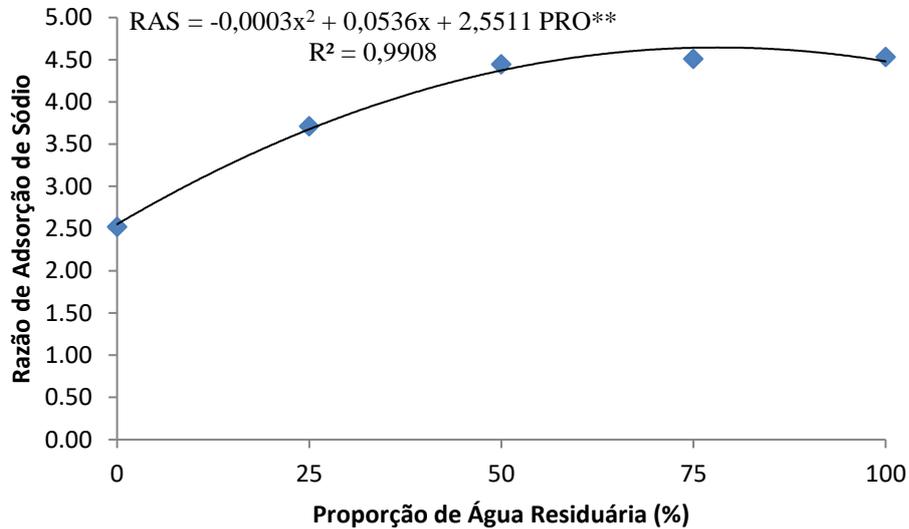
Onde: K: Potássio, Na: Sódio, PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, * Significativo a 5% de probabilidade.

O aumento nos teores de sódio e potássio verificado no presente estudo assim como verificado por De Melo et al., (2005) e Duarte et al., (2008) deve ser adotado como critério na escolha do uso de efluentes gerados em criação de suínos em cultivos agrícolas. Sousa et al., (2019) alertam que em culturas como feijoeiro e mamoeiro, mesmo que a adubação orgânica possa reduzir os efeitos negativos da salinidade, ainda poderá haver danos a cultura e redução da produção

1.14 Razão de adsorção de sódio (RAS)

Acompanhando os teores de sódio na solução do solo, verifica-se nas Figuras 12 e 13 que os valores da RAS não tiveram alteração significativas em decorrência da utilização das doses de biossólido, sendo alteradas apenas pelas proporções de água residuária, aumentando seus valores até próximo a utilização de 75% de água residuárias aplicada.

Figura 11: Valores da razão de adsorção de sódio em função das proporções de água residuária de suinocultura.



Fonte: O autor (2023)

A razão de adsorção de sódio segundo proposto por Richards (1970) deve enquadrar-se dentro de um limite para sua utilização para a irrigação e valores acima de 8 já são considerados altos e enquadram a água como fonte de salinidade e risco para utilização. Os valores encontrados para a concentração máxima de água residuária de suinocultura não elevaram a razão de adsorção de sódio do solo à um valor crítico e, portanto, não a impedem de ser utilizada na irrigação, quando conjugada com a adubação orgânica, pois o aumento de Ca e Mg é determinante para a redução dos valores da RAS e evitar os danos causados pelo sódio (OLIVEIRA et al., 2000).

CONCLUSÃO

A partir dos dados apresentados, foi constatado que tanto o bio sólido como a água residuária avaliados estão dentro dos parâmetros legais para serem utilizados no manejo agrícola. É possível concluir que aplicando-se um manejo correto e monitoramento constante da solução do solo e atributos do solo, o uso de água residuária de suinocultura pode ser utilizada como fonte alternativa na irrigação e complementar na fertilização do solo. Não houve alteração nos físicos químicos do solo como pH, CE e RAS significava para causar danos ao solo.

O uso de bio sólido como adubo orgânico possui características para ser utilizado na agricultura como fonte auxiliar de nutrientes e devido as suas características também pode atuar como mitigador da salinidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), **Resolução n°02 de 27 de Janeiro de 2015**. <https://agerh.es.gov.br>. Acesso em: 31/01/2023

AL-SUHAIBANI, Nasser et al. **Integrative Effects of Treated Wastewater and Synthetic Fertilizers on Productivity, Energy Characteristics, and Elements Uptake of Potential Energy Crops in an Arid Agro-Ecosystem**. *Agronomy*, v. 11, n. 11, p. 2250, 2021.

ALVES, Pablo Fernando Santos et al. **Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, p. 833-839, 2018.

ANDRADE, E. M. et al. **Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, Ceará**. *Revista Ciência Agronômica*, v.35, p.9-16, 2004.

ANDREOLA, Faustino; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, Nelci. **Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 857-865, 2000.

AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**. *Ciência & saúde coletiva*, v. 17, p. 1511-1522, 2012.

