



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

MARCONDES FERREIRA COSTA FILHO

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM UNIDADE DE PRODUÇÃO FAMILIAR**

MOSSORÓ

2025

MARCONDES FERREIRA COSTA FILHO

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM UNIDADE DE PRODUÇÃO FAMILIAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Nildo da Silva Dias

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F478p Filho, Marcondes .
Propriedades físico-químicas do solo irrigado
com efluente de esgoto doméstico tratado em
unidade de produção familiar / Marcondes Filho. -
2025.
33 f. : il.

Orientador: Nildo da Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

1. Gestão hídrica. 2. Reuso de água. 3.
Sustentabilidade. 4. Agricultura familiar. 5.
Solo salino. I. da Silva Dias, Nildo , orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARCONDES FERREIRA COSTA FILHO

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM UNIDADE DE PRODUÇÃO FAMILIAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Defendida em: 25 / 02 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Orientador e Presidente

Maria Valdigleza de Mesquita Arruda, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Joaquim Emanuel Fernandes Gondim, Prof. Dr. (UVA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho a minha mãe, Adriana Paula de Souza Fonseca, pelo apoio e incentivo constante, além de toda a base educacional que contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual. Também dedico à minha avó, Maria José Nazaré Ferreira Ouverney, por todo amor, paciência, conselhos, suporte e acolhimento nos dias difíceis. Este trabalho é reflexo de todo o apoio recebido ao longo dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve comigo em cada etapa dessa caminhada, fortalecendo-me nos desafios, iluminando meus caminhos e dando-me a serenidade necessária para seguir em frente. Sua presença foi meu alicerce, trazendo esperança nos momentos difíceis e renovando minha fé a cada dia.

Aos meus pais, Adriana Paula de Souza Fonseca e Marcondes Ferreira Costa, e, em especial, à minha avó, Maria José Nazaré Ferreira Ouverney, por todo amor, apoio incondicional e por me ensinar o valor de trabalhar e fazer pesquisa com respeito, profissionalismo e humanidade, princípios inegociáveis. Aos meus irmãos, Pablo Adriano Fonseca da Costa e Mariana Fonseca da Costa, minha fonte de força e resiliência, por estarem sempre ao meu lado nessa caminhada, mesmo com as minhas repentinas ausências. Ao meu primo-sobrinho Samuel Boaz, que, em meio a um momento difícil de pandemia, trouxe leveza e renovou nossos corações com sua chegada. Aos meus primos e primas, Márcio Jr., Maria Flávia, Brígida Helena, Juan Ferreira, Rayane Carla e Rosiane Batista, pela amizade, companheirismo e apoio em cada etapa da vida. Aos meus tios, Márcio Ferreira, Rosimeire Ferreira, Alexandra Mendonça e Milton Vicente, pelo suporte e acolhimento.

Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Nildo da Silva Dias, minha gratidão por ter me convidado a ser seu bolsista de iniciação científica durante pouco mais de três anos, em que se tornou uma referência e um grande amigo, sempre presente com paciência, conselhos e incentivo, acreditando no meu potencial mesmo nos momentos de incerteza. Agradeço por cada troca de ideias, pelas correções sempre construtivas e pelo exemplo de profissionalismo, ética e dedicação que levarei comigo. Sua generosidade e compromisso foram essenciais nessa jornada, e este trabalho também reflete seu apoio e ensinamentos.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao curso de Agronomia, bem como, o Conselho Nacional de Pesquisa (Cnpq) por conceder a bolsa de iniciação científica.

Aos membros da banca examadora: Prof. Dr. Joaquim Emanuel Fernandes Gondim pelas contribuições fundamentais na melhoria do estudo, e em especial a Profa. Dra. Maria Valdigleza de Mesquita Arruda, profissional que trabalha de forma humana, e pôde me

acompanhar em todas as etapas da minha graduação e em momentos difíceis do dia-a-dia, primando pela ética, cordialidade e competência.

Aos meus amigos da vida e da academia, Pedro Henrique, Isabela Clemente, Micharlyson Moraes, Luirla Ramalho, Thaís Queiroga e Rômulo Carantino, meu mais sincero agradecimento. Durante essa jornada, vocês foram meu suporte, minha motivação e, muitas vezes, minha válvula de escape nos momentos de estresse. Cada palavra de incentivo e cada conversa descontraída foram fundamentais para manter a mente sã nos dias mais difíceis.

Aos amigos que a Universidade Federal Rural do Semi-Árido me presenteou, Rodrigo Codes, Vânia Porto, Álvaro Fabiano, Joseane Guedes, Jocigleuson Alves, Edcarlos Alves, Rejane Botrel, Rannah Munay, Marília Pinheiro, Glória Vitorino, Liana Holanda e Stephano Marques, minha profunda gratidão. Juntos, construímos um legado à frente das representações nos Conselhos Superiores e enfrentamos, com coragem e compromisso, o processo de restituição democrática que a universidade atravessou.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Solo, Água e Planta do Semi-Árido (LASAPSA), que durante esse período foram uma verdadeira família.

"Espantalho, você sempre teve um cérebro; Homem de Lata, você sempre teve um coração; e Leão, você sempre teve coragem", disse o Mágico, sorrindo. "Eu apenas lhes dei símbolos para que pudessem enxergar o que já possuíam dentro de si. Pois o verdadeiro poder não vem de fora, mas de dentro."

O Mágico de Oz, L. Frank Baum

RESUMO

A escassez de água tem se agravado, especialmente em zonas semiáridas do Brasil, onde a gestão inadequada dos recursos e as mudanças climáticas intensificam o problema. A agricultura, uma das principais responsáveis pelo consumo de água, enfrenta grandes desafios como a gestão inadequada dos recursos e as mudanças climáticas. Nesse cenário, o uso de águas residuais surge como uma solução promissora, aliviando a pressão sobre as fontes hídricas e contribuindo para o saneamento ambiental e a reciclagem de nutrientes, tornando-se uma alternativa sustentável para a irrigação, especialmente para agricultores familiares. Deste modo, objetivou-se analisar os impactos sobre as propriedades físico-químicas do solo do uso de águas residuárias de efluentes domésticos tratados na unidade familiar do PA do assentamento Maurício de Oliveira, município de Assú, Rio Grande do Norte. Foram realizadas três campanhas de coleta de amostras compostas deformadas de solo irrigados com efluente de esgoto doméstico, nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 cm para a caracterização físico-químicas do solo que incluíram a determinação do pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), fósforo (P), carbono orgânico total (COT), matéria orgânica do solo (MOS) e nitrogênio (N). Os resultados médios foram submetidos a estatística multivariada por meio da Análise Fatorial (AF) e Análise de Componentes Principais (ACP). A matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) indicou correlações significativas entre os atributos físico-químicos do solo. O pH apresentou correlação negativa com a condutividade elétrica (CE), matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), potássio (K^+) e sódio (Na^+), enquanto mostrou correlação positiva com o nitrogênio (N). A análise fatorial agrupou 10 variáveis químicas em três fatores, sendo F1: cálcio (Ca^{2+} e Mg^{2+}); F2: (CE e K^+) F3: (P e Na^+). A análise de componentes principais mostrou que o COT, MOS e Na^+ discriminaram na fração de 20-40 cm na campanha I. A CE e o K^+ discriminaram na camada superficial de 0-20 cm na campanha I. O pH e o N foram discriminantes nas frações de 0-20 cm e 20-40 cm nas campanhas II e III. Já o Ca^{2+} , Mg^{2+} e o P discriminaram na fração de 0-20 cm na campanha III. Concluiu-se que o uso de efluente de água residuária tratada como fonte hídrica para a irrigação da unidade de produção familiar melhorou a fertilidade do solo, fornecendo água e nutrientes essenciais para as plantas. Apesar das variações nos atributos físico-químicos do solo, os valores de condutividade elétrica se mantiveram dentro de uma faixa segura, sem riscos de salinização.

