



UEPB

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPUS I

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

BEATRIZ HAYELLY DOS SANTOS BEZERRA

**POTENCIALIDADE DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS: SANEAMENTO RURAL E
AUTONOMIA NA AGRICULTURA FAMILIAR DE ALAGOA NOVA – PB**

CAMPINA GRANDE

2023

BEATRIZ HAYELLY DOS SANTOS BEZERRA

**POTENCIALIDADE DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS: SANEAMENTO RURAL E
AUTONOMIA NA AGRICULTURA FAMILIAR DE ALAGOA NOVA – PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Saneamento Rural.

Orientadora: Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos

**CAMPINA GRANDE
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B574p Bezerra, Beatriz Hayelly dos Santos.

Potencialidade de reuso de águas cinzas [manuscrito] : saneamento rural e autonomia na agricultura familiar de Alagoa Nova - PB / Beatriz Hayelly dos Santos Bezerra. - 2023.

19 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Sistema bioágua. 2. Tratamento de efluentes. 3. Filtro biológico. 4. Desenvolvimento rural. I. Título

21. ed. CDD 628

BEATRIZ HAYELLY DOS SANTOS BEZERRA

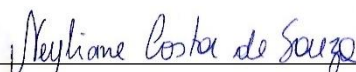
**POTENCIALIDADE DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS: SANEAMENTO RURAL E
AUTONOMIA NA AGRICULTURA FAMILIAR DE ALAGOA NOVA – PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Saneamento rural

Aprovada em: 23/11/2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Neyliane Costa de Souza (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof Dr. Whelton Brito dos Santos (Coorientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Ysa Helena Diniz Morais de Luna
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

As minhas queridas vó (in memoriam) e tia (in memoriam) pelo amor incondicional, cuidado e carinho. Por terem se esforçado tanto para cuidar de mim e terem me feito ser a pessoa que sou hoje, DEDICO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1	Escassez hídrica e a potencialidade de reuso	7
2.2	Tecnologias sociais de tratamento de águas cinzas.....	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS	8
3.1	Caracterização do sistema de tratamento de águas cinzas e da área de estudo	8
3.2	Caracterização da água cinza.....	10
3.3	Análise dos dados.....	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
	REFERÊNCIAS	16

POTENCIALIDADE DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS: SANEAMENTO RURAL E AUTONOMIA NA AGRICULTURA FAMILIAR DE ALAGOA NOVA – PB

POTENTIAL FOR REUSE OF GRAY WATER: RURAL SANITATION AND AUTONOMY IN FAMILY FARMING IN ALAGOA NOVA – PB

Beatriz Hayelly dos Santos Bezerra^{*}
Neyliane Costa de Souza^{**}
Whelton Brito dos Santos^{***}

RESUMO

Universalizar o saneamento básico ainda é um dos grandes desafios da atualidade, principalmente quando se trata da zona rural, onde a ausência dos serviços são ainda maiores, em especial a coleta e o tratamento do esgoto sanitário. Associado a isso, a escassez hídrica é outro desafio enfrentado nos últimos anos, fenômeno intensificado no semiárido, que convive com a seca, devido a longos períodos de estiagem, que inviabiliza diversas atividades, entre elas, a agricultura familiar. Nesta conjuntura, o sistema de tratamento de águas cinzas para fins de reuso, como o Bioágua, tem demonstrado ser uma ferramenta na minimização dessas dificuldades, reduzindo os impactos causados pelo lançamento inadequado de efluentes, aumentando a disponibilidade hídrica, além de viabiliza agricultura. Desta forma, o presente estudo objetivou avaliar a potencialidade de reuso de águas cinzas tratadas, a partir do sistema Bioágua, implantado na zona rural do município de Alagoa Nova, no semiárido paraibano. Foi realizado o monitoramento das concentrações de fósforo total, nitrogênio total, sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, *E. coli*, turbidez, condutividade, cor verdadeira, cor aparente e pH, na água cinza bruta e tratada, durante os meses de setembro a novembro de 2023, e as análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Água LARTECA. Através da análise dos resultados, foi possível observar eficiência no tratamento dos parâmetros de turbidez, DQO e *E. Coli* com remoção de 95,84%, 94,43% e 96,2% (1,59 log), respectivamente, obtendo-se o efluente tratado de acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos para irrigação. Assim, o sistema apresenta-se como uma alternativa para promoção do saneamento rural e convivência com a escassez hídrica, além de contribuir com autonomia da agricultura familiar.