AYARS, J.E. et al. **The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: a review**. *Irrig Sci* 24, 147–160. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0003-y> 2006.

BARROS, Flávia M. et al. **Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 47-51, 2021.

BATISTA, Raquel Oliveira et al. **Efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em substrato de resíduos sólidos urbanos**. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, p. 180-191, 2013.

BOLINCHES, Antonio et al. **A method for the prioritization of water reuse projects in agriculture irrigation**. *Agricultural Water Management*, v. 263, p. 107435, 2022.

BONINI, Carolina SB; ALVES, Marlene C.; MONTANARI, Rafael. **Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, p. 388-393, 2015.

BRESLER, Eshel; MCNEAL, Brian L.; CARTER, David L. **Saline and sodic soils: principles-dynamics-modeling**. Springer Science & Business Media, 2012.

CAOVILLA, Franciele A. et al. **Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 692-697, 2010.

CAVALCANTE, Lourival Ferreira et al. **Água salina e esterco bovino líquido na formação de mudas de goiabeira cultivar Paluma**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 32, p. 251-261, 2010.

CHEHAB, Hechmi et al. **Effects of compost, olive mill wastewater and legume cover crop on soil characteristics, tree performance and oil quality of olive trees cv. Chemlali grown under organic farming system**. Scientia Horticulturae, v. 253, p. 163-171, 2019.

COINASKI, Djavan Antonio et al. **Ectomicorrização e composto de água residuária de suinocultura no crescimento de Ilex paraguariensis A. St.-Hil. cultivada em solo contaminado com cobre**. Dissertação de mestrado, Rio Grande do Sul, 2019.

CONDÉ, Marisa Senra et al. **Impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo**. Revista Vértices, v. 15, n. 2, p. 161-178, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, **Resolução CONAMA n°357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br>. Acesso em: 31/01/2023.

DAL BOSCO, Tatiane C. et al. **Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo**. Engenharia Agrícola, v. 28, p. 699-709, 2008.

DE ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010., 2010.

DE ALBUQUERQUE BONINI, Monica et al. **Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça**. Revista Biociências, v. 20, n. 1, 2014.

DE MÉLO, Ralini Ferreira et al. **Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca**. Irriga, v. 10, n. 4, p. 399-408, 2005.

DE MELO, Mara Rubia Mendes et al. **Água Residuária Como Alternativa de Irrigação em Duas Cultivares de Feijão.** *Irriga*, v. 25, n. 2, p. 388-401, 2020.

DE OLIVEIRA MESQUITA, Francisco et al. **Avaliação da taxa de crescimento absoluto de mamão Havaí sob o efeito salino e de biofertilizante: Parte I.** *Magistra*, v. 26, n. 4, p. 443–455-443–455, 2014.

DE SOUSA, Geocleber Gomes et al. **Características agronômicas do amendoinzeiro sob irrigação com águas salinas em solo com biofertilizantes.** *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 6, n. 2, p. 124-132, 2012.

DIAS, N. da S.; BLANCO, Flávio F. **Efeitos dos sais no solo e na planta.** 2010.

DINIZ NETO, Manoel A. et al. **Mudas de oiticica irrigadas com águas salinas no solo com biofertilizante bovino e potássio.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 10-18, 2014.

D'ODORICO, Paolo et al. **The global value of water in agriculture.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 36, p. 21985-21993, 2020.

DOS SANTOS, Rilbson Henrique Silva et al. **Matéria orgânica como atenuante da salinidade da água de irrigação na cultura do milho.** In: *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215.p. 84-93, 2020.

DOS SANTOS ZANUNCIO, Angelita et al. **Biofertilizante orgânico na cultura do feijoeiro comum.** *Research, Society and Development*, v. 9, n. 5, p. e192953279-e192953279, 2020.

DUARTE, Anamaria S. et al. **Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 302-310, 2008.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos.** 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas.** 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB, 1997.

GHEYI, Hans Raj; DA SILVA DIAS, N.; DE LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010.

GRANJA, Mateus Batista et al. **Variedades de feijão-fava submetidas à níveis de salinidade e adubação orgânica**. In: *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215. P. 104-114, 2019.

HAFEZ, A. A. R. **Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals**. *Soil Science*, v. 118, n. 1, p. 53-59, 1974.

JARAMILLO, María Fernanda; RESTREPO, Inés. **Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits**. *Sustainability*, v. 9, n. 10, p. 1734, 2017.

KAFKAFI, U. **Plant nutrition under saline conditions**. In: **Shainberg, I.; Shalvet, J. (ed.) Soil salinity under irrigation: Processes and management**. Berlin: Springer, 1984.

LO MONACO, P. A., et al. **Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. *Irriga, Botucatu*, v. 14, n. 3, p. 348-364, 2009.

MALAFAIA, Guilherme et al. **Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica**. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, p. 799-809, 2016..

MEDEIROS, Reinaldo F. et al. **Crescimento inicial do tomateiro-cereja sob irrigação com águas salinas em solo com biofertilizantes bovino**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 5, p. 505-511, 2011.