Palavras-chave: Gestão hídrica. Reuso de água. Sustentabilidade. Agricultura familiar. Solo salino.

ABSTRACT

Water scarcity has been worsening, especially in semiarid areas of Brazil, where inadequate resource management and climate change are exacerbating the problem. Agriculture, one of the main sources of water consumption, faces major challenges such as inadequate resource management and climate change. In this scenario, the use of wastewater emerges as a promising solution, relieving pressure on water sources and contributing to environmental sanitation and nutrient recycling, becoming a sustainable alternative for irrigation, especially for family farmers. Thus, the objective of this study was to analyze the impacts on the physical and chemical properties of the soil of the use of wastewater from domestic effluents treated in the family unit of the PA of the Maurício de Oliveira settlement, municipality of Assú, Rio Grande do Norte. Three campaigns were carried out to collect disturbed composite samples of soil irrigated with domestic sewage effluent, in the 0.00-0.20 and 0.20-0.40 cm layers for the physicochemical characterization of the soil, which included the determination of pH (hydrogen potential), electrical conductivity (EC), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), phosphorus (P), total organic carbon (TOC), soil organic matter (SOM) and nitrogen (N). The average results were subjected to multivariate statistics through Factor Analysis (FA) and Principal Component Analysis (PCA). Pearson's correlation matrix ($p \leq 0.05$) indicated significant correlations between the physicochemical attributes of the soil. pH showed a negative correlation with electrical conductivity (EC), soil organic matter (SOM), total organic carbon (TOC), potassium (K^+) and sodium (Na^+), while it showed a positive correlation with nitrogen (N). Factor analysis grouped 10 chemical variables into three factors, being F1: calcium (Ca^{2+} and Mg^{2+}); F2: (EC and K^+) F3: (P and Na^+). Principal component analysis showed that TOC, MOS and Na^+ discriminated in the 20-40 cm fraction in campaign I. EC and K^+ discriminated in the surface layer of 0-20 cm in campaign I. pH and N were discriminating in the fractions of 0-20 cm and 20-40 cm in campaigns II and III. Ca^{2+} , Mg^{2+} and P discriminated in the fraction of 0-20 cm in campaign III. It was concluded that the use of treated wastewater effluent as a water source for irrigation of the family production unit improved soil fertility, providing water and essential nutrients for plants. Despite variations in the physical-chemical attributes of the soil, electrical conductivity values remained within a safe range, with no risk of salinization.

Keywords: Water management. Water reuse. Sustainability. Family farming. Saline soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Irrigação com efluente tratado de esgoto doméstico em Coqueiro (A) e bananeira da unidade familiar (B).....	19
Figura 2	– Visão aérea do local de estudo na comunidade rural PA Maurício de Oliveira, Rio Grande do Norte, Brasil.....	19
Figura 3	– Visão aérea da unidade familiar em que as coletas foram realizadas.....	20
Figura 4	– Distribuição dos atributos químicos, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 2 (B).....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Valores médios da análise química do efluente de esgoto doméstico tratado utilizado na unidade familiar.....	21
Tabela 2	–	Matriz de correlação dos atributos químicos.....	23
Tabela 3	–	Atributos químicos dos solos da área estudada do PA Maurício de Oliveira.....	24
Tabela 4	–	Matriz fatorial dos atributos químicos.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1	Objetivos Específicos.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Gestão de Recursos Hídricos no Semiárido.....	16
3.2	Caracterização dos Sistemas de Reuso de Efluentes de Esgoto Doméstico Tratado.....	17
3.3	Impactos do Uso de Efluentes de Esgoto Doméstico Tratado nas Propriedades Químicas do Solo.....	17
3.4	Viabilidade e Sustentabilidade na Agricultura Familiar.....	18
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	Localização da Área.....	19
4.2	Coleta do Solo.....	21
4.3	Análises Químicas.....	21
4.4	Caracterização da Água de Irrigação.....	22
4.5	Análise Estatística.....	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
5.1	Matriz de Correlação.....	23
5.2	Análise Fatorial.....	25
5.3	Análise dos Componentes Principais.....	27
6	CONCLUSÕES.....	29
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

A redução dos recursos hídricos é uma realidade recorrente no semiárido brasileiro, sendo acentuada pela má gestão, inadequada distribuição da população em relação à disponibilidade hídrica e pelas mudanças climáticas globais, que agravam gradualmente os períodos de seca ao longo dos anos (SOUZA, ARTIGAS & LIMA, 2015).

No Brasil, cerca de 45% da água retirada é destinada à agricultura irrigada, mas no Submédio São Francisco essa participação chega a aproximadamente 75%. Essa atividade se destaca pelo elevado consumo, representando em torno de 65% do uso total de água no país (PIRES, 2016). De acordo com Melo et al. (2022) e Rockström et al. (2009), a agricultura desempenha um papel essencial na sociedade, garantindo a produção de alimentos e sendo um dos pilares da economia global. No entanto, essa atividade enfrenta desafios crescentes devido à limitação dos recursos hídricos, um fator crítico para sua produtividade. Esse elevado consumo está diretamente relacionado à necessidade de irrigação em diversas culturas, especialmente no semiárido, onde a precipitação natural é insuficiente para manter a produtividade agrícola.

A gestão eficiente da água na agricultura torna-se indispensável para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Nesse contexto, a relação direta entre o aumento da produção de alimentos e a maior demanda por recursos hídricos coloca o tema como uma questão prioritária em regiões tropicais. Por isso, é essencial buscar soluções sustentáveis para assegurar tanto a segurança hídrica quanto a alimentar (Chekli et al., 2017).

