

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

Fertirrigação de Rúcula e Rabanete com
Biofertilizante Produzido na Unidade Piloto de
Tratamento de Água Residuária de Bovinocultura de
Leite

Assamo Fernando Massache

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**FERTIRRIGAÇÃO DE RÚCULA E RABANETE COM
BIOFERTILIZANTE PRODUZIDO NA UNIDADE PILOTO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA DE
LEITE**

ASSAMO FERNANDO MASSACHE

Sob a Orientação do Professor
Leonardo Duarte Batista da Silva

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Engenharia Agrícola e Ambiental, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Seropédica, RJ
Julho de 2024

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M414f Massache, Assamo Fernando, 1989-
 Fertirrigação de rúcula e rabanete com
 biofertilizante produzido na Unidade Piloto de
 Tratamento de água residuária de bovinocultura de
 leite / Assamo Fernando Massache. – Seropédica-RJ,
 2024.
 41 f.: il.

 Orientador: Leonardo Duarte Batista da Silva.
 Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
 do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agrícola e
 Ambiental, 2024.

 1. Horticultura. 2. Gestão de resíduos. 3.
 Sustentabilidade. I. Silva, Leonardo Duarte Batista da,
 1971-, orient. II Universidade Federal Rural do
 Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agrícola e
 Ambiental III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL

Assamo Fernando Massache

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 29/07/2024.

Leonardo Duarte Batista da Silva. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Leonardo da Silva Hamacher. Dr. UFF

Marcos Filgueiras Jorge. Dr. UFRRJ



ATA N° 3031/2024 - PPGEAAMB (12.28.01.00.00.00.40)

(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 30/07/2024 16:14)

LEONARDO DUARTE BATISTA DA SILVA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)

Matricula: ###531#1

(Assinado digitalmente em 30/07/2024 12:28)

LEONARDO DA SILVA HAMACHER

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.547-##

(Assinado digitalmente em 19/08/2024 19:15)

MARCOS FILGUEIRAS JORGE

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.857-##

(Assinado digitalmente em 30/07/2024 12:16)

ASSAMO FERNANDO MASSACHE

DISCENTE

Matricula: 2022#####6

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: **3031**, ano: **2024**, tipo: **ATA**, data de emissão: **30/07/2024** e o código de verificação: **eb8addf991**

DEDICATÓRIAS

Aos meus Pais, que foram capazes de dedicar todos seus esforços como camponeses para criarem seus filhos com honradez, dignidade.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus o todo poderoso, pelo dom da vida, saúde e por ter me acompanhado durante toda esta caminhada.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela atenção durante a realização do meu mestrado e a CAPES, pelo financiamento da bolsa de estudo

Agradeço a minha mãe, Cecília Mortar e meu pai, Fernando Assamo que direta ou indiretamente tem me apoiado bastante para o meu progresso.

Agradeço a minha esposa Argentina Acácio e a minha filha Nayara Fernando Assamo pela força e inspiração durante o período dos estudos.

Agradeço aos meus irmãos, Mario Assamo, Razia Assamo, Joaquina Assamo e Ilídio Fernando, pelo carinho e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Leonardo Duarte Batista Silva pela contribuição e toda dedicação na orientação do projeto de dissertação.

Aos grupos de pesquisa da EMBIO, Emily, João, Nathalia Machado, Paz Antônio, Wesley Brito em especial ao Jorge Marcos pelo ensinamento.

Ao meu grande amigo Luiz Fernando pela atenção e ensinamento durante o período do mestrado.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia) e Fazendinha do Km 47, por concessão do espaço para realização dos experimentos, e em especial ao pesquisador Raul, Dione e aos Srs. Zezinho, Cacá pela partilha de conhecimento durante o experimento do campo.

RESUMO

MASSACHE, Assamo Fernando. **Fertirrigação de rúcula e rabanete com biofertilizante produzido na Unidade Piloto de Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite.** 2024. 28p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

A bovinocultura leiteira em confinamento visa elevar a eficiência produtiva, mas enfrenta desafios ambientais significativos no manejo dos resíduos gerados, ricos em nutrientes e material orgânico, com potencial poluente. Nesse sentido, os sistemas de alagados construídos (SAC) são uma solução economicamente viável para tratar efluentes, incluindo água residuária da bovinocultura (ARB), sendo valorizados por suas características estéticas e ambientais. Destarte, essa pesquisa buscou avaliar o desempenho agrônomo do rabanete e rúcula cultivados em vasos com substrato proveniente da compostagem termofílica, fertilizados com ARB. O experimento foi conduzido no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) em Seropédica-RJ. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com doses de ARB representando 0%, 100%, 200% e 300% da necessidade de nitrogênio das culturas. Os resultados demonstraram que as diferentes doses de ARB não resultaram em diferenças estatisticamente significativas na maioria dos parâmetros fitotécnicos do rabanete e rúcula. Contudo, a dose de 200% de ARB proporcionou maiores valores médios para várias variáveis, e volumes maiores de ARB mostraram-se promissores para alguns aspectos específicos das plantas, como o número de folhas e comprimento de raízes. A pesquisa sugere que o uso cuidadoso de ARB pode maximizar os benefícios no cultivo de rabanetes e rúcula, destacando a necessidade de um manejo equilibrado do uso de ARB.

Palavras-Chave: Horticultura. Gestão de resíduos. Sustentabilidade.

ABSTRACT

MASSACHE, Assamo Fernando. **Fertirrigação de rúcula e rabanete com biofertilizante produzido na Unidade Piloto de Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite.** 2024. 28p. Dissertation (Master's in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Engineering Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Confined dairy farming aims to increase productive efficiency but faces significant environmental challenges in managing waste, which is rich in nutrients and organic material with polluting potential. In this context, constructed wetland systems (CWS) are an economically viable solution for treating effluents, including dairy cattle wastewater (DCW), and are valued for their aesthetic and environmental characteristics. Thus, this research aimed to evaluate the agronomic performance of radish and arugula cultivated in pots with substrate from thermophilic composting, fertilized with DCW. The experiment was conducted at the Integrated Agroecological Production System (SIPA) in Seropédica-RJ. The experimental design was completely randomized, with DCW doses representing 0%, 100%, 200%, and 300% of the crops' nitrogen needs. The results showed that the different DCW doses did not result in statistically significant differences in most of the agronomic parameters of radish and arugula. However, the 200% DCW dose provided higher average values for several variables, and higher volumes of DCW proved promising for some specific plant aspects, such as the number of leaves and root length. The research suggests that careful use of DCW can maximize the benefits in cultivating radishes and arugula, highlighting the need for balanced management of DCW use.

Keywords: Horticulture. Waste Management. Sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros físico-químico da água residuária da bovinocultura coletado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica da Fazendinha Agroecológica do km 47, Seropédica-RJ	8
Tabela 2. Caracterização química do organossolo antes de aplicação de ARB.	11
Tabela 3. Análises microbianas de microbiológico de rabanete.....	12
Tabela 4. Análise química e físico-química do substrato organossolo após os experimentos de rúcula e rabanete	17

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esterqueira para acúmulo de ARB produzida no SIPA (a); bombeamento instalado com proteção de tubulação de sucção (b); tanque séptico (c, d, e) 8
- Figura 2.** Bandeja de rúcula e rabanete uma semana após a semeadura. 10
- Figura 3.** Tubos de ensaio da análise microbiológica do rabanete. 11
- Figura 4.** Valores médios dos parâmetros fitotécnicos do rabanete cultivado em vasos e fertirrigado com diferentes doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB), colhidos aos 40 dias após o transplante, ano de 2023. A) massa fresca de parte aérea (MFPA); B) massa seca de parte aérea (MSPA); C) massa fresca de bulbo (MFB); D) massa seca de bulbo (MSB); E) diâmetro de bulbo (DB); F) número de folhas (NF); G) altura de planta (AP). Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 14
- Figura 5.** Valores médios dos parâmetros fitotécnicos do rabanete cultivado em vasos e fertirrigado com diferentes doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB), colhidos aos 40 dias após o transplante, ano de 2024. A) massa fresca de parte aérea (MFPA) 15
- Figura 6.** Valores médios dos parâmetros fitotécnicos da rúcula cultivada em vasos e fertirrigado com diferentes doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB), colhidas aos 30 dias após o transplante, ano de 2024. A) massa fresca de parte aérea (MFPA); B) massa seca de parte aérea (MSPA); C) massa fresca de raízes (MFR); D) massa seca de raízes (MSR); E) comprimento de raízes (CR); F) número de folhas (NF); G) altura de planta (AP). Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 16

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ARB - Água residuária de bovinocultura de leite

AF - Área foliar

APHA - American Public Health Association

CE - Condutividade Elétrica

DAS - Dias após a sementeira

DAT - Dias após o transplântio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

MFPA - Massa fresca da parte aérea

MSPA - Massa seca da parte aérea

MSR - Massa seca de raízes

NF - Número de folhas

NTK - Nitrogênio Kjeldahl Total

SAC - Sistema de alagados Construído

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Água Residuária de Bovinocultura (ARB).....	3
2.2 Alagados Construídos.....	4
2.3 Biofertilizantes	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Água Residuária de Bovinocultura.....	7
3.2. Caracterização Física, Química da Água Residuária de Bovinocultura	7
3.3 Produção de Rúcula, Rabanete e Delineamento Experimental	10
3.4 Análises microbianas de salmonela e <i>E. coli</i> no rabanete	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5 CONCLUSÕES.....	19
6 REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura leiteira em confinamento tem como objetivo elevar a eficiência produtiva, viabilizando maior densidade animal por área. Contudo, enfrenta-se um desafio ambiental significativo no manejo dos resíduos gerados. Estes resíduos, ricos em nutrientes e material orgânico, apresentam potencial poluente, podendo prejudicar os solos e causar eutrofização dos corpos d'água (Jorge, 2018; Duarte, 2019).