MEENA, Murli Dhar et al. **Municipal solid waste (MSW): Strategies to improve salt affected soil sustainability: A review**. *Waste management*, v. 84, p. 38-53, 2019.

MILEN, Larissa Cabral, **Escoamento Superficial em Rampas Cultivadas Com Capim Marandu no Tratamento de Efluente da Suinocultura**, 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIO E ABASTECIMENTO,
<https://sistemasweb.agricultura.gov.br>. Acesso em: 31/01/2023.

NASCIMENTO, José AM et al. **Efeito da utilização de biofertilizante bovino na produção de mudas de pimentão irrigadas com água salina**. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 2, p. 258-264, 2011.

NASCIMENTO, MBH do et al. **Propriedades químicas do solo cultivado com mamona, irrigado com água residuária tratada e adubado com biossólido**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 4, n. 1, p. 8-15, 2009.

OLIVEIRA, Rubens Alves et al. **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, v. 4, p. 263-267, 2000.

PAUL, Eldor (Ed.). **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. Academic press, 2014.

PAZ, Vital Pedro da Silva; TEODORO, Reges Eduardo Franco; MENDONÇA, Fernando Campos. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 465-473, 2000.

PEREIRA, J. R. **Solos salinos e sodicos**. Embrapa, 1983.

PIRES, André Assis et al. **Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1997-2005, 2008.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. Digitaliza Conteudo, 2023.

RICE, Eugene W. et al. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American public health association, 2012.

RICHARDS. L.A. (Ed.). **Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos**. 5. ed. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 172 p. 1970.

RÓS, Amarílis Beraldo; NARITA, Nobuyoshi; HIRATA, Andréia Cristina Silva. **Produtividade de batata-doce e propriedades físicas e químicas de solo em função de adubação orgânica e mineral**. Semina: Ciências Agrárias, v. 35, n. 1, p. 205-214, 2014.

SILVA, Jonathas Batista Gonçalves et al. **Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite**. Irriga, v. 1, n. 01, p. 250-263, 2012.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. **Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, p.11-17, 1999.

SOUSA, Geocleber Gomes de et al. **Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas**. Revista Ciência Agronômica, v. 43, p. 237-245, 2012.

SOUSA, Mônica S. da S. et al. **Organic fertilization to attenuate water salinity effect on papaya growth.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, p. 79-83, 2019.

SOUZA, Renato Ferreira de et al. **Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 975-983, 2006.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed Editora, 2017.

TAVARES, SR de L.; FREIRE, MJ da N. **Comparação de métodos de extração da solução do solo realizadas no Laboratório de Solos da EMPARN no Rio Grande do Norte.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015

ZHANG, Y., SHEN, Y **Wastewater irrigation: past, present, and future.** Wiley **Interdiscip.** Rev. Water 6 (3), p.e1234. <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>, 2019.

ANEXOS

Tabela 11: Análise de variância da condutividade elétrica para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	0,3674	136,89**
DOS	4	0,0091	3,418**
INT	16	0,0227	8,49**
(PRO+DOS)			
RES	75	0,0026	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 12: Análise de variância do pH para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	0,8823	27,007**
DOS	4	0,1412	4,324**
INT	16	0,2742	8,394**
RES	75	0,0326	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 13: Análise de variância do sódio na solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	200,9632	42,620**
DOS	4	2,5697	0,545 ^{NS}
INT	16	4,2820	0,908 ^{NS}
RES	75	4,7152	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 14: Análise de variância do potássio em solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	909,4802	40,307**
DOS	4	27,1001	1,201 ^{NS}
INT	16	38,6945	1,715 ^{NS}
RES	75	22,5640	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 15: Análise de variância do Magnésio em solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	89,1827	116**
DOS	4	2,9835	3,88**
INT	16	1,7767	2,311**
RES	75	0,7689	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 16: Análise de variância do cálcio em solução do solo para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	134,692	96,72**
DOS	4	13,372	9,60**
INT	16	6,384	4,584 ^{NS}
RES	75	1,3525	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 17: Análise de variância da razão de adsorção de sódio para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F _{calc}
PRO	4	15,86	12,84**
DOS	4	0,6508	0,5268 ^{NS}
INT	16	1,5708	1,272 ^{NS}
RES	75	1,2353	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.

Tabela 18: Análise de variância da porcentagem de sódio trocável para os fatores proporção de água residuária e dose de biossólido, e a interação dentre os fatores.

Fonte de variação	GL	QM	F_{calc}
PRO	4	2911,58	13,42**
DOS	4	361,488	1,666 ^{NS}
INT	16	210,36	0,9693 ^{NS}
RES	75	217,019	

Onde: PRO: Proporção de água residuária de suinocultura, DOS: Dose de biossólido, INT: interação entre fatores, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade, NS: Não significativo.