Uma provável alternativa é o uso controlado de águas residuais na irrigação, que surge como uma proposta eficaz para aliviar a pressão sobre os mananciais e garantir água de melhor qualidade para consumo humano e dessedentação animal. Essa prática, inserida no âmbito da gestão hídrica, contribui para o saneamento ambiental, ao mesmo tempo em que permite a aplicação de efluentes tratados na agricultura, reduzindo a poluição e promovendo a reciclagem de nutrientes (MENDES et al., 2016).

A reutilização de água é um aspecto essencial na gestão hídrica de áreas com recursos escassos, especialmente em zonas semiáridas. Nessas localidades, a limitação de água tem se tornado um obstáculo significativo para o desenvolvimento de setores como o industrial,

urbano e, principalmente, o agrícola (Souza, 2019). Entre as opções de reúso, destaca-se a água cinza, frequentemente destinada a usos menos exigentes, como a irrigação agrícola. Esse tipo de água é caracterizado por sua baixa carga orgânica, o que possibilita seu aproveitamento em aplicações não potáveis com a utilização de tratamentos simplificados (Manfrin et al., 2019).

As águas residuárias do esgoto doméstico tratado apresentam diversas vantagens em relação às águas negras. Visto que, além de conter menor concentração de agentes patogênicos, possui apenas 30% de matéria orgânica e concentra entre 9% e 20% de nutrientes, tornando-a uma alternativa viável para o uso agrícola ou florestal (Bani-Melhem et al., 2015). Ela também pode ser utilizada em descargas sanitárias e atividades externas, como irrigação de jardins. Nesse contexto, cabe ressaltar que a composição e a quantidade de água variam significativamente, influenciadas por aspectos como condições sanitárias, rotina doméstica, número dos residentes, hábitos alimentares e tipos de detergentes utilizados (Teodoro et al., 2017).

Apesar de seus benefícios, a água cinza, quando não submetida a tratamento adequado, pode apresentar riscos à saúde. Sua composição inclui produtos químicos de sabões, detergentes, sais e milhões de bactérias patogênicas, tornando imprescindível seu tratamento antes do uso (Bani-Melhem et al., 2015). Além disso, podem comprometer a saúde pública e levar ao acúmulo de nitratos, compostos químicos e contaminantes no solo, resultando em processos de salinização e poluição do solo e do lençol freático (Fonseca, 2001; Costa, 2007).

Entretanto, se tratada e manejada de maneira adequada, a presença de nutrientes nas águas passa a ser um atributo importante para sua aplicação em agroecossistemas e irrigação de culturas (Moura et al., 2020).

No Brasil, é crucial cumprir as normas e regulamentos estabelecidos para o reúso de água na agricultura, a fim de garantir sua utilização sustentável na irrigação e evitar prejuízos ao solo. Considerando o elevado teor de nutrientes das águas cinzas, é importante avaliar seus impactos nas características químicas do solo (BIANCHINI et al., 2019).

2 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa busca analisar os impactos do uso de efluente de esgoto doméstico na qualidade e propriedades químicas do solo e avaliar sua viabilidade e sustentabilidade para famílias rurais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o pH e a CE do solo em função da aplicação de efluente de esgoto doméstico;
- Investigar os efeitos da irrigação com efluente de esgoto doméstico na disponibilidade de nutrientes (Ca, Mg, K e P) no solo;
- Estudar as concentrações de matéria orgânica e carbono orgânico total no solo, assim como, determinar a viabilidade do uso de efluente de esgoto doméstico na agricultura familiar.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Gestão de Recursos Hídricos no Semiárido

A zona semiárida, se destaca como uma das áreas mais vulneráveis do país devido à combinação de fatores climáticos desfavoráveis, como irregularidade de chuvas e elevada taxa de evapotranspiração. Esses elementos intensificam o risco de escassez hídrica, criando um descompasso entre a oferta e demanda por água, o que impacta diretamente o abastecimento da população e o desenvolvimento econômico regional (INSA, 2022).

Embora o Brasil possua uma das maiores reservas hídricas do mundo, representando entre 12% e 14% do total global, essa abundância é desigualmente distribuída, com a maior parte dos recursos concentrados na bacia Amazônica, uma região de baixa densidade populacional (The World Bank, 2018). Em um contexto mais local, Maia et al. (2019) destacam que a região da Chapada do Apodi, no oeste do Rio Grande do Norte, depende fortemente da irrigação agrícola, utilizando águas de poço extraídas dos aquíferos do arenito Açú e do calcário Jandaíra para suprir a demanda hídrica local. Dessa forma, o reuso de água surge como uma alternativa promissora para mitigar a escassez hídrica. Garantir a qualidade da água reaproveitada de acordo com os usos pretendidos exige uma abordagem preventiva,

abrangendo desde o gerenciamento das fontes até o fornecimento de água tratada de forma segura (Mancuso et al., 2021).

Pesquisas conduzidas por Santiago e Jalfim (2018) e Torres et al. (2019) destacam que o reuso de efluente de esgoto doméstico oferece benefícios significativos, como o aumento da produção agrícola, a redução da poluição ambiental e a conservação dos recursos hídricos. Ao substituir o uso de água potável por água de qualidade inferior em determinadas atividades, também é possível economizar recursos financeiros e hídricos, contribuindo para um planejamento mais sustentável (CETESB, 2022).

3.2 Caracterização dos Sistemas de Reuso de Efluentes de Esgoto Doméstico

Os sistemas foram implementados pelo SEAPAC – Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários, uma entidade vinculada à Igreja Católica, que desenvolve iniciativas voltadas ao fortalecimento da agricultura familiar e à redução da vulnerabilidade social. Esses sistemas fazem parte de um dos primeiros projetos de reuso de efluentes de esgoto doméstico no meio rural, adotando a tecnologia de decanto-digestor de câmara única, um processo anaeróbio acessível e viável economicamente para o tratamento de efluentes domésticos (SEAPAC, 2021).

A unidade de tratamento e reuso de efluente de esgoto doméstico, segundo o SEAPAC (2021), opera em três etapas principais: captação, tratamento e armazenamento/reuso. A captação é realizada por meio da coleta de efluentes de esgoto doméstico provenientes de banheiros, pias, lavanderias e máquinas de lavar. No tratamento, o efluente passa inicialmente por uma caixa de gordura, que separa os resíduos oleosos, seguida de um decanto-digestor, responsável por reduzir as impurezas, e, finalmente, um filtro que melhora a qualidade da água, tornando-a adequada para o reuso. Após o tratamento, o efluente é armazenado em um tanque reservatório e reutilizado por meio de um sistema de irrigação, destinado ao uso sustentável em cultivos de frutíferas.

3.3 Impactos do Uso de Efluentes de Esgoto Doméstico nas Propriedades Físico-Químicas do Solo

Nas áreas rurais, é comum que as esses efluentes sejam descartadas diretamente no ambiente, o que resulta em desperdício e em possíveis impactos negativos ao meio ambiente e à saúde. Quando tratadas adequadamente, essas águas podem ser reaproveitadas para irrigação agrícola, reduzindo problemas relacionados à contaminação do solo e à proliferação de doenças (Figueiredo et al., 2019).