O uso do solo para tratar águas residuais provenientes de atividades agroindustriais e domésticas é uma abordagem atrativa, especialmente em ambientes tropicais e em regiões com espaço disponível, como é o caso do Brasil. Essa prática fundamenta-se na habilidade do sistema solo-planta em depurar as águas, empregando mecanismos físicos, químicos e biológicos para remover os poluentes presentes nos efluentes (Erthal *et al.*, 2010). Além disso, os efluentes orgânicos oriundos de sistemas de produção leiteira confinada, quando lançados num corpo receptor, provocam alterações físicas e químicas nos mananciais, oferecem riscos à saúde pública e ao abastecimento, porque podem estar presentes na água potável elementos patogênicos e/ou tóxicos (Silva *et al.*, 2018).

Os sistemas de alagados construídos (SAC) têm uma ampla aplicação para o tratamento de diversos tipos de efluentes, tais como a água residuária da bovinocultura (ARB). Esses sistemas são reconhecidos por serem economicamente acessíveis em termos de implantação, operação e manutenção, e estão em constante evolução global. Além disso, essa abordagem tem se adaptado bem em várias configurações, oferecendo uma integração harmoniosa com o ambiente, sendo também valorizada por suas características estéticas e paisagísticas (Pelissari *et al.*, 2019). O SAC é um método biológico passivo adequado para o tratamento de ARB. Os principais benefícios do SAC compreendem custos de construção relativamente baixos, baixos custos de operação e manutenção (Benny; Chakraborty, 2023).

A agricultura orgânica tem demonstrado ao longo do tempo um impacto positivo no meio ambiente, promovendo a reciclagem de nutrientes, permitindo que a fertilidade do sistema solo-planta seja mantida exclusivamente por matéria orgânica e reduzindo a quantidade de fertilizantes sintéticos que entram no sistema agrícola. Embora o mercado de produtos orgânicos esteja crescendo local e globalmente, e a demanda aumente nos próximos anos, o custo associado à produção de nutrientes de alta qualidade a partir de resíduos orgânicos ainda apresentam custos elevados (López-Mosquera *et al.*, 2011; Nenciu *et al.*, 2022).

As práticas agroecológicas melhoram os serviços ecossistêmicos em áreas de horticultura, o que é extremamente relevante para o aprimoramento da agroecologia no contexto atual (PALOMO-CAMPESINO *et al.*, 2022) e estão alinhadas aos “Objetivos do Desenvolvimento Sustentável” (ODS) previstos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), na busca por sistemas produtivos sustentáveis.

Para alcançar do ODS, o setor agrícola deve assumir um papel de liderança na reversão das muitas tendências ambientais negativas aparentes nas paisagens agrícolas de hoje para garantir que elas se adaptem e sejam resilientes às mudanças climáticas. Isso exigirá mudanças fundamentais na forma como se pratica a agricultura do ponto de vista ambiental (Shahmohamadloo *et al.*, 2022).

Substituir o solo por materiais orgânicos compostados está se tornando mais popular, pois estimula as plantas e ajuda o sistema radicular a crescer de forma saudável. Os compostos orgânicos produzidos por compostagem, vermicompostagem ou outros processos semelhantes apresentam alta aeração, boa estrutura, capacidade de retenção de água e capacidade de controlar melhor a temperatura do substrato (Nenciu *et al.*, 2022).

Outro componente que pode se associar aos compostos orgânicos, complementando sua fertilidade, é a água residuária de bovinocultura (ARB). A ARB é o subproduto líquido das atividades da produção leiteira, originado dos procedimentos diários de limpeza dos currais de confinamento. Na sua composição há predominantemente excrementos e urina dos animais, restos de leite, detergente e um volume significativo de água proveniente da higienização de currais (Jorge *et al.*, 2022a).

O uso da ARB na fertilização de plantas é crucial por várias razões. Além de proporcionar nutrientes essenciais às culturas, há a possibilidade de redução da poluição hídrica ao reaproveitar os resíduos da bovinocultura. A ARB possui potencial para a complementação ou substituição da adubação nitrogenada convencional, sendo uma alternativa econômica, circular e sustentável (Carvalho *et al.*, 2020). Ademais, a sua aplicação em sistemas de produção agroecológica tem demonstrado eficiência para diferentes culturas (Jorge, 2018; Souza, 2020; Jorge *et al.*, 2022a).

A utilização de águas residuais para fins agrícolas é uma realidade atual e futura. Mais de um terço das hortaliças e um quarto das colheitas de cereais são produzidos usando águas residuais no mundo (Elahi *et al.*, 2017). Ante ao exposto, utilizar a ARB como fertilizante via fertirrigação representa uma alternativa para o fornecimento de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio.

Destarte, a presente dissertação consistiu em avaliar o desempenho agronômico do rabanete e rúcula cultivados em vasos com substrato proveniente da compostagem termofílica fertilizadas com água residuária da bovinocultura leiteira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Água Residuária de Bovinocultura (ARB)

Nos últimos anos, a bovinocultura, suinocultura e avicultura têm adotado sistemas intensivos de criação, também chamados de sistemas de confinamento. Essa mudança trouxe vantagens como a redução do tempo de terminação dos animais e uma utilização mais eficiente do solo, porém também resultou na produção em larga escala de resíduos, incluindo fezes, urina, restos de ração e água utilizada na limpeza das instalações, em uma área menor (Silva, 2021).

Atualmente, a bovinocultura leiteira é uma das principais atividades agropecuárias globalmente, com o leite sendo um produto versátil consumido em diversas formas, além de representar uma importante fonte de renda e emprego para muitas pessoas (Vilela *et al.*, 2016). Os sistemas de criação em confinamento chegam a demandar de 200 a 250 litros de água por unidade animal por dia com sistemas de limpeza hidráulica (Carvalho; Silva, 2006). Segundo Bewley *et al.* (2017), a adoção desses sistemas intensivos cresceu recentemente, especialmente devido ao avanço da pecuária leiteira. Assim, identificar as etapas que mais consomem água permite propor soluções para um uso mais eficiente desse recurso e reduzir desperdícios. O consumo de água para a remoção de dejetos em sistemas de criação pode chegar a 380 litros por vaca por dia, ou 70 litros por metro quadrado por dia (Otenio, 2020). A água utilizada na limpeza dos sistemas de confinamento se mistura aos resíduos orgânicos, resultando em um grande volume de esterco líquido. Quando mal manuseada, essa grande quantidade de água residuária da bovinocultura leiteira pode contaminar o solo e os corpos d'água com uma carga excessiva de nutrientes, podendo ocorrer via lixiviação, infiltração no solo até o lençol freático ou lançamento direto em rios e lagos (Sampaio, 2022).

O esterco bovino é uma mistura de substâncias parcialmente digeridas no trato digestivo desses ruminantes e contém uma alta concentração de fibras que variam dependendo dos alimentos consumidos (He; Pagliari; Waldrip, 2016). Além do esterco, a atividade leiteira também gera água residuária, que é a água descartada após diversas atividades, como a lavagem dos pisos na área de semiconfinamento, podendo ser utilizada para fins agrícolas conforme a demanda por nutrientes do solo e da cultura.

O nitrogênio e o fósforo são os macronutrientes mais abundantes na água residuária da bovinocultura leiteira (Pelissari *et al.*, 2013). Quando despejados em corpos d'água em grande quantidade, podem causar o crescimento excessivo de algas, trazendo sérios danos ao ambiente aquático (Silva, 2021). O efluente gerado em sistemas de confinamento e semiconfinamento leiteiro varia entre 9 a 12% do peso vivo do animal por dia, dependendo da quantidade de urina excretada, que, por sua vez, está relacionada à quantidade de água ingerida pelos bovinos e da quantidade de água utilizada na limpeza dos equipamentos, na sala de ordenha e no manejo alimentar (Campos *et al.*, 2011).

A água residuária da bovinocultura leiteira também depende da dieta das vacas em lactação, que é definida de acordo com os requerimentos nutricionais necessários para a produção de leite, além de considerar o nível de produção, o estágio da lactação, a idade da vaca, o consumo esperado de matéria seca, a condição corporal e os tipos e valores nutritivos dos alimentos a serem utilizados (Carvalho *et al.*, 2003).

Forragens e grãos são os alimentos mais comumente utilizados, mas uma dieta baseada apenas em volumosos (pasto, silagem e feno) não é suficiente para manter a produtividade leiteira, sendo necessário fornecer uma mistura de minerais, concentrados, vitaminas e água de qualidade (Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015). Grande parte dos alimentos fibrosos não é completamente digerida no rúmen dos animais devido à fermentação celulolítica, resultando

em altos teores de celulose, lignina, hemicelulose e outros componentes em menores concentrações, como pectinas, polissacarídeos solúveis, proteínas, clorofila e sais orgânicos no esterco excretado (Martinez *et al.*, 2009).

A lignina, celulose e hemicelulose são polímeros estruturais presentes nas paredes celulares das plantas (Pérez *et al.*, 2002). A celulose, representando de 40 a 50% da biomassa, é um polímero linear de β -glicose que forma longas cadeias lineares, resultando na formação de uma estrutura fibrosa e resistente chamada de microfibrilas. Já a hemicelulose, representando de 23 a 30% da biomassa, é composta principalmente por uma variedade de açúcares (Zheng *et al.*, 2014). A lignina corresponde a aproximadamente 25% da biomassa, é uma macromolécula polifenólica complexa que está altamente organizada na parede celular, conferindo alta resistência física e química às plantas. A composição desses polímeros nos vegetais varia consideravelmente entre diferentes substratos (Pérez *et al.*, 2002).

A degradação da biomassa lignocelulósica em material fermentável é dificultada pela lignina, que atua como barreira física à ação de enzimas e microrganismos (Angelidaki *et al.*, 2009). O dejetos do gado é rico em nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica carbonácea, sendo os principais causadores de contaminação ambiental (Pelissari *et al.*, 2013; Bai *et al.*, 2016).

A utilização do dejetos como fertilizante é amplamente difundida em todo o território brasileiro. Seu manejo adequado pode oferecer uma série de benefícios, como atender à demanda de nutrientes do solo e aumentar sua fertilidade (Wang *et al.*, 2015; Cherobim; Huang; Favaretto, 2017; Schlegel *et al.*, 2017). Além disso, o uso apropriado do esterco bovino pode reduzir ou substituir a necessidade de fertilizantes químicos, bem como diminuir as emissões de nitrogênio (Xia *et al.*, 2017). Segundo Matos e Matos (Matos; Matos, 2015), a aplicação regular de efluentes pode incorporar quantidades significativas de matéria orgânica ao solo.