Palavras-Chave: sistema bioágua; tratamento de efluentes; filtro biológico; desenvolvimento rural.

ABSTRACT

Universalizing basic sanitation is still one of today's greatest challenges, especially when it comes to rural areas, where the lack of services is even greater, especially the collection and treatment of sanitary sewage. Associated with this, water deficiency is another challenge faced in recent years, which appears to be intensified in the semi-arid region, which coexists with

* Graduada do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). beatriz.bezerra@aluno.uepb.edu.br

** Profa. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). neyliane@servidor.uepb.edu.br

*** Prof. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). wheltonbrt@gmail.com

drought, due to long periods of drought, which makes several activities unfeasible, including family farming. At this juncture, the greywater treatment system for reuse purposes, such as Bioágua, has proven to be a tool in minimizing these difficulties, harming the impacts caused by the inadequate release of effluents, increasing water availability, in addition to enabling agriculture. Therefore, the present study aims to evaluate the potential for reusing treated greywater, using the Bioágua system, implemented in the rural area of the municipality of Alagoa Nova, in the semi-arid region of Paraíba. The concentrations of total phosphorus, total nitrogen, total distributed solids, chemical oxygen demand, E. coli, turbidity, conductivity, true color, apparent color and pH were monitored in raw and treated gray water during the months of September in November 2023, and the analyzes were carried out in the Water Analysis Laboratory LARTECA. Through analysis of the results, it was possible to observe the efficiency in the treatment of turbidity, COD and E. Coli parameters with removal of 95.84%, 94.43% and 96.2% (1.59 log), respectively, obtaining - is effluent treated in accordance with World Health Organization and United States Environmental Protection Agency guidelines for safety. Thus, the system presents itself as an alternative for promoting rural sanitation and coexistence with water scarcity, in addition to contributing to the autonomy of family farming.

Keywords: biowater system; wastewater treatment; biological filter; rural development.

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é essencial para manter a qualidade de vida e o bem-estar da população, sobretudo na promoção da saúde pública, desenvolvimento econômico, social, e naproteção dos recursos hídricos. Universalizar o saneamento básico ainda é um dos grandes desafios da atualidade, principalmente quando se trata da zona rural, onde a deficiência nos serviços é mais acentuada, especialmente no que diz respeito à coleta e tratamento de esgoto sanitário. Essa disparidade no acesso a tais serviços impõe condições de vida significativamente desfavoráveis às comunidades rurais, prejudicando a qualidade de vida nessas áreas (Silva *et al.*, 2019).

Roland *et al.*, (2019) destacam que é fundamental entender a definição do rural e suas complexidades, a fim de formular políticas públicas eficientes voltadas ao saneamento que alcancem as comunidades rurais, tendo em vista que cada local possui suas próprias características. Além disso, o fator socioeconômico e demográfico é determinante na ausência do saneamento, onde famílias que possuem menor renda e menos escolaridades estão mais propícios a exclusão sanitária (Porto, Sales, Rezende, 2019).

As ações de saneamento têm sido uma importante aliada, e uma das soluções para reduzir as desigualdades e as vulnerabilidades no meio rural, promoção da saúde, erradicação da extrema pobreza e melhoria na qualidade de vida, assim como também contribui para o desenvolvimento sustentável e preservação do meio ambiente (Ferreira *et al.*, 2019).