Estudos recentes indicam que mais de 80% das famílias descartam efluentes de esgoto doméstico sem tratamento prévio, o que intensifica as preocupações sobre os impactos ambientais e sanitários. Visto que, a deposição inadequada pode prejudicar a qualidade do solo, ocasionando alterações químicas indesejadas no solo, como o aumento da salinidade, da sodicidade e da dispersão de argilas, conforme apontam estudos de Matos (2001) e Fonseca et al. (2001). Além de contaminar águas subterrâneas e representar riscos à saúde pública (COMPAORÉ et al., 2024; KANTERAKI et al., 2022).

Nesse sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a Norma 16783, que estabelece diretrizes para o tratamento e a disposição de águas residuais em diferentes tipos de edificações. Essa norma define critérios como a manutenção de um pH entre 6,0 e 9,0 e uma concentração máxima de carbono orgânico total (COT) de 4 mg/L, especialmente para águas provenientes do rebaixamento de lençol freático, que podem apresentar maior risco de contaminação por compostos orgânicos (ABNT, 2019).

Uma vez atendida as condições adequadas de uso, a irrigação com água cinzas pode favorecer a fertilidade do solo ao servir como fonte de macro e micronutrientes, como Ca, Mg, P e K que estão prontamente disponíveis para o solo sem a necessidade de mineralização (Franca et al. 2022). Além disso, contribui para a redução do uso de água potável (Patil et al. 2022).

3.4 Viabilidade e Sustentabilidade na Agricultura Familiar

No Brasil, a regulamentação sobre o reuso de águas residuais ainda é fragmentada, com normas que variam entre os estados. Essa falta de uniformidade dificulta a expansão da prática em escala nacional. Por isso, é fundamental estabelecer uma legislação federal que padronize os critérios de qualidade, promovendo a segurança e a viabilidade do reuso (MORAIS; SANTOS, 2019).

Além de assegurar o abastecimento hídrico para a agricultura, o reuso de efluentes de esgoto doméstico contribui para a fertilização do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e incentivando práticas agrícolas mais sustentáveis (Souza; Leite, 2003; Lahlou et al., 2021). Silva (2021) observa que comunidades em regiões com maior déficit hídrico e menor acesso a saneamento básico tendem a demonstrar maior aceitação em relação a tecnologias de reuso de efluentes de esgoto doméstico. Essa receptividade reflete tanto a compreensão dos desafios locais quanto os potenciais benefícios econômicos dessa prática.

Por fim, conforme apontam Hespanhol (2008) e Silva et al. (2023), a aceitação do público em relação ao reuso depende diretamente do acesso a informações claras e confiáveis, da credibilidade dos responsáveis pelos projetos e da conscientização sobre a importância de soluções para a escassez hídrica. Para que essa prática se torne amplamente adotada, é indispensável investir em campanhas educativas e de sensibilização.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da Área

A pesquisa foi realizada em uma unidade familiar localizada na comunidade rural PA Maurício de Oliveira (5°36'02.2"S 37°00'53.9"W), situada no município de Assú, mesorregião Oeste Potiguar, no Rio Grande do Norte. O solo da área estudada é classificado como latossolo. Para a avaliação, foram selecionados pontos de coleta em áreas irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado, onde predominam cultivos de frutíferas, como bananeira (*Musa spp.*), coqueiro (*Cocos nucifera*) e graviola (*Annona muricata*) (Figura 1 A e B). De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger, a região apresenta clima do tipo BSh, caracterizado por temperatura média anual de 27,7 °C e precipitação anual em torno de 646 mm (CLIMATE-DATA, 2018).

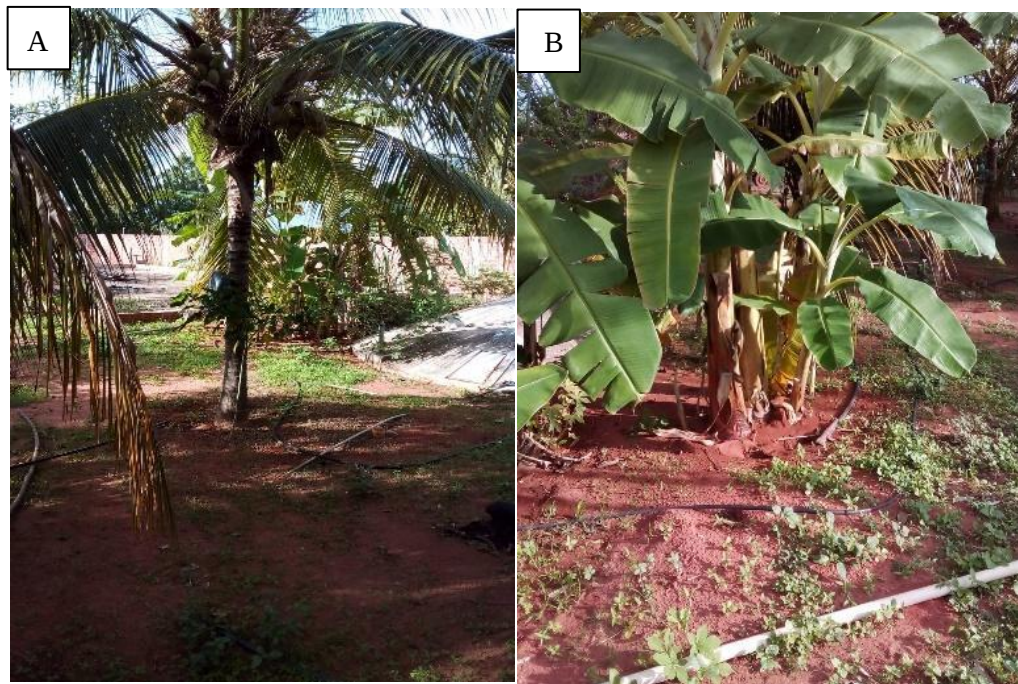


Figura 1. Irrigação com efluente tratado de esgoto doméstico em Coqueiro (A) e bananeira da unidade familiar (B). (Fonte: Acervo de pesquisa)



Figura 2. Visão aérea do local de estudo na comunidade rural PA Maurício de Oliveira, Rio Grande do Norte, Brasil. (Fonte: Acervo de pesquisa)



Figura 3. Visão aérea da unidade familiar em que as coletas foram realizadas. (Fonte: Acervo de pesquisa)

4.2 Coleta do Solo

As campanhas de coleta foram realizadas ao longo de seis meses, com a primeira ocorrendo em fevereiro, a segunda em maio e a última em agosto, ambas no ano de 2024. Foram coletadas três amostras compostas deformadas, por coleta, nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 cm com o auxílio de um trado e identificadas em sacos plásticos em seguida destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina ao ar (TFSA), com posterior determinação de análises químicas.