Os nutrientes contidos no esterco o tornam um recurso valioso, mas também representam uma ameaça ao meio ambiente, exigindo um gerenciamento cuidadoso da grande quantidade de esterco produzida diariamente e propondo sua utilização de forma mais inteligente (Neshat *et al.*, 2017). A busca por alternativas que resolvam ou mitiguem esses desafios ambientais é um dos principais objetivos dos setores produtivos (Kim *et al.*, 2013).

O aproveitamento da água residuária oferece oportunidades para a produção de energia e biogás, além da fabricação de biofertilizantes, reduzindo a dependência do uso de fertilizantes químicos e promovendo um planejamento sustentável para evitar o risco de contaminação ambiental (Sampaio, 2022).

2.2 Alagados Construídos

Diferentes tecnologias podem ser aplicadas no tratamento de águas residuárias para remover diversos tipos de poluentes, como a fotocatalise com diferentes materiais (Li *et al.*, 2021) ou com ozonização (Thao *et al.*, 2023). Por exemplo, tratamentos avançados de oxidação baseados em ozônio demonstraram ser adequados para eliminar contaminações microbianas, juntamente com a remoção simultânea de poluentes emergentes como antibióticos (Gorito *et al.*, 2021). No entanto, essas tecnologias podem ser caras e outras opções mais acessíveis e ecológicas, como os alagados construídos, podem ser alternativas viáveis (Gorito *et al.*, 2017; Galve *et al.*, 2021).

Foi relatado, nos últimos anos, que os alagados construídos tratam eficazmente águas residuais, removendo poluentes como metais, antibióticos e nutrientes de águas contaminadas, representando uma alternativa às estações de tratamento de águas residuais (Almeida *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018; Bôto *et al.*, 2023). Os alagados construídos são sistemas projetados para replicar a capacidade que as zonas úmidas naturais têm de tratar águas contaminadas. Esses sistemas combinam plantas, solo/substrato e microrganismos associados

presentes em uma área úmida natural para remover poluentes por meio de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos (Almeida *et al.*, 2017).

Vários estudos demonstraram que os alagados construídos têm potencial para remover uma variedade de contaminantes das águas residuais do gado (Hejna *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2020; Ibekwe; Murinda, 2018), incluindo bactérias patogênicas (Keffala; Ghrabi, 2005; Sleytr *et al.*, 2007; Headley *et al.*, 2013; Giacomán-Vallejos; Ponce-Caballero; Champagne, 2015). Wu *et al.* (2016) descreveram vários estudos mostrando altas taxas de remoção de bactérias em diferentes tipos de águas residuais, utilizando diferentes plantas em alagados construídos. Santos *et al.* (2019) relataram remoções de enterobactérias e enterococos superiores a 90% em águas residuais de suínos tratadas em alagados construídos plantados com *Phragmites australis*. Giacomán-Vallejos *et al.* (2015) também mostraram uma remoção de coliformes totais de 80 a 82% e de coliformes fecais de 86 a 91% em águas residuais de gado tratadas em um fluxo subterrâneo horizontal de alagados construídos. As comunidades microbianas desempenham um papel importante no bom funcionamento e manutenção dos alagados construídos, degradando poluentes orgânicos e melhorando a ciclagem de nutrientes (Huang *et al.*, 2017).

Os alagados construídos oferecem uma solução econômica e ecológica para o tratamento sustentável de águas residuais. Em virtude de seus extensos sistemas radiculares e matrizes de filtração, os alagados construídos reduzem efetivamente a poluição, eliminando partículas suspensas, matéria orgânica, metais pesados e patógenos das águas residuais (Roslan *et al.*, 2023). Alagados construídos são uma forma de extensas infraestruturas artificiais projetadas para replicar os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em pântanos naturais para remover produtos orgânicos, nutrientes e outros poluentes (Masi; Rizzo; Regelsberger, 2018). Os alagados construídos são caracterizados por sua operação simples e livre de produtos químicos, baixos requisitos de energia, custos operacionais e de investimento reduzidos e ótima integração ao ambiente natural (Hsu *et al.*, 2011; San Miguel *et al.*, 2023).

Diferentes variedades de substratos podem ser utilizadas no sistema de alagados construídos de acordo com a disponibilidade e os requisitos de concepção (Rajan; Sudarsan; Nithiyantham, 2020). Estudos de investigação provaram que cada substrato tem as suas próprias propriedades, tais como porosidade, condutividade, interação entre espécies de plantas presentes e microrganismos alojados, que por sua vez afetam sua eficiência de remoção (Angassa *et al.*, 2018). O papel dos microrganismos, que são o mecanismo de remoção em alagados construídos, é indispensável (Ahn; Gillevet; Sikaroodi, 2007). Os microrganismos presentes no substrato do solo podem ser divididos em zonas aeróbicas e anaeróbicas. As zonas aeróbicas auxiliam na oxidação do metal, e a zona anaeróbica é rica em bactérias redutoras de sulfato. Os fatores que afetam a composição da comunidade microbiana em sistemas de zonas úmidas são temperatura, teor de umidade, pH, tipo de configuração de zonas úmidas, macrófitas presentes, características do solo, condições de oxigênio, carga de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e suas características, NH₄, NO₃ e teor de carbono total (Bezbaruah; Zhang, 2005; Meng *et al.*, 2014).

2.3 Biofertilizantes

Os fertilizantes fornecem nutrientes essenciais às plantas, principalmente nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P). Esses fertilizantes aumentam o rendimento da colheita, mas causam vários riscos à saúde. Devido aos diversos riscos à saúde, as preferências do consumidor mudam para o uso de alimentos orgânicos cultivados sem o uso de qualquer produto químico. Nos últimos anos, os biofertilizantes surgiram como um importante componente para a fixação biológica de nitrogênio. Eles oferecem uma rota economicamente atraente e ecologicamente correta para fornecer nutrientes à planta. Os biofertilizantes são fontes renováveis de nutrientes de baixo custo que complementam o fertilizante químico (Bhattacharjee; Dey, 2014).

Biofertilizante é um termo que pode ser interpretado de diversas maneiras (El-Ghamry *et al.*, 2018). Não é difícil encontrar definições que identifiquem biofertilizante como extratos de algas marinhas, resíduos urbanos compostos, misturas microbianas com constituintes não identificados ou produtos fertilizantes minerais enriquecidos com compostos orgânicos. Curiosamente, os trabalhos de investigação científica apresentam uma interpretação muito ampla deste termo, representando tudo, desde adubos verdes, passando por adubos animais, até extratos de plantas (Maçik; Gryta; Fraç, 2020).

Os biofertilizantes são substâncias vivas que contêm microrganismos que beneficiam o crescimento das plantas, aumentando a absorção de nutrientes, a fertilidade do solo e o rendimento das colheitas. Eles oferecem mecanismos como fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo e produção de fitormônios (Maçik; Gryta; Fraç, 2020). Os biofertilizantes são alternativas ecológicas aos fertilizantes químicos, reduzindo os riscos para a saúde e promovendo a agricultura sustentável (Jain, 2019).

Na América Latina, os biofertilizantes têm demonstrado sucesso na melhoria da produtividade das culturas, na redução do uso de fertilizantes sintéticos e no aumento da produtividade, ao mesmo tempo que reduzem os custos de produção. Esses inoculantes microbianos enriquecem a qualidade do solo, melhoram as propriedades físico-químicas e biológicas e são não tóxicos e eficientes em termos energéticos (Mishra *et al.*, 2013).

Os biofertilizantes podem ser aplicados em sementes, mudas ou diretamente no solo (Patel; Patel; Mankad, 2014). Cada técnica apresenta vantagens e desvantagens, levando em consideração as propriedades do inoculante, tipo de cultivo, condições ambientais e restrições decorrentes da formação técnica dos agricultores (Mahmud; Kumar Das, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Água Residuária de Bovinocultura

A água residuária, utilizado no experimento foi coletado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), mais conhecido como Fazendinha Agroecológica do km 47, é uma área de ensino, pesquisa e capacitação em agroecologia, situada no município de Seropédica-RJ. O clima da região é quente e úmido. A temperatura média do mês mais frio é superior a 20 °C e a temperatura máxima no verão pode ultrapassar os 40 °C e a precipitação anual é de 1.300 mm (Neves *et al.*, 2012).

A caracterização ARB foi realizada no ‘‘Laboratório de Monitoramento Ambiental-1 Água e Efluentes (LMAI)’’ do Departamento de Engenharia da UFRRJ, coletadas as amostras e posteriormente enviadas quinzenalmente para laboratório credenciado pelo órgão ambiental regional, GREEN BRASIL Serviços ambientais, seguindo as recomendações contidas no Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

3.2. Caracterização Física, Química da Água Residuária de Bovinocultura

A caracterização da ARB foi obtida a partir das análises de Nitrogênio Kjeldahl Total (NTK= Amônia + Nitrogênio orgânico), Nitrogênio amoniacal, Nitrato, Nitrito, Potássio, Fósforo total, Alcalinidade, Coliformes Termotolerantes (log) NMP/100 mL, *Salmonella sp.* As análises do parâmetro DQO foram obtidas pelo método colorimétrico do teste Spectro Kit DQO Efluentes da Alfakit. A unidade piloto de tratamento da ARB, é constituído por uma estação piloto composta por: esterqueira, tanque séptico, filtro biológico de fluxo ascendente, filtro biológico de fluxo descendente, sistema de alagado construído (SAC) de fluxo horizontal, conforme apresentando nas Figuras 1A e 1B, 1C, 1D e 1E conjunto para aquecimento solar e canteiros para olerícolas, conforme descrito por Jorge (2018).

A esterqueira (P1), apresentada na Figura 2A, existente na área do SIPA, consiste de um reservatório em alvenaria e concreto armado, com um volume total de 7,80 m³, proporcionados por 2,80 m de lados, e com uma profundidade de 1,0 m; na qual onde recebe ARB proveniente do curral, o efluente é escoado por gravidade até ao tanque séptico.