Associado a baixa cobertura dos serviços de saneamento em comunidades rurais, a escassez hídrica é outro desafio enfrentado, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Os longos períodos de estiagem e as baixas precipitações provocam impactos significativos nos âmbitos econômico, social e ambiental (Carvalho *et al.*, 2020), resultando na diminuição da produção agrícola, na redução do rendimento das culturas e, conseqüentemente, afetando adversamente a sustentabilidade da agricultura familiar. (Oliveira *et al.*, 2022).

Utilizar águas cinzas na agricultura é uma prática que tem aumentado, e tem se tornado algo comum em vários países do mundo, uma vez que diminui o consumo de água doce na produção de alimentos, reduz a utilização de fertilizantes e traz benefícios para o ecossistema, pois reduz a poluição ao meio ambiente e aumenta a disponibilidade de água

doce (Franca *et al.*, 2022).

Os sistemas de tratamento de águas cinzas, com finalidade de reuso, visam mitigar os impactos decorrentes do descarte inadequado dessas águas. Além disso, tais sistemas importantes para ampliar a disponibilidade hídrica, possibilitando o destino dessa água tratada para atividades agrícolas (Franca *et al.*, 2022). Leonel *et al.* (2022), ressaltam que além de reduzir o consumo de água doce na irrigação, aumenta o rendimento das culturas, devido aos nutrientes, matéria orgânica e minerais que a água de reuso possui. Os autores ainda destacam que o tratamento adequado deve ser um equilíbrio entre eficácia na remoção ou inativação de patógenos, custo-benefício e produção de água com qualidade adequada para irrigação das culturas.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa objetivou avaliar a potencialidade de reuso de águas cinzas, através de um sistema de tratamento de águas cinzas, o Bioágua, implantado na zona rural do município de Alagoa Nova, no semiárido paraibano, e identificar os possíveis usos para o reuso do efluente tratado comparando com as diretrizes internacionais no que diz respeito ao reuso para irrigação e fins não potáveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Escassez hídrica e a potencialidade de reuso

A escassez hídrica tem sido pauta dos principais debates nos últimos anos, o aumento da demanda pela água doce tem feito com que seja repensado a forma a qual estamos lidando com este recurso imprescindível para a nossa sobrevivência. Vale ressaltar que a agricultura é a área que mais utiliza água em seus processos, de acordo com a ONU, cerca de 70% de toda a água do mundo é utilizada para irrigação.

Os sistemas de reuso têm demonstrado ser um importante aliado na busca pelo desenvolvimento sustentável e constitui uma forma de gestão eficaz dos recursos hídricos. Utilizar águas de reuso na agricultura é uma importante solução para reduzir o consumo de água doce na produção de alimentos, além disso, no Nordeste por mais que apresente um grande potencial para a agricultura, coexistem diversos desafios enfrentados pelos produtores rurais, Souza (2021) destaca que: “sua produção sofre a influência de diversos fatores, sobretudo os de ordem climática”.

Os longos períodos de estiagem no semiárido nordestino afetam diretamente a qualidade de vida das comunidades, tendo em vista que reduz a produção de alimentos e impacta na economia local (Costa *et al.*, 2022). Portanto, o reuso de águas cinzas tratadas é também uma forma de mitigar os problemas ocasionados pela escassez hídrica devido aos longos períodos de estiagem no semiárido nordestino.

Os benefícios desse reuso são vários, tanto para o meio ambiente como também para o produtor rural. Franca *et al.* (2022) destacam que além do aumento da produtividade agrícola, reutilizar águas cinzas aumenta a disponibilidade de água doce e contribui para uma produção sustentável, reduz os impactos ambientais causados pelo lançamento incorreto e garante melhorias na qualidade de vida dos moradores que sofrem com a escassez.