4.3 Análises Químicas

As análises químicas do solo foram conduzidas de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado em suspensão de solo com água destilada na proporção 1:2,5, sendo a leitura realizada com um peagâmetro. A condutividade elétrica (CE) em água. A quantificação dos macronutrientes envolveu diferentes métodos de extração e determinação. O cálcio trocável (Ca^{2+}) e o magnésio trocável (Mg^{2+}) foram extraídos com cloreto de potássio (KCl) e, em seguida, submetidos à adição de coquetel químico contendo ácido ascórbico e indicador negro de eriocromo. A determinação ocorreu por titulação com EDTA 0,0125 M. O sódio (Na^{+}) e o potássio (K^{+}) foram extraídos utilizando a solução de Mehlich 1 e quantificados por

fotometria de chama. A análise de fósforo (P) foi realizada com solução ácida de molibdato de amônio e ácido ascórbico em pó, sendo a leitura da densidade óptica feita em fotocolorímetro, com filtro vermelho e comprimento de onda de 660 nm. Para a determinação do carbono orgânico total (COT), utilizou-se o método da oxidação úmida com dicromato de potássio em meio ácido, seguido da adição de ácido ortofosfórico e indicador fenilamina. A quantificação foi realizada por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,05 M. A determinação do nitrogênio (N) foi realizada conforme o método de Kjeldahl.

4.4 Caracterização da Água de Irrigação

O efluente de esgoto doméstico tratado, utilizado na irrigação apresentou condutividade elétrica média de 0,53 a 0,11 dS/m⁻¹, variando conforme a origem, indicando baixa a moderada salinidade e baixo teor de sódio. A dureza variou entre 75 e 150 mg L⁻¹, sendo considerada moderada, com predominância de íons cálcio e magnésio.

Tabela 1. Valores médios da análise química do efluente de esgoto doméstico tratado utilizado na unidade familiar.

ÁGUA	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	Dureza
	(água)	dS/m	"----- mmol/L -----"								mg/L
CI	7,22	0,53	0,27	0,78	0,65	0,94	1,0	-	1,28	0,9	79,5
CII	6,50	0,11	1,07	4,41	0,35	0,50	3,0	-	4,93	6,8	42,5
CIII	6,71	0,20	0,76	4,08	1,25	1,43	2,8	-	4,36	3,5	134

Nota: CI: Campanha I; CII: Campanha II; CIII: Campanha III; pH H₂O: Potencial de hidrogênio; CE: Condutividade elétrica; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; Cl⁻: Cloro; CO₃²⁻: Carbonato; HCO₃⁻: Bicarbonato; RAS: Razão de Adsorção de Sódio; Dureza: Concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ expressa em mg/L de carbonato de cálcio (CaCO₃).

4.5 Análise Estatística

Os dados médios foram analisados utilizando técnicas de análise multivariada, permitindo a identificação dos atributos mais sensíveis à irrigação com efluentes de esgoto doméstico tratadas. Inicialmente, aplicou-se a correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para determinar as correlações mínimas relevantes para inclusão na matriz de dados. Posteriormente, os dados foram padronizados com base na matriz de correlação e submetidos à Análise de

Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF), utilizando o software Statistica 7.0 (Statsoft, 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Matriz de Correlação

A matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) (Tabela 2) revelou correlações significativas entre os atributos químicos do solo. De modo geral, o pH apresentou correlação negativa com a condutividade elétrica (CE), matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), potássio (K^+) e sódio (Na^+), indicando que solos mais ácidos tendem a apresentar maiores respostas dessas variáveis. Esse resultado evidencia a influência do pH na disponibilidade de nutrientes e na qualidade do solo. Na área CI, o solo mais ácido apresenta maior condutividade elétrica ($0,17 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto na CII, o pH mais alcalino na camada de 0 a 20 cm está associado a uma menor CE ($0,03 \text{ dS m}^{-1}$), impactando a disponibilidade de nutrientes. Segundo Kaseker et al. (2022), o aumento do pH afeta diretamente a distribuição do potássio entre suas diferentes formas no solo. Por outro lado, verificou-se uma correlação positiva entre o pH e o nitrogênio (N), sugerindo que solos menos ácidos favorecem a disponibilidade desse elemento. Essa relação reforça o papel do pH nos processos biogeoquímicos. Khalil et al. (2005) destacam que a nitrificação ocorre de maneira mais eficiente dentro de uma faixa ideal de pH, enquanto Kyveryga et al. (2004) observaram que valores entre 6 e 8 influenciam diretamente as taxas de nitrificação, aumentando a disponibilidade de nitrogênio no solo. Essa relação pode ser confirmada na Tabela 3, onde o pH varia entre 6,49 e 7,73

A CE apresentou forte correlação positiva com o potássio (K^+), indicando que o aumento da salinidade pode estar associado à maior concentração desse nutriente no solo. Ao observar os valores de K^+ na tabela 1, percebe-se que as áreas com maior concentração de potássio (CII e CIII) terão uma condutividade elétrica mais elevada, o que confirma a correlação positiva entre CE e K^+ , conforme descrito por Lo Monaco et al. (2004), que destacam o papel do potássio na elevação da CE, uma vez que ele permanece em solução e contribui para a atividade iônica do solo. Além disso, verificou-se uma baixa correlação negativa entre CE e nitrogênio (N), o que impacta a disponibilidade desse elemento no solo.

Esse efeito pode ser observado nas coletas realizadas nas áreas CII e CIII, que apresentaram maior disponibilidade de N em comparação à CI.

A matéria orgânica do solo (MOS) e o carbono orgânico total (COT) apresentaram correlação negativa com o fósforo (P) e o nitrogênio (N), sugerindo que maiores teores de matéria orgânica podem reduzir a disponibilidade desses elementos. Abdala et al. (2012) associam essa correlação inversa entre matéria orgânica e fósforo à competição entre ácidos orgânicos e fosfatos pelos sítios de adsorção nos coloides do solo. Considerando que a adubação utilizada na unidade familiar é à base de esterco curtido, isso também pode influenciar a disponibilidade de nitrogênio, que se encontra predominantemente na forma orgânica, tornando-se indisponível para absorção imediata pelas plantas.

A correlação negativa entre fósforo (P) e sódio (Na^+), assim como entre potássio (K^+) e nitrogênio (N), pode ser explicada pela competição desses íons nos processos de absorção e adsorção no solo. Conforme observado nas tabelas, a água de irrigação das classes CII e CIII apresenta altas concentrações de Na^+ e K^+ (Tabela 1), favorecendo a competição por sítios de adsorção no solo e nas raízes das plantas, reduzindo a disponibilidade de P e N.