Neste ponto (P1), a ARB é bombeada para um tanque séptico (P2), por um conjunto moto-bomba SCHNEIDER BCA 1,5 cv. A tubulação de sucção instalada neste bombeamento, recebeu uma proteção, com a finalidade de atuar como um crivo, composta por tela, conforme apresentado na (Figura 1B). E a válvula de pé, foi instalada a 0,30 m do fundo deste reservatório, que por consequência permanecia à 0,70 m em relação a bomba.



Figura 1. Esterqueira para acúmulo de ARB produzida no SIPA (a); bombeamento instalado com proteção de tubulação de sucção (b); tanque séptico (c, d, e)

As análises das águas residuárias foram realizadas no Laboratório de Monitoramento Ambiental I - Águas e Efluentes, do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do estado do Rio de Janeiro. As análises químicas e microbiológicas de ARB foram realizadas conforme métodos recomendados por Bridgewater *et al.* (2017) e preparados sempre pelo menos 48 horas antes do uso (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros físico-químico da água residuária da bovinocultura coletado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica da Fazendinha Agroecológica do km 47, Seropédica-RJ

Parâmetros	Valor médio
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg. L ⁻¹)	90,62
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,03
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,88
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	67,8
Amônia (mg L ⁻¹)	25,2
Fósforo (mg L ⁻¹)	2,1
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	380
pH	7,53
CE (μS cm ⁻¹)	886,1

Os experimentos de produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.) e rúcula (*Eruca sativa* L.) foram conduzidos em vasos de 25 L contendo o substrato Organossolo, proveniente da compostagem termofílica de poda de árvore; resíduos de refeitórios, cervejarias, fábricas de

sucos e refrigerantes, fábrica de pães, bolos e massas; frutas, legumes e verduras, borra de café, fibra de coco, lodo tratado e cama de equino (Organossolo, 2022).

Cada vaso recebeu três plantas, as quais representarão uma unidade experimental por meio da média obtida em cada parâmetro a ser analisado. A fertirrigação nas culturas foi feita manualmente.

O experimento de rabanete foi colhido aos 40 dias após o transplante (DAT) das mudas. Quanto aos parâmetros fitotécnicos, foram avaliados para a cultura do rabanete: massas frescas de parte aérea e bulbo, massas secas de parte aérea e bulbo, diâmetro do bulbo, número de folhas e altura de planta.

Já o experimento de rúcula foi colhido aos 30 DAT e os parâmetros fitotécnicos avaliados foram: massas frescas e seca da parte aérea, massas frescas e seca de raízes, comprimento do sistema radicular, número de folhas e altura de planta.

Tanto para o rabanete quanto para a rúcula, as massas frescas da parte aérea foram obtidas logo após a colheita, quantificada através de balança analítica eletrônica (0,001 g) sendo três plantas por repetição. As massas secas da parte aérea foram obtidas através da secagem da parte aérea das plantas em estufa de circulação forçada de ar, mantida a aproximadamente 65 °C até a estabilização da biomassa seca e quantificada com balança analítica eletrônica (0,001 g).

Com relação às exigências nutricionais das culturas, a fertilização foi baseada em suas demandas por nitrogênio. Foram necessários para se obter uma produção eficiente 20 kg de N ha⁻¹ para rabanete (Freire, 2013) e 60 kg de N ha⁻¹ para rúcula (Trani; Fornasier; Lisboa, 1992). Foram feitas análises químicas do substrato Organossolo e da ARB, para que fosse calculada às doses de ARB aplicadas em ambas as culturas, através da equação proposta por Matos (2014):

$$T_{AAR} = 1000 \frac{[N_{abs} - (T_{m1} \cdot MO \cdot p \cdot 107 \cdot 0,05 \cdot \frac{n}{12})]}{[T_{m2} \cdot N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nit}) \cdot TR]} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

T_{AAR} - taxa ou dose de aplicação da ARB (m³ ha⁻¹);

N_{abs} - absorção de nitrogênio pela cultura do milho para a obtenção da produtividade desejada (kg ha⁻¹);

T_{m1} - taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo (kg kg⁻¹ ano⁻¹); considerar 0,01 kg kg⁻¹ ano⁻¹, conforme indicado por Matos (2014);

MO - conteúdo de matéria orgânica do solo (kg kg⁻¹);

p - profundidade adotada na amostragem do solo (m);

n - número de meses de cultivo da cultura;

T_{m2} - taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico (kg kg⁻¹ ano⁻¹);

N_{org} - nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg L⁻¹);

N_{amo} - nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg. L⁻¹);

N_{nit} - nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg L⁻¹) e

TR - taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura (kg kg⁻¹ ano⁻¹)

Os tratamentos aplicados estão apresentados no Tabela 2.

Tabela 2 – Tratamentos avaliados no experimento com ARB.

Tratamentos	
T1(controle)	(1200 mL) de água de abastecimento
T2	100% (400 mL) de dose N de ARB
T3	200% (800 mL) de dose N de ARB
T4	300% (1200 mL) de dose N de ARB

3.3 Produção de Rúcula, Rabanete e Delineamento Experimental

A fase de produção das plantas foi iniciada com a preparação e preenchimentos de vasos de 25 litros com organossolo, e em seguida saturação em água para o posterior recebimento das plantas. Foram usadas as sementes de rúculas variedade Gigante Folha Larga, e rabanete com taxa de germinação de 93%, foram semeadas em bandeja de isopor contendo substrato composto por 83% de húmus, 15% de carvão vegetal e 2% de torta de mamona. (Figura 4) A produção da rúcula foi feita na estufa de 60m² do sistema integrado de produção de plantas da fazendinha km 47, conforme apresentando na Figura 2. O primeiro ciclo da rúcula e rabanete foram cultivados entre os meses de julho e agosto de 2023 e o segundo ciclo entre os meses de março e abril de 2024 respectivamente.

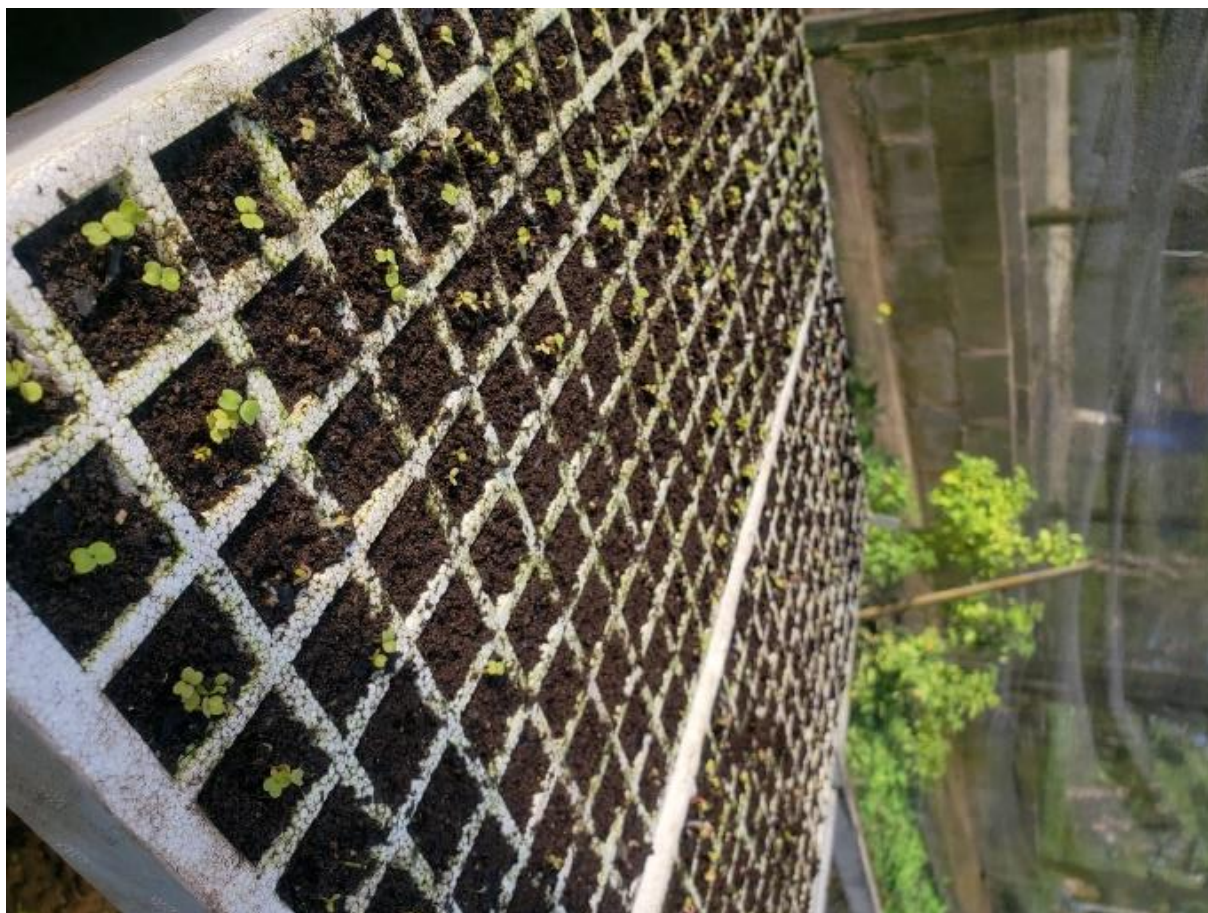


Figura 2. Bandeja de rúcula e rabanete uma semana após a semeadura.

O delineamento experimental adotado em ambos os experimentos foi o inteiramente casualizado (DIC), compostos por doses de ARB que representaram T1-0% da água de abastecimento, T2-100%, T3-200% e T4-300% da necessidade de nitrogênio que as culturas demandaram. A aplicação das diferentes dosagens da ARB no solo foi feita de forma manual, utilizando-se recipientes com diferentes graduações de volume para a diferenciação dos tratamentos, com isso não se utilizou o sistema de irrigação para a aplicação do efluente. Após a obtenção dos dados, os mesmos foram submetidos aos testes de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. E em seguida realizou-se as análises de variâncias pelo teste F e quando significativos, foram realizados os testes de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Caracterização química do organossolo antes de aplicação de ARB.