2.2 Tecnologias sociais de tratamento de águas cinzas

As tecnologias sociais vêm desempenhando um papel na busca pela universalização ao acesso do saneamento em comunidades rurais, de acordo com SEBRAE (2017) as tecnologias são importantes ferramentas desenvolvidas a partir do conhecimento popular e de problemas locais, construídas junto da população, baseadas na criatividade e na disponibilidade de recursos da localidade. Através dela é possível sanar esses problemas sociais, diminuir desigualdades e reduzir impactos ambientais, melhorando a qualidade de vida dessas

comunidades.

Muitos sistemas de tratamento têm potencial de ser utilizado para reuso, entre eles o sistema de tratamento de esgoto e de reuso agrícola unifamiliar que é composto de caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento (Mayer *et al.*, 2019). Os Sistemas Alagados Construídos (SAC) também conhecido como *wetlands*, compostos por plantas aquáticas, valas com paredes e fundo impermeabilizados e meio de suporte para o crescimento das plantas como brita, areia ou seixo rolado (Dotro *et al.*, 2017). E temos também o Vermifiltro que é dividido em duas camadas, a camada de cima é composta por materiais orgânicos (serragem, húmus e minhoca) e a camada de baixo por materiais inorgânicos filtrantes (areia, brita e /ou seixo) (Madrid *et al.*, 2019).

Dentre os sistemas de tratamento de águas cinzas para fins de reuso, tem-se o Bioágua Familiar, um sistema que consiste em um filtro biológico, um tanque de reuso de água e irrigação por gotejamento, reutilizando águas cinzas para a produção de alimentos, desenvolvido através do projeto Helder Câmara, junto com a ONG Atos, a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) e três agricultoras para contribuir com a produção de alimentos a fim de garantir a segurança alimentar e reduzir a pobreza, contribuindo assim para o saneamento e redução da poluição ambiental. O projeto foi implantado nas comunidades rurais do semiárido nordestino e teve como foco agricultores em condições de pobreza e extrema pobreza (Santiago; Jalfim, 2018).

É importante salientar que nos últimos anos houve o desenvolvimento e diversas alternativas para incrementar o acesso ao saneamento na área rural, principalmente considerando tecnologias de tratamento de efluentes simplificadas e de baixo custo, aliadas à recuperação do recurso hídrico que pode ser destinado à reuso, formentando o desenvolvimento da agricultura familiar e redução das desigualdades no meio rural. Entretanto, apesar da adoção de sistemas para o tratamento e reutilização de água cinza representar uma opção viável para expandir o acesso sustentável à água na agricultura familiar em regiões rurais, ainda não existem, no âmbito nacional, normas e padrões para a reutilização, a fim de mitigar impactos e garantir a sustentabilidade ambiental (Franca *et al.*, 2022).