Os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) apresentaram correlação positiva, evidenciando a interação entre esses cátions na solução do solo. Esses elementos, presentes na água de irrigação, influenciam diretamente a nutrição mineral das plantas por meio de sua dinâmica de adsorção e troca no solo. De acordo com Mateo-Sagasta (2017), além de ser uma fonte adicional de água para irrigação, a água de reuso contribui para o aumento desses macronutrientes essenciais, favorecendo o desenvolvimento das plantas. Esse equilíbrio entre cálcio e magnésio, portanto, pode resultar em um incremento significativo na produção agrícola.

Tabela 2. Matriz de correlação dos atributos químicos.

	pH	CE	MOS	COT	P	K	Ca	Mg	Na	N
pH	1,00									
CE	-0,68	1,00								
MOS	-0,66	0,51	1,00							
COT	-0,66	0,51	1,00	1,00						
P	0,54	-0,12	-0,64	-0,64	1,00					

K	-0,66	0,96	0,39	0,39	-0,03	1,00				
Ca	-0,08	0,25	-0,56	-0,56	0,55	0,29	1,00			
Mg	-0,05	-0,18	-0,38	-0,38	0,55	-0,15	0,66	1,00		
Na	-0,70	0,00	0,56	0,56	-0,77	-0,06	-0,26	0,09	1,00	
N	0,67	-0,62	-0,90	-0,90	0,40	-0,60	0,47	0,32	-0,37	1,00

Nota: pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; MOS – Matéria orgânica do solo; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; N – Nitrogênio.

Tabela 3. Atributos químicos dos solos da área estudada do PA Maurício de Oliveira.

SOLO	pH	CE	MOS	COT	P	K	Ca	Mg	Na	N
	Água (1;2,5)	dS m ⁻¹	g/kg	g/kg	mg/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	mg/dm ³	g/kg
CI 0-20	5,47	0,17	23,07	39,77	15,36	91,04	1,81	0,53	27,36	0,20
CI 20-40	5,71	0,08	34,05	58,71	5,85	39,08	0,83	0,65	52,97	0,14
CII 0-20	7,73	0,03	12,52	21,58	29,97	31,00	1,21	0,71	9,44	0,42
CII 20-40	7,39	0,05	15,81	27,25	10,03	28,00	1,13	0,23	22,51	0,56
CIII 0-20	6,81	0,09	11,67	20,12	28,23	44,00	2,44	1,08	20,50	0,59
CIII 20-40	6,49	0,01	8,49	14,63	15,23	23,00	1,82	0,95	42,63	0,62

Nota: CI, CII e CIII referem-se às campanhas 1, 2 e 3, respectivamente. As profundidades 0-20 cm e 20-40 cm indicam as camadas do solo em que foram realizadas as coletas. pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; MOS – Matéria orgânica do solo; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Na – Sódio; N – Nitrogênio.

5.2 Análise Fatorial

A análise fatorial foi realizada com 10 variáveis químicas (Tabela 4), agrupando-as em três (3) fatores de acordo com sua correlação. O fator 1 (F1) apresentou a maior variância total, com 52,57%, sendo o mais representativo na diferenciação dos atributos químicos, agrupando duas variáveis: Ca e Mg. O fator 2 (F2) explicou 24,12% da variância total e reuniu outras duas variáveis: CE e K. Já o fator 3 (F3), responsável por 14,90% da variância total, agrupou as variáveis P e Na. No conjunto, os três fatores explicaram 91,61% da

variância total acumulada, evidenciando a forte correlação entre os atributos químicos do solo.

Conforme Bottega et al. (2013), a eficiência observada na relação entre Ca e Mg pode estar associada ao manejo adotado nas propriedades, que inclui práticas como o plantio direto e a rotação de culturas. Esse modelo de manejo está alinhado com as técnicas utilizadas na unidade familiar estudada, onde se emprega a irrigação com efluentes de esgoto doméstico tratadas e serrapilheira na cobertura do solo. Essas estratégias promovem a reciclagem de nutrientes e aprimoram a fertilidade do solo, contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola. Solos com altos valores de CE e K podem estar sujeitos a problemas de salinização, além de impactar a produção agrícola, o excesso de sais, como o potássio (K), pode levar à salinização do solo, prejudicando os cultivos e exigindo medidas corretivas para mitigar seus efeitos. Por isso, é essencial que os efluentes passem por um tratamento prévio para reduzir a concentração de sais, melhorando sua qualidade para irrigação e prevenindo impactos ambientais negativos (Almeida, 2010).

Lubbe et al. (2016) descrevem que o aumento do pH e o elevado teor de sódio, resultantes da irrigação com efluentes de esgoto doméstico, podem prejudicar as características do solo. Esse impacto negativo ocorre principalmente devido à alteração na composição química do solo, afetando sua estrutura e fertilidade.

Tabela 4. Matriz fatorial dos atributos químicos.

Atributos	F1	F2	F3
pH	-0,15	-0,65	-0,25
CE	-0,01	0,98	0,06
MOS	-0,51	0,49	0,65
COT	-0,51	0,49	0,65
P	0,47	-0,01	-0,76
K	0,04	0,98	-0,02
Ca	0,89	0,24	-0,30
Mg	0,90	-0,13	0,08
Na	0,05	-0,06	0,99

N	0,45	-0,67	-0,46
Autovalores	5,25	2,41	1,49
Variância Total (%)	52,57	24,12	14,90
Variância Total Acumulada (%)	52,57	76,70	91,61

Nota: pH - Potencial Hidrogeniônico; CE - Condutividade Elétrica; MOS - Matéria Orgânica do Solo; COT - Carbono Orgânico Total; P - Fósforo; K - Potássio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Na - Sódio; N - Nitrogênio.

5.3 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais representadas pelo círculo de correlação e nuvens de variáveis com formação de dois eixos explicam 76,71% dos resultados obtidos, discriminando os atributos químicos do solo e as frações em que essas relações ocorreram (Figura 4 A e B). O carbono orgânico total (COT), a matéria orgânica do solo (MOS) e o sódio (Na) se discriminaram principalmente na fração de 20-40 cm durante a primeira campanha (Figura 4 A e B). A irrigação com efluentes de esgoto doméstico pode levar ao aumento da matéria orgânica do solo (MOS) e do carbono orgânico total (COT) em diferentes camadas do solo. De acordo com Adejumobi et al. (2014), esse acréscimo é benéfico para a fertilidade do solo, podendo contribuir para a melhoria da estabilidade dos agregados, o aumento da retenção de água e a disponibilização de nitrogênio na forma de amônio, um nutriente essencial para as plantas. A água de irrigação (efluente tratado) da II e III coleta, apresenta teores mais elevados de sódio (4,41 e 4,08 mmolc/L, respectivamente). Tal condição contribui para maiores acúmulos no solo, principalmente na camada mais profunda (20-40 cm). Isso sugere que parte do sódio presente na água de irrigação está se acumulando ao longo do tempo, podendo afetar a estrutura do solo e sua capacidade de retenção de água (SCHOSSLER et al., 2012).