Ca	Mg S	H+Al S	Al	KS	PS	pH
----- (cmolc dm ³) -----			(mg L ⁻¹)			
34,0	6,6	0,0	0	2153	8,5	7,1

Legenda: Na - Sódio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; K - Potássio; H+Al - Acidez potencial
P - Fósforo; e pH - Potencial hidrogeniônico

3.4 Análises microbianas de salmonela e *E. coli* no rabanete

Para a contagem de *E. coli* foi utilizado o método do Número Mais Provável (NMP) APHA 9:2015, baseado em teste presuntivo em 3 séries de 3 tubos contendo Caldo Lauril Sulfato Tryptose (diluições seriadas) com tubos de Durhan, incubados a 35±0,5 °C por 24 a 48±2horas, seguido, quando positivos (turvação e produção de gás), de inoculação em caldo seletivo (Caldo *E. coli*), incubado a 45,5±0,2 °C por 24 a 48±2horas. Foi realizada leitura dos tubos positivos e os resultados aplicados à Tabela de NMP para obtenção dos resultados para contagem de coliformes a 45 °C. Para a contagem de *E. coli*, prosseguiu-se a análise. De cada tubo positivo no caldo *E. coli*, retirou-se uma alçada, transferindo-a para ágar seletivo diferencial (Ágar Levine Eosina Azul de Metileno), incubado a 35°C por 24horas observando o desenvolvimento de colônias típicas de *E.coli* (nucleadas com centro preto e brilho metálico). Para todos os tratamentos tiveram um resultado negativo para presença de coliformes termotolerantes (Tabela 4)

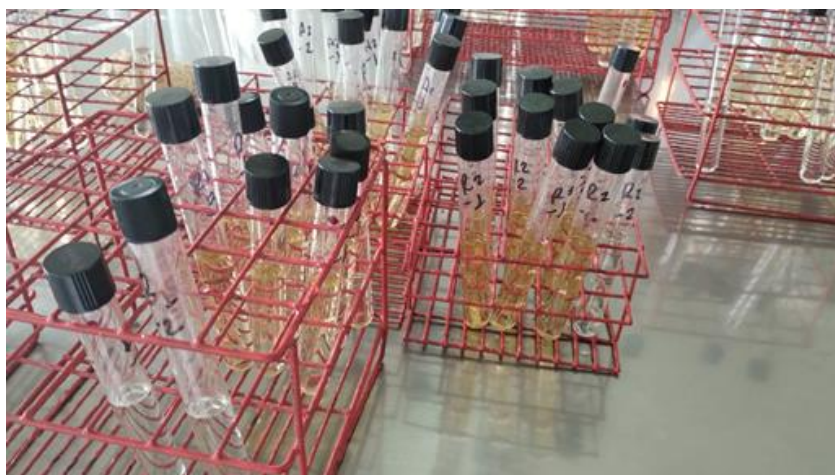


Figura 3. Tubos de ensaio da análise microbiológica do rabanete.

Tabela 3. Análises microbianas de microbiológico de rabanete.

Parâmetros	Valor médio
Salmonella sp.(NMP)/25g	Ausente
<i>E.coli</i>	Ausente

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes tratamentos com doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB) não resultaram em diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros fitotécnicos do rabanete cultivado em vaso, colhidos aos 40 dias após o transplante, para as variáveis massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de bulbo (MFB), massa seca de bulbo (MSB), diâmetro de bulbo (DB), número de folhas (NF) e altura de planta (AP) (Figura1). Contudo, a dose de 200% de ARB proporcionou maiores valores médios para todas as variáveis avaliadas.

As diferentes doses de ARB não proporcionaram diferenças estatísticas para os parâmetros fitotécnicos de MFPA, MSPA, massa fresca de raízes (MFR), massa seca de raízes (MSR), comprimento de raízes (CR) e AP (Figura 2). No entanto, para NF, o tratamento com 200% de ARB apresentou um aumento significativo no número de folhas comparado aos demais tratamentos (Figura 2-F).

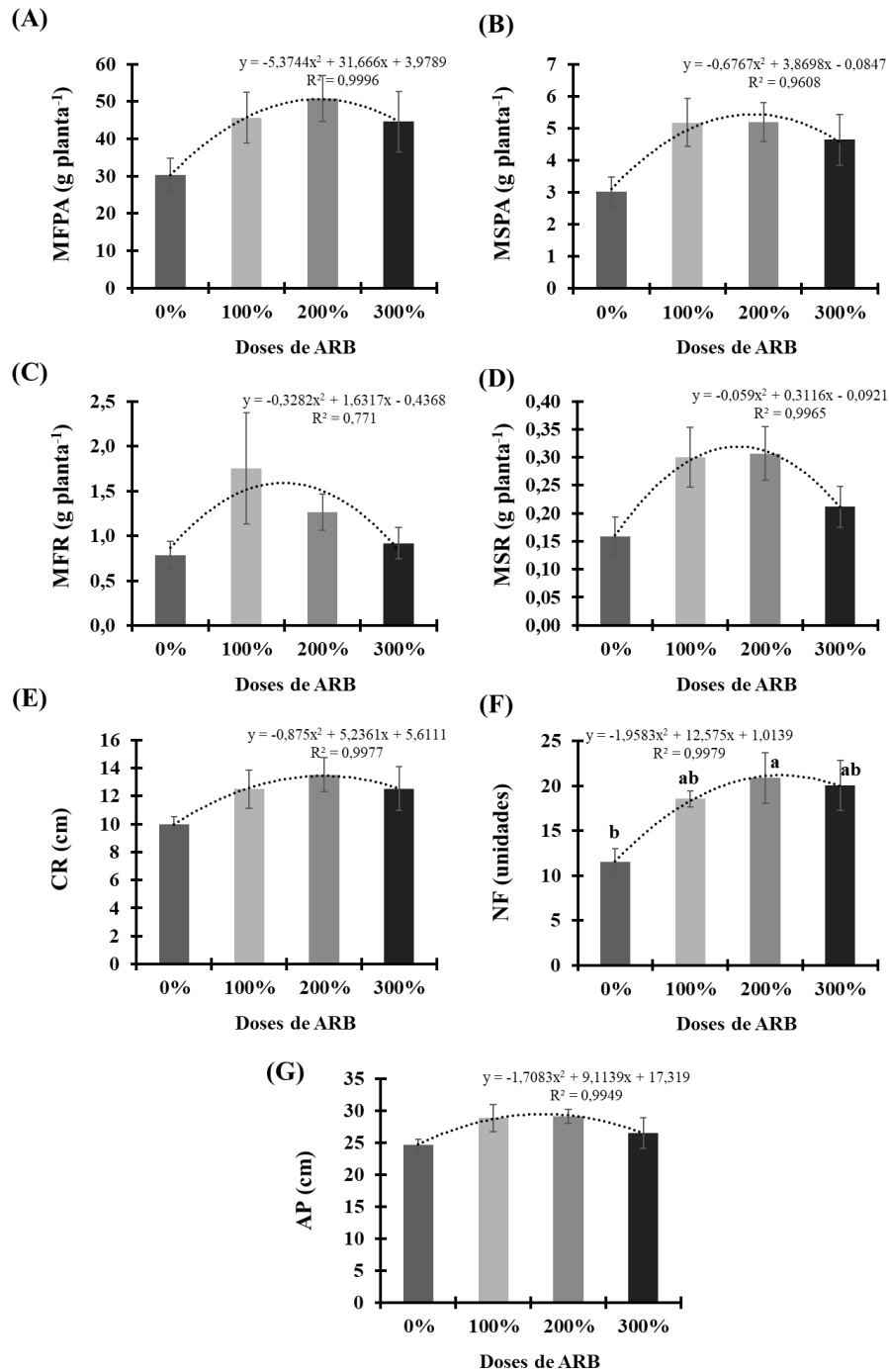


Figura 4. Valores médios dos parâmetros fitotécnicos do rabanete cultivado em vasos e fertirrigado com diferentes doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB), colhidos aos 40 dias após o transplante, ano de 2023. A) massa fresca de parte aérea (MFPA); B) massa seca de parte aérea (MSPA); C) massa fresca de bulbo (MFB); D) massa seca de bulbo (MSB); E) diâmetro de bulbo (DB); F) número de folhas (NF); G) altura de planta (AP). Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O segundo experimento de rabanete exibiu respostas positivas à aplicação de ARB, especialmente em volumes maiores, no entanto, todos os parâmetros fitotécnicos não exibiram diferenças estatísticas, exceto para MFPA na dose de 300% de ARB (Figura 3). Em comparação com o experimento anterior, a MFPA neste experimento, nessa dose, teve um incremento de 87% na fitomassa fresca do rabanete.

Quanto ao segundo experimento de rúcula, os resultados indicam que volumes maiores de ARB, especialmente 200 e 300%, tendem a favorecer certos parâmetros fitotécnicos da cultura, como comprimento de raízes e altura de planta, enquanto volumes menores (100%) podem ser mais benéficos para a massa seca de parte aérea. A aplicação de 200% de ARB mostrou-se vantajosa para a MFR, MSR e CR (Figura 4). De todas variáveis analisadas, apenas o CR e AP (Figuras 4-E e 4-G) exibiram diferenças estatísticas, cujas médias foram superiores nas doses de 200% e 300%, respectivamente.