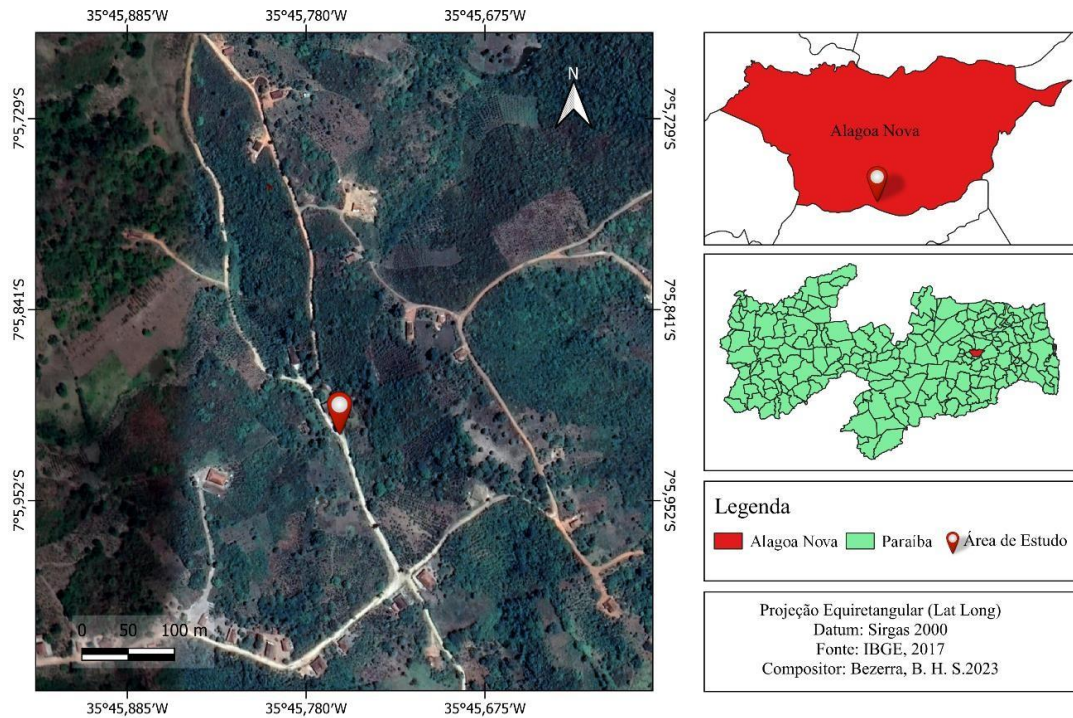
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do sistema de tratamento de águas cinzas e da área de estudo

O sistema de tratamento de águas cinzas aplicado neste estudo, o sistema Bioágua, foi implementado pela ONG AS-PTA Agricultura Familiar e Agroecologia, no ano de 2020 em uma residência unifamiliar, localizada no sítio Juá, zona rural do município de Alagoa Nova, no semiárido Paraibano (Figura 1).

De acordo com Carneiro *et al.* (2021) a região que Alagoa Nova está localizada apresenta precipitação anual de 1.400 a 1.600 mm, com temperatura mínima de 21°C e máxima de 31°C e clima do tipo quente e úmido (As'), conforme a classificação de Köppen, com chuvas no período de outono e inverno.

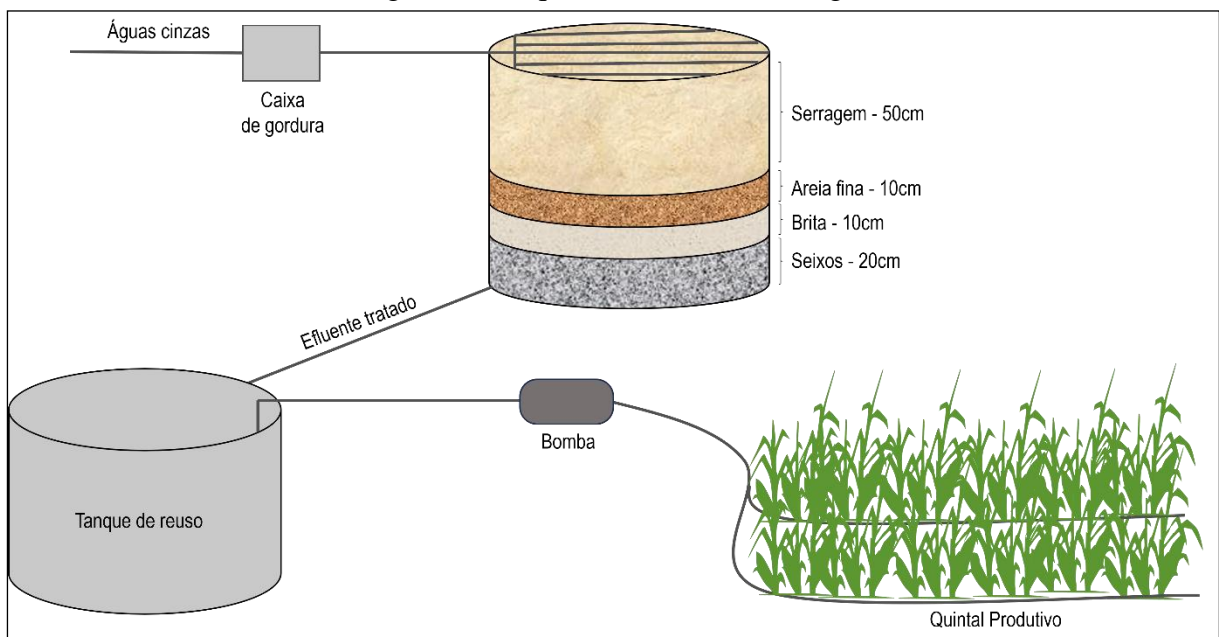
Figura 1 – Mapa de localização do sistema de tratamento em estudo, Alagoa Nova, PB.