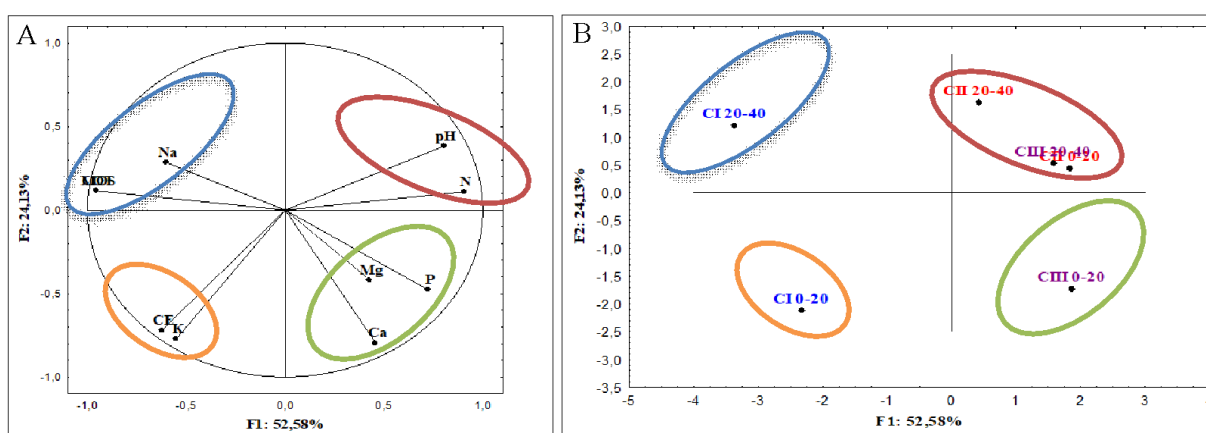


Figura 4. Distribuição dos atributos químicos, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 2 (B).

A condutividade elétrica e o potássio foram discriminantes na camada superficial (0-20cm) na primeira coleta. Apesar da variação observada na tabela 1, quanto à qualidade da água de irrigação, há uma indicação de proporcionalidade com a condutividade elétrica (CE) do solo, mantendo-se dentro de uma faixa segura, sem risco imediato de salinização. Ao limitar a análise à fração de 0-20 cm em CI (Tabela 3), observamos uma concentração de potássio no solo significativamente alta (91,04 mg/dm³), o que indica boa disponibilidade desse nutriente para as plantas. Além disso, a concentração de potássio na água é de 0,27 mmol/L (Tabela 1), sugere que o potássio no solo de CI é retido de forma eficiente, com poucas perdas para a água. Já para o potencial hidrogeniônico (pH) e o nitrogênio (N), esses, apresentaram discriminação em ambas as frações do solo na segunda campanha e na camada de 20-40 cm na terceira campanha. (Tabela 3).

A discriminação do pH e do nitrogênio observada nas frações de 0-20 cm e 20-40 cm, especialmente nas campanhas de CII e CIII, pode indicar que os solos com pH mais elevado (como em CII) têm maior concentração de nitrogênio disponível. Resultados semelhantes foram observados por De Amorim et al. (2021), que relataram que um pH de 7,5 não interferiu no processo de nitrificação, essencial para a disponibilização do nitrogênio em uma forma assimilável, no solo. Já na fração de 0-20 cm, durante a terceira campanha, cálcio, magnésio e fósforo foram os principais elementos discriminados, possivelmente influenciados pela composição química da água de irrigação. Em CIII, onde as concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ na água são mais elevadas, houve maior acúmulo desses elementos no solo, enquanto em CII, a menor concentração de cátions na água pode ter favorecido a disponibilidade de fósforo. A distribuição diferenciada dos nutrientes nas camadas do solo sugere baixa

mobilidade e possível efeito da irrigação na retenção desses elementos na superfície. Para Araújo (2019) e Handam (2021) o uso de efluentes de esgoto doméstico na agricultura traz benefícios tanto pela disponibilidade hídrica quanto pelo aporte de nutrientes essenciais às culturas, contribuindo ainda para a melhoria da fertilidade e das propriedades químicas do solo.

6 CONCLUSÕES

O uso de efluente de água residuária tratada como fonte hídrica para a irrigação da unidade de produção familiar melhorou a fertilidade do solo, fornecendo água e nutrientes essenciais para as plantas.

Apesar das variações nos atributos físico-químicos do solo, os valores de condutividade elétrica se mantiveram dentro de uma faixa segura, sem riscos de salinização.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**. Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 25p.

ADEJUMOBI, M. A.; OJEDIRAN, J.O.; OLABIYI, O. O. Effects of irrigation practices on some soil chemical properties on OMI irrigation scheme. *International Journal of Engineering Research and Application*, v. 4, n. 10, p. 29–35, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.047>. Acesso em: 07 de fev. 2025

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p. Disponível em: <shorturl.at/cdxGS>. Acesso em: 07 fev. 2025.

ARAÚJO, Rafael Olímpio Ferreira. **Produção e eficiência econômica da palma forrageira gigante irrigada com água residuária e da chuva no semiárido brasileiro**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Irrigação e Drenagem) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Serrinha, 2019.

Bani-Melhem, K.; Al-Qodah, Z.; Al-Shannag, M.; Qasaimeh, A.; Qtaishat, M. R.; Alkasrawi, M. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *Journal of Membrane Science*, v. 476, p. 40-49, 2015.

BIANCHINI, Paola Cortez et al. Efeito da irrigação suplementar com águas cinzas nas características químicas de solos em quintais produtivos no município de Triunfo, PE. 2019.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Reúso de água**. São Paulo - SP. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

CHEKLI, L. et al. Evaluation of fertilizer-drawn forward osmosis for sustainable agriculture and water reuse in arid regions. *Journal of Environmental Management*, v. 187, 1º fev. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308970>. Acesso em: 12 jan. 2025.

CLIMATE-DATA. **Clima: Assu: Climograma, Temperatura e Tabela climática Assu**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/42628>. Acesso em: 27 jan. 2025.

COMPAORÉ, C. O. T.; OUILI, A. S.; ZONGO, S. G.; DABRÉ, D.; MAIGA, Y.; MOGMENGA, I.; PALÉ, D.; TINDOURÉ, R. G. N.; NIKIEMA, M.; OUATTARA, C. A. T.; OUATTARA, A. S. Assessing greywater characteristics in the Sahel region and perception of the local population on its reuse in agriculture. *Heliyon*, v. 10, n. 14, 2024.

COSTA, R.H.P.G. Reúso. 2007. In: TELLES, D .D.; COSTA, R.H.P.G. (Coords.) **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Editora Blucher. p.93-140.

DE AMORIM, Jefferson Santos et al. Caracterização qualitativa e quantitativa dos grupos bacterianos responsáveis pelos processos de oxidação e redução de nitrogênio em sistemas de tratamento de águas residuárias. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e53510111938-e53510111938, 2021.