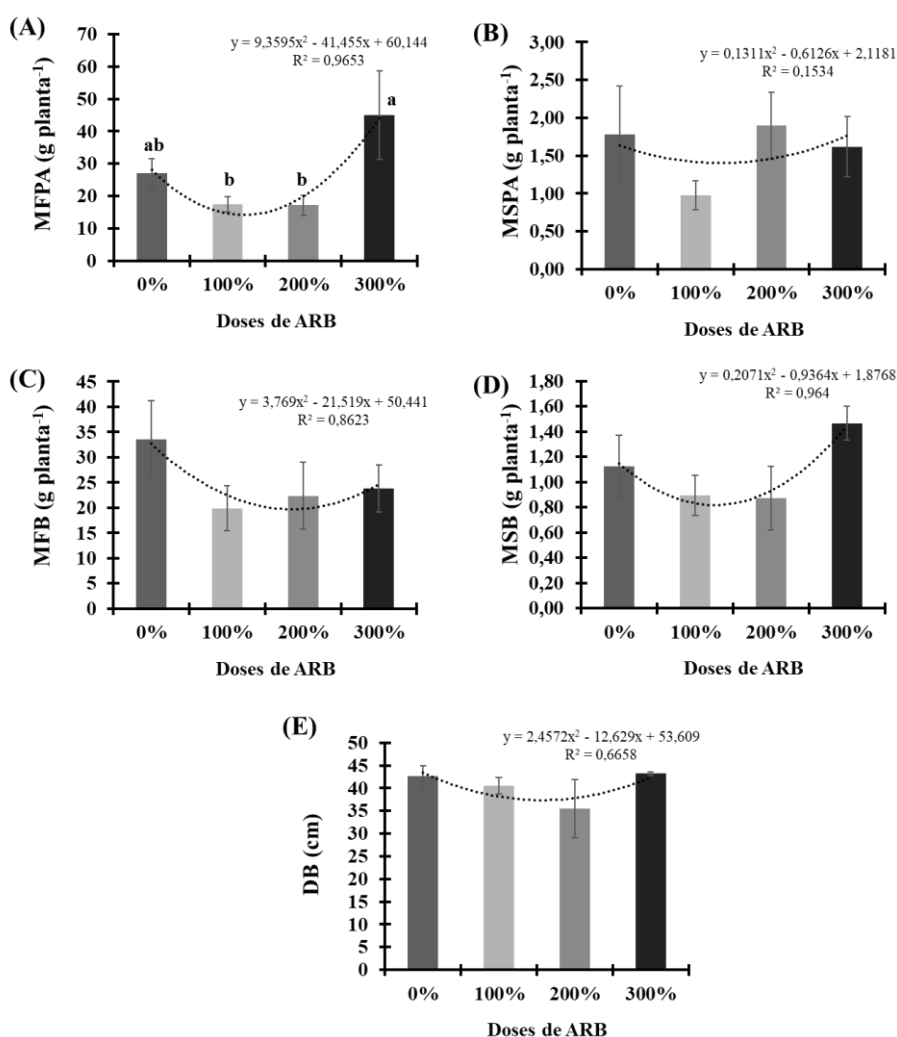


Figura 5. Valores médios dos parâmetros fitotécnicos do rabanete cultivado em vasos e fertirrigado com diferentes doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB), colhidos aos 40 dias após o transplante, ano de 2024. A) massa fresca de parte aérea (MFPA)

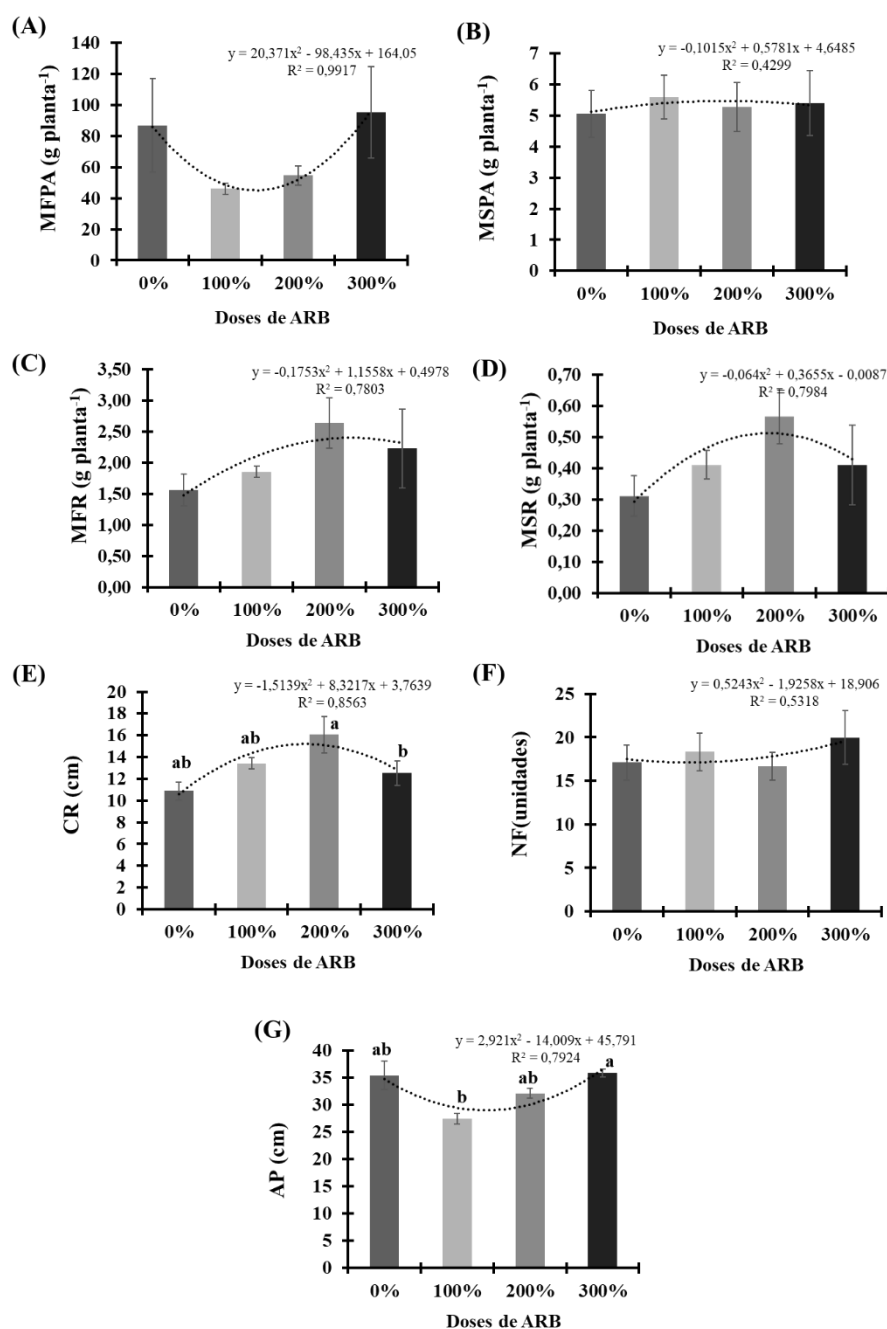


Figura 6. Valores médios dos parâmetros fitotécnicos da rúcula cultivada em vasos e fertilizado com diferentes doses de água residuária da bovinocultura leiteira (ARB), colhidas aos 30 dias após o transplante, ano de 2024. A) massa fresca de parte aérea (MFPA); B) massa seca de parte aérea (MSPA); C) massa fresca de raízes (MFR); D) massa seca de raízes (MSR); E) comprimento de raízes (CR); F) número de folhas (NF); G) altura de planta (AP). Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Jorge *et al.* (2017) constataram que a maior produção, produtividade e acúmulo foliar de nutrientes foram observados quando se utilizou 400% da dose de N recomendada para o tomateiro por meio da ARB. Bortoni *et al.* (2018) verificaram que a ARB elevou a fertilidade do solo, o que resultou no aumento do desenvolvimento do rabanete, no que diz respeito ao comprimento da parte aérea, diâmetro do bulbo, massa seca da parte aérea e raiz e desempenho fotossintético. Entretanto, para o tratamento com 300% de ARB, os autores observaram um decréscimo no comprimento da parte aérea, no diâmetro do bulbo e na massa seca da parte aérea e raiz, possivelmente, devido ao aumento das concentrações de sódio no solo. Jorge *et al.* (2022b) observaram que houve aumento da produtividade da cenoura para todos os tratamentos com ARB, além da elevação nos teores de Ca e Mg. As raízes não apresentaram contaminação, o que comprova que as cenouras estavam aptas para consumo humano, proporcionando produtividade radicular superior à média nacional na dose de 100% N.

Por outro lado, um estudo sobre o impacto de diferentes concentrações de águas residuais tratadas na germinação de sementes de vários vegetais descobriu que a taxa de germinação e o alongamento da raiz de rabanete e ervilha foram afetados negativamente, enquanto o quiabo mostrou maior brotação com maiores concentrações de águas residuais (Khelil *et al.*, 2022). Além disso, descobriu-se que a aplicação no solo de águas residuais na linha verde de um matadouro de gado aumentou a produtividade da biomassa foliar de *Brachiaria brizantha*, sugerindo benefícios potenciais da biofertilização com águas residuais em sistemas agrícolas (Carvalho *et al.*, 2018).

Além disso, um método envolvendo a fermentação de águas residuais da pecuária para produzir fertilizantes microbianos demonstrou melhorar os resultados do plantio de hortaliças tipo fruto como pimentão, tomate e berinjela, destacando o potencial para reciclagem de resíduos e redução de custos na produção de fertilizantes (Zhitang *et al.*, 2014).

Destaca-se também que, um estudo sobre o uso de águas residuais para irrigação no cultivo de vegetais como rabanete e cenoura demonstrou que, embora as águas residuais possam melhorar o crescimento e a produtividade das plantas, também apresentam riscos de acumulação de metais pesados no solo e nas plantas (Kausar; Faizan; Haneef, 2017), o que nos alerta à importância do monitoramento e gerenciamento cuidadosos ao usar águas residuais para fins de irrigação de hortaliças e demais vegetais destinados à alimentação humana.

Em relação às análises químicas e físico-químicas do substrato organossolo, após os experimentos com rúcula e rabanete, foram observadas variações significativas entre as diferentes doses de ARB aplicadas (Tabela 4). A concentração de fósforo (P) variou de 81,10 a 206,41 mg L, com o tratamento T4 (300% de dose N de ARB) apresentando o maior valor, significativamente superior aos demais tratamentos, enquanto T2 (100% de dose N de ARB) apresentou o menor valor. Em relação ao potássio (K), os valores variaram de 512,50 a 957,90 mg L, sendo que T4 também registrou o maior valor, seguido por T3 (200% de dose N de ARB) e T2, enquanto o tratamento controle (T1) apresentou o menor valor, diferindo estatisticamente dos demais.

Tabela 4. Análise química e físico-química do substrato organossolo após os experimentos de rúcula e rabanete

Tratamentos	P (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	pH
0%	123,33 c	512,50 d	18,5 d	2,00 d	7,24 c
100%	81,10 d	624,00 c	29,03 a	3,27 b	7,20 d
200%	130,95 b	812,88 b	28,11 b	3,44 a	7,29 a
300%	206,41 a	957,90 a	25,08 c	2,95 c	7,25 b

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para o cálcio (Ca), as concentrações variaram de 18,5 a 29,03 cmolc dm, com T2 exibindo o valor mais alto, diferindo significativamente dos outros tratamentos, enquanto o controle apresentou o menor valor. O magnésio (Mg) apresentou variação de 2,00 a 3,44 cmolc dm, com T3 registrando o valor mais elevado, diferindo estatisticamente do tratamento controle, que teve o menor valor.

Quanto ao pH, os valores variaram de 7,20 a 7,29, com T3 apresentando o valor mais alto, significativamente superior ao controle e a T2, mas similar ao T4. Esses resultados indicam que o aumento na dose de ARB promoveu alterações significativas nas propriedades químicas do substrato, impactando diretamente a disponibilidade de nutrientes.

5 CONCLUSÕES

Os resultados indicam que, embora alguns parâmetros tenham mostrado respostas positivas à aplicação de ARB, especialmente em volumes maiores, com doses de 200% e 300%. Entretanto, outros parâmetros não foram significativamente afetados ou apresentaram melhores resultados sem a aplicação de ARB. Isso sugere a necessidade de um manejo cuidadoso e equilibrado do uso de ARB para maximizar os benefícios no cultivo de rabanetes e rúcula em vasos contendo substrato proveniente da compostagem termofílica.

Cabe destacar que o uso de volumes maiores de ARB mostra-se promissor para o incremento de alguns aspectos específicos das plantas, como o número de folhas e comprimento de raízes.

6 REFERÊNCIAS

- AHN, C.; GILLEVET, P. M.; SIKAROODI, M. Molecular characterization of microbial communities in treatment microcosm wetlands as influenced by macrophytes and phosphorus loading. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 852–863, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X06000860>. Acesso em: 2 maio 2024.
- ALMEIDA, C. M. R. *et al.* Constructed wetlands for the removal of metals from livestock wastewater – Can the presence of veterinary antibiotics affect removals?. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 137, p. 143–148, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0147651316304961>. Acesso em: 2 maio 2024.
- ANGASSA, K. *et al.* Organic Matter and Nutrient Removal Performance of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands Planted with Phragmites karka and Vetiveria zizanioides for Treating Municipal Wastewater. **Environmental Processes**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 115–130, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0276-1>. Acesso em: 2 maio 2024.
- ANGELIDAKI, I. *et al.* Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research**, [s. l.], v. 59, n. 5, p. 927–934, 2009.
- APHA. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 5ed. American Public Health Association, Washington, D. C., 2015. Chapter 9, pp.103-120.
- BAI, Z. *et al.* Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Flows through the Manure Management Chain in China. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 50, n. 24, p. 13409–13418, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03348>. Acesso em: 1 maio 2024.
- BENNY, C. K.; CHAKRABORTY, S. Dyeing wastewater treatment in horizontal-vertical constructed wetland using organic waste media. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 331, p. 117213, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723000014>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- BEWLEY, J. M.; ROBERTSON, L. M.; ECKELKAMP, E. A. A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 100, n. 12, p. 10418–10431, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030217310305>. Acesso em: 1 maio 2024.
- BEZBARUAH, A. N.; ZHANG, T. C. Quantification of oxygen release by bulrush (*Scirpus validus*) roots in a constructed treatment wetland. **Biotechnology and Bioengineering**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 308–318, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bit.20332>. Acesso em: 2 maio 2024.

BHATTACHARJEE, R.; DEY, U. Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. **African Journal of Microbiology Research**, [s. l.], v. 8, n. 24, p. 2332–2343, 2014. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJMR/article-abstract/0444FCA45320>. Acesso em: 2 maio 2024.

BORTONI, S. F.; SILVA, J. B. G.; SOUSA, C. P. de. Efeito residual da fertirrigação com água residuária de bovinocultura na qualidade de um solo Argilo-arenoso. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 452–463, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/790>. Acesso em: 28 jun. 2024.

BÔTO, M. L. *et al.* Removing chemical and biological pollutants from swine wastewater through constructed wetlands aiming reclaimed water reuse. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 326, p. 116642, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479722022150>. Acesso em: 1 maio 2024.

BRIDGEWATER, L. L. *et al.* (org.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23rd editioned. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

CAMPOS, M. M. *et al.* Degradabilidade in situ da cana-de-açúcar tratada ou não com óxido de cálcio, em novilhas leiteiras Holandês x Gir. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [s. l.], v. 63, n. 6, p. 1487–1492, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/JbLQY3N7LK78TQC3498R5ZR/>. Acesso em: 1 maio 2024.

CARVALHO, J. *et al.* Biofertilization of Forage With Effluents From a Cattle Slaughterhouse Green Line: Impacts on Physical-Chemical Indicators of Soil Quality and on Production Biomass. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. p359, 2018. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/74062>. Acesso em: 28 jun. 2024.

CARVALHO, C. *et al.* **Recomendação de lâminas de fertirrigação com água residuária da bovinocultura**. Congresso On-line: CONBEA, 2020.

CARVALHO, L. A. *et al.* **Sistema de Produção de Leite (Zona da Mata Atlântica)**. [S. l.], 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteZonadaMataAtlantica/autores.html>. Acesso em: 1 maio 2024.

CARVALHO, H. de P.; SILVA, I. J. O. da. Metais pesados presentes na água residuária de sistema de exploração leiteira do tipo “freestall”. **Thesis**, [s. l.], v. 3, n. 6, p. 1–8, 2006. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001633621>. Acesso em: 1 maio 2024.

CHEROBIM, V.; HUANG, C.-H.; FAVARETTO, N. Tillage system and time post-liquid dairy manure: Effects on runoff, sediment and nutrients losses. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 184, p. 96–103, 2017.

DUARTE, J. B. **Avaliação da eficiência de sistemas de alagado construído cultivados com *Typha angustifolia* (Rota 1) e *Crysopogon zizanioides* (Rota 2) no tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite**. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2019. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/5631/2/2019%20-%20Jo%c3%a3o%20Brack%20Duarte.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2023.

ELAHI, E. *et al.* The use of wastewater in livestock production and its socioeconomic and welfare implications. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 24, n. 21, p. 17255–17266, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9263-3>. Acesso em: 20 ago. 2023.

EL-GHAMRY, A. *et al.* Nanofertilizers vs. Biofertilizers: New Insights. **Environment, Biodiversity and Soil Security**, [s. l.], v. 2, n. 2018, p. 51–72, 2018. Disponível em: https://jenvbs.journals.ekb.eg/article_8905.html. Acesso em: 3 maio 2024.

ERTHAL, V. J. T. *et al.* Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 458–466, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662010000500002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 20 ago. 2023.

FREIRE, L. R. (org.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: Universidade Rural, 2013.

GALVE, J. C. A. *et al.* Series Type Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands for Dairy Farm Wastewater Treatment. **Civil Engineering Journal**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 292–303, 2021. Disponível em: <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/2646>. Acesso em: 2 maio 2024.

GIÁCOMAN-VALLEJOS, G.; PONCE-CABALLERO, C.; CHAMPAGNE, P. Pathogen removal from domestic and swine wastewater by experimental constructed wetlands. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 71, n. 8, p. 1263–1270, 2015. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article/71/8/1263/18275/Pathogen-removal-from-domestic-and-swine>. Acesso em: 2 maio 2024.

GORITO, A. M. *et al.* A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 227, p. 428–443, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116320383>. Acesso em: 2 maio 2024.

GORITO, A. M. *et al.* Ozone-based water treatment (O₃, O₃/UV, O₃/H₂O₂) for removal of organic micropollutants, bacteria inactivation and regrowth prevention. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 105315, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334372100292X>. Acesso em: 2 maio 2024.

HE, Z.; PAGLIARI, P. H.; WALDRIP, H. M. Applied and Environmental Chemistry of Animal Manure: A Review. **Pedosphere**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 779–816, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100201601560087X>. Acesso em: 1 maio 2024.

HEADLEY, T. *et al.* Escherichia coli removal and internal dynamics in subsurface flow ecotechnologies: Effects of design and plants. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 61, p. 564–574, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857413003133>. Acesso em: 2 maio 2024.

- HEJNA, M. *et al.* Bioaccumulation of heavy metals from wastewater through a *Typha latifolia* and *Thelypteris palustris* phytoremediation system. **Chemosphere**, [s. l.], v. 241, p. 125018, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004565351932257X>. Acesso em: 2 maio 2024.
- HSU, C.-B. *et al.* Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 37, n. 10, p. 1533–1545, 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857411001807>. Acesso em: 2 maio 2024.
- HU, H. *et al.* Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 315, p. 123809, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852420310816>. Acesso em: 2 maio 2024.
- HUANG, X. *et al.* Performance and bacterial community dynamics of vertical flow constructed wetlands during the treatment of antibiotics-enriched swine wastewater. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 316, p. 727–735, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1385894717301870>. Acesso em: 2 maio 2024.
- IBEKWE, A.; MURINDA, S. Continuous Flow-Constructed Wetlands for the Treatment of Swine Waste Water. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 1369, 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/7/1369>. Acesso em: 2 maio 2024.
- JAIN, G. Biofertilizers - A way to organic agriculture. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, [s. l.], v. 8, n. 4S, p. 49–52, 2019. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/special-issue/2019.v8.i4S.8657/biofertilizers-a-way-to-organic-agriculture>. Acesso em: 3 maio 2024.
- JORGE, M. F. *et al.* Influência da aplicação de água residuária bovina nos atributos químicos do solo cultivado com cenoura. **Conjecturas**, [s. l.], v. 22, n. 14, p. 891–906, 2022a. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1827>. Acesso em: 19 ago. 2023.
- JORGE, M. F. *et al.* Potential use of treated wastewater from a cattle operation in the fertigation of organic carrots. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 542–554, 2022b. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/1385. Acesso em: 28 jun. 2024.
- JORGE, M. F. *et al.* Tomato fertigation with dairy cattle wastewater. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 230–234, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/vTv7JcQJqjYfBHF4FZmF55Q/?lang=en>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- JORGE, M. F. **Tratamento e disposição final de águas residuárias de bovinocultura em solos sob manejo orgânico de produção de olerícolas**. 2018. 179 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2018.