EMÍDIO, Rogério Andrade et al. Diagnóstico social, da qualidade do solo-água e do uso da terra em comunidades agrícolas do Cariri Paraibano. 2024.

FIGUEIREDO, I. Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas. 2019. 315f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp. Campinas. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/334429>.

FONSECA, A. F. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. 2001. 110f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FRANCA, Carlos Laécio Evangelista et al. Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido: aspectos legais e qualidade do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 3, p. 167-177, 2022.

HANDAM, N. B. Qualidade sanitária da água de reúso como destino sustentável para a agricultura. Tese (Doutorado em Ciências. Gestão e Saneamento ambiental). Orientador: Adriana Sotero Martins. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro/RJ, 2021. 179 p. Acesso em: 17 jan. 2025

HESPAÑOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **O Semiárido nordestino: desafios hídricos e impactos socioeconômicos**. Campina Grande: INSA, 2022. Disponível em: <http://www.insa.gov.br/>.

KANTERAKI, A. E.; ISARI, E. A.; SVARNAS, P.; KALAVROUZOTIS, I. K. Biosolids: The Trojan horse or the beautiful Helen for soil fertilization? **Science of The Total Environment**, v. 839, 2022.

KASEKER, J. F.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; PINTO, L. F. S.; SCHMIDT, F.; BAYER, C. Distribuição das formas de potássio no solo em decorrência da aplicação de calcário. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 1, p. 35-46, 2022.

KHALIL, M. I.; HOSSAIN, M. B.; SCHMIDHALTER, U. Mineralização de carbono e nitrogênio em diferentes solos de terras altas dos subtrópicos tratados com materiais orgânicos. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 8, p. 1507-1518, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.01.014>.

KYVERYGA, P. M.; BLACKMER, A. M.; ELLSWORTH, J. W.; ISLA, R. Efeitos do pH do solo na nitrificação de amônia anidra aplicada no outono. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 2, p. 545-551, 2004. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.5450>.

LAHLOU, F.; MACKEY, H. R.; AL-ANSARI, T. Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, 2021.

LO MONACO, P. A. V. et al. Estimativa da concentração de potássio a partir da condutividade elétrica em águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**. 2004.

LUBBE, E.; RODDA, N.; NAIDOO, S. Efeitos da irrigação com água cinza na germinação, crescimento e características fotossintéticas em vegetais folhosos africanos selecionados. **Water SA**, v. 42, n. 2, p. 203-212, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4314/wsa.v42i2.04>. Acesso em: 7 fev. 2025.

MAIA, Celsemy Eleutério et al. Avaliação hidroquímica das águas para irrigação da região da Chapada do Apodi-RN. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 3, p. 990-994, 2019.

MANCUSO, P. et al. **Reúso de Água Como Estratégia Para a Escassez**. 1. ed. [S. l.]: Manole, 2021. 352 p.

MANFRIN, Jéssica et al. Remediação de água cinza por meio de fitorremediação e tecnologias intermitentes de filtro de areia visando o reúso na irrigação de jardins. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 2, p. 59-68, 2019.

MATEO-SAGASTA, J. Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe: estado, principios y necesidades. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2017.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400026>.

MELO, E. B. de; BARROS, L. N.; SOUZA, L. K. R.; MELO, L. de O.; GONÇALVES, R. M. O.; BORGES, D. C. S. **A importância da agricultura para a sociedade: breve revisão de literatura**. *Scientia Generalis*, [S. l.], v. 2, n. Supl.1, p. 144, 2022. Disponível em: <https://scientiageneralis.com.br/index.php/SG/article/view/362>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MENDES, P. E. F.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Efluente tratado na agricultura: aspectos agrônômicos e sanitários no cultivo do rabanete. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, p.428-438, 2016.

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, v. 67, n. 215, p. 40-55, 2019.

Moura, P. G.; Aranha, F. N.; Handam, N. B.; Martin, L. E.; Salles, M. J.; Carvajal, E.; Sotero-Martins, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020.

MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A.; PINTO, A. B.; FIA, R.; FUKUNAGA, D. C. Pollutant potential of wastewater from the coffee fruits processing. In: SOARES, A. A.; SATURNINO,

H. M. **Competitive use and conservation strategies for water and natural resources**. Fortaleza: ABID, 2001, p. 158-165.

Patil, P. D.; Bhange, V. P., Shende, S. S.; Ghorpade, P. S. Greywater characterization of an Indian household and potential treatment for reuse. *Water-Energy Nexus*, v. 5, p. 1-7, 2022.

PIRES, A. P. N. O comitê da bacia hidrográfica do Rio São Francisco: a gestão das águas e a transposição do Rio São Francisco. 2016. 189 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2016.

ROCKSTRÖM, J.; KARLBERG, L.; WANI, S. P.; BARRON, J.; HATIBU, N.; OWEIS, T.; ... & QIANG, Z. **Gestão da água na agricultura de sequeiro – A necessidade de uma mudança de paradigma**. *Gestão da Água Agrícola*, v. 97, n. 4, p. 543-550, 2009.

SANTIAGO, Fábio; JALFIM, Felipe. O Sistema Bioágua Familiar: Reúso de água cinza doméstica para produção de alimentos no semiárido brasileiro. 2018.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R. de.; PIAULINO, A. C. Salinidade: Efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia*, v.8, n.15; p. 1563-1578, 2012.

SEAPAC. Tecnologia sociais fortalecem a agricultura familiar no semiárido potiguar. 2021. Disponível em: . Acesso em: 17 jan. 2025.

SILVA, J. R. M. Reúso direto de águas cinzas na agricultura: Percepção de extensionistas rurais e propostas de dimensionamento de círculo de bananeiras. 2021. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, 2021.

SILVA, Juliano Rezende Mudadu et al. Greywater as a water resource in agriculture: The acceptance and perception from Brazilian agricultural technicians. ***Agricultural Water Management***, v. 280, p. 108227, 2023.

SOUSA NETO, Pedro José de. Direito de águas: salvaguarda jurídica e medidas assecuratórias de acesso à água potável. 2019.

STATISTICA (data analysis software system), versão 7.0, StatSoft (www.statsoft.com), 2004.

TEODORO, A.; BONCZ, M. A.; PAULO, P. L.; MACHULEK JÚNIOR, A. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 1017-1026. 2017.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; WENCESLAU, A.F.; TEIXEIRA, G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573 p

THE WORLD BANK. **Recovering Water: A Results-Based Approach to Water Supply and Sanitation in Brazil's São Paulo State**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/results/2018/05/07/approach-to-water-supply-and-sanitation--brazil-sao-paulo-state>.

TORRES, D. M.; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, J. F.; FREIRE, J. O. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. **Holos**, v. 8, p. 1-15, 2019.