KAUSAR, S.; FAIZAN, S.; HANEEF, I. Effect of Wastewater Irrigation on Heavy Metal Accumulation, Growth and Yield of Vegetables. **INTERNATIONAL JOURNAL OF PLANT AND ENVIRONMENT**, [s. l.], v. 3, n. 01, p. 65–76, 2017. Disponível em: <https://ijplantenviro.com/index.php/IJPE/article/view/1187>. Acesso em: 28 jun. 2024.

KEFFALA, C.; GHRABI, A. Nitrogen and bacterial removal in constructed wetlands treating domestic waste water. **Desalination**, [s. l.], v. 185, n. 1–3, p. 383–389, 2005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916405006429>. Acesso em: 2 maio 2024.

KHELIL, M. N. *et al.* Phytotoxic Effect of Treated Wastewater on Seed Germination and Percent Root Elongation Inhibition in Some Vegetable Crops. **Journal of Scientific Research and Reports**, [s. l.], v. 28, n. 9, p. 28–36, 2022. Disponível em: <https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/1389>. Acesso em: 28 jun. 2024.

KIM, Y. *et al.* Prioritizing the best sites for treated wastewater instream use in an urban watershed using fuzzy TOPSIS. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 73, p. 23–32, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912002236>. Acesso em: 1 maio 2024.

LI, Y. *et al.* Assessment of energy use and environmental impacts of wastewater treatment plants in the entire life cycle: A system meta-analysis. **Environmental Research**, [s. l.], v. 198, p. 110458, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935120313554>. Acesso em: 2 maio 2024.

LIANG, Y. *et al.* Constructed wetlands for saline wastewater treatment: A review. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 98, p. 275–285, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857416306279>. Acesso em: 2 maio 2024.

LÓPEZ-MOSQUERA, M. E. *et al.* Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. **Procedia Environmental Sciences**, [s. l.], v. 9, Ecological Engineering: from Concepts to Applications, Paris 2009, p. 113–117, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029611007808>. Acesso em: 19 ago. 2023.

MAÇIK, M.; GRYTA, A.; FRĄC, M. Chapter Two - Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. In: SPARKS, D. L. (org.). **Advances in Agronomy**. [S. l.]: Academic Press, 2020. v. 162, p. 31–87. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211320300274>. Acesso em: 3 maio 2024.

MAHMUD, Z. H.; KUMAR DAS, P. Time-Temperature Model for Bacterial and Parasitic Annihilation from Cow Dung and Human Faecal Sludge: A Forthcoming Bio-Fertilizer. **Journal of Bacteriology & Parasitology**, [s. l.], v. 07, n. 04, p. 1–6, 2016. Disponível em: <https://www.omicsonline.org/open-access/timetemperature-model-for-bacterial-and-parasitic-annihilation-from-cowdung-and-human-faecal-sludge-a-forthcoming-biofertilizer-2155-9597-1000284.php?aid=78532>. Acesso em: 3 maio 2024.

MARTINEZ, D. *et al.* Genome, transcriptome, and secretome analysis of wood decay fungus *Postia placenta* supports unique mechanisms of lignocellulose conversion. **Proceedings of**

the National Academy of Sciences, [s. l.], v. 106, n. 6, p. 1954–1959, 2009. Disponível em: <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0809575106>. Acesso em: 1 maio 2024.

MASI, F.; RIZZO, A.; REGELSBERGER, M. The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 216, p. 275–284, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717311611>. Acesso em: 2 maio 2024.

MATOS, A. T. de. **Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos**. Viçosa, MG: UFV, 2014.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. C.; BUNGENSTAB, D. J. **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Brasília-DF: Embrapa Gado de Leite, 2015.

MENG, P. *et al.* How to increase microbial degradation in constructed wetlands: Influencing factors and improvement measures. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 157, p. 316–326, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414001205>. Acesso em: 2 maio 2024.

MISHRA, D. J. *et al.* Role of Bio-Fertilizer in Organic Agriculture: A Review. **Research Journal of Recent Sciences**, [s. l.], v. 2, p. 39–41, 2013. Disponível em: https://isca.in/rjrs/archive/special_issue2012/8.ISCA-ISC-2012-1AFS-32.pdf. Acesso em: 3 maio 2024.

NENCIU, F. *et al.* “Zero-Waste” Food Production System Supporting the Synergic Interaction between Aquaculture and Horticulture. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 20, p. 13396, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13396>. Acesso em: 19 ago. 2023.

NESHAT, S. A. *et al.* Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 79, p. 308–322, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117307694>. Acesso em: 1 maio 2024.

NEVES, M. C. P. *et al.* Sistema Integrado de Produção Agroecológica ou Fazendinha Agroecológica do Km 47. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (org.). **Agroecologia: Princípios e Técnicas Para uma Agricultura Orgânica Sustentável**. 2. ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2012. p. 163–195.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 jul. 2022.

ORGANOSSOLO. Organosolo – Transformar resíduos em vida. In: Rio de Janeiro-RJ, 2022. Disponível em: <https://www.organosolo.com/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

OTENIO, M. H. **Uso racional da água e o manejo dos efluentes**: Anuário do Leite 2020. Brasília, DF: EMBRAPA, 2020.

PATEL, Y.; PATEL, N.; MANKAD, A. Bio Fertilizer: A Promising Tool for Sustainable Farming. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. 15838–15842, 2014.

PELISSARI, C. *et al.* Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em wetlands construídos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 585–590, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/Nqrc6gSKRVgz5DJHfK5XqVJ/?lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2023.

PELISSARI, C. *et al.* Wetlands construídos de fluxo vertical empregado no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 223–233, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/8303>. Acesso em: 1 maio 2024.

PÉREZ, J. *et al.* Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. **International Microbiology: The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 53–63, 2002.

RAJAN, R. J.; SUDARSAN, J. S.; NITHIYANANTHAM, S. Efficiency of constructed wetlands in treating E. coli bacteria present in livestock wastewater. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 2153–2162, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02481-6>. Acesso em: 1 maio 2024.

ROSLAN, N. A. F. *et al.* Comparing The Ability to Treat Artificial Cow Wastewater by Constructed Wetland Model Using Sorghastrum nutans and Brachiaria humidicola. **Malaysian Journal of Applied Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 59–71, 2023. Disponível em: <https://journal.unisza.edu.my/myjas/index.php/myjas/article/view/371>. Acesso em: 1 maio 2024.

SAMPAIO, R. R. **Tratamento anaeróbio e aeróbio de águas residuárias da bovinocultura leiteira em reatores de alta taxa**. 2022. 262 f. Tese (Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal - SP, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/243400>. Acesso em: 28 abr. 2024.

SAN MIGUEL, G. *et al.* Environmental and economic assessment of a floating constructed wetland to rehabilitate eutrophicated waterways. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 884, p. 163817, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969723024385>. Acesso em: 1 maio 2024.

SANTOS, F. *et al.* Potential of constructed wetland for the removal of antibiotics and antibiotic resistant bacteria from livestock wastewater. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 129, p. 45–53, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857419300230>. Acesso em: 2 maio 2024.

SCHLEGEL, A. J. *et al.* Changes in soil nutrients after 10 years of cattle manure and swine effluent application. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 172, p. 48–58, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198717300983>. Acesso em: 1 maio 2024.

SHAHMOHAMADLOO, R. S. *et al.* The sustainable agriculture imperative: A perspective on the need for an agrosystem approach to meet the United Nations Sustainable Development Goals by 2030. **Integrated Environmental Assessment and Management**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 1199–1205, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ieam.4558>. Acesso em: 19 ago. 2023.

SILVA, H. M. da. **Metassíntese de aplicações de água residuária da bovinocultura com ênfase nos atributos de solos**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2021.

SILVA, J. L. L. N. da *et al.* Sistema alagado construído com cultivo de arroz utilizado para tratamento de água residuária de bovinocultura de leite. **[TESTE] Revista Craibeiras de Agroecologia**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–5, 2018. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/ojs2-somente-consulta/index.php/era/article/view/5627>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SLEYTR, K. *et al.* Investigation of bacterial removal during the filtration process in constructed wetlands. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 380, n. 1–3, p. 173–180, 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969707003002>. Acesso em: 2 Maio 2024.

SOUZA, E. F. F. da S. **Cultivo do tomate cereja utilizando biomassa vegetal não compostada de grama batatais e água residuária de bovinocultura de leite**. 2020. 29 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2020. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/handle/jspui/6065>. Acesso em: 19 ago. 2023.

THAO, N. T. P. *et al.* Combination of biochar filtration and ozonation processes in livestock wastewater treatment and application for soil cultivation. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, [s. l.], v. 7, p. 100286, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016422001086>. Acesso em: 2 Maio 2024.

TRANI, P. E.; FORNASIER, J. B.; LISBÃO, R. S. **Cultura da Rúcula**: Boletim Técnico. Campinas - SP: Instituto Agronômico de Campinas, 1992. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt146.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2023.

VILELA, D. *et al.* **Pecuária de Leite no Brasil – Cenários e Avanços Tecnológicos**. 1. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, 2016.

WANG, M. *et al.* Application of constructed wetlands for treating agricultural runoff and agro-industrial wastewater: a review. **Hydrobiologia**, [s. l.], v. 805, n. 1, p. 1–31, 2018. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10750-017-3315-z>. Acesso em: 2 maio 2024.

WANG, J. *et al.* Mechanisms of soil N dynamics following long-term application of organic fertilizers to subtropical rain-fed purple soil in China. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 91, 2015.

WU, S. *et al.* Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 541, p. 8–22,

2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969715307075>. Acesso em: 2 maio 2024.

XIA, L. *et al.* How Does Recycling of Livestock Manure in Agroecosystems Affect Crop Productivity, Reactive Nitrogen Losses, and Soil Carbon Balance?. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 51, n. 13, p. 7450–7457, 2017.

ZHENG, Y. *et al.* Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. **Progress in Energy and Combustion Science**, [s. l.], v. 42, p. 35–53, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128514000021>. Acesso em: 1 maio 2024.

ZHITANG, L. *et al.* **Method for producing bio-organic fertilizer through fermentation wastewater and agricultural waste**. Depositante: China. CN104250119A. Depósito: 22 set. 2014. Concessão: 31 dez. 2014.