Fonte: autoria própria (2023)

O sistema de tratamento Bioágua, consiste em uma caixa de gordura, um filtro biológico aeróbio de fluxo descendente composto por quatro camadas, um tanque de reuso, uma eletrobomba e mangueiras/tubulações para irrigação por gotejamento, reutilizando águas cinzas tratadas para a produção de alimentos. A Figura 2, ilustra o sistema de tratamento em estudo.

Figura 2 – Esquema do sistema Bioágua



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

A água cinza produzida foi proveniente das vazões de efluentes da pia da cozinha, chuveiro, lavatório e da lavanderia. O efluente passa por uma caixa de gordura para remover óleos e graxas presentes, em seguida é direcionada ao filtro biológico aeróbio (Figura 3A) e o filtrado encaminhado para o tanque de reuso (Figura 3B). Posteriormente, as águas cinzas tratadas foram empregadas na irrigação de culturas como laranja, chuchu, limão e goiaba.

Figura 3 – Vista do filtro (A) e do tanque de reuso (B) do sistema Bioágua.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

O filtro biológico aeróbio foi composto por uma camada de 50 cm de serragem, 10 cm de areia fina, 10 cm de brita e 20 cm de seixos, não sendo utilizado húmus de minhoca, conforme o modelo tradicionalmente utilizado, devido à falta desse insumo durante a implementação do sistema.

3.1 Caracterização da água cinza

Foram realizadas (5) cinco coletas de amostras, entre os meses de setembro a outubro de 2023, sendo coletado o efluente na entrada do sistema de tratamento (bruto) e na saída do filtro (tratado), realizadas no turno da manhã.

As amostras foram submetidas à análise de fósforo total, nitrogênio total, Demanda Química de oxigênio (DQO), sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez, condutividade, cor verdadeira, cor aparente, pH e E. coli. As análises seguiram as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WPCG, 2012), e estão especificadas no Quadro

Quadro 01. Análises realizadas para nos efluentes bruto e tratado estudados.

Variáveis	Unidade	Método	Referência
Turbidez	UNT	Turbidímetro	(APHA; AWWA; WPCG, 2012).
Cor aparente	uH	Colorímetro	
Cor verdadeira	uH	Colorímetro	
Condutividade elétrica	$\mu\text{S/cm}$	Potenciométrico	
SDT	mg/L	Potenciométrico	
DQO	mg/L	Titulométrico	
Fosforo Total	mg/L	Espectofotométrico	
Nitrogênio Total	mg/L	Espectofotométrico	
pH	-	Potenciométrico	
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	Enzimático - substrato definido	

As amostras destinadas às análises físico-químicas, foram armazenadas em recipientes de polietileno, e aquelas destinadas às análises microbiológicas foram reservadas em frascos de polietileno previamente esterilizados. Os recipientes foram acondicionados em caixas térmicas, e encaminhados para análises no Laboratório de Análise de Água (LARTECA), localizado na Central de Laboratórios Multiusuários (LABMULTI) da Universidade Estadual da Paraíba, Campus I, Campina Grande, Paraíba.

3.2 Análise dos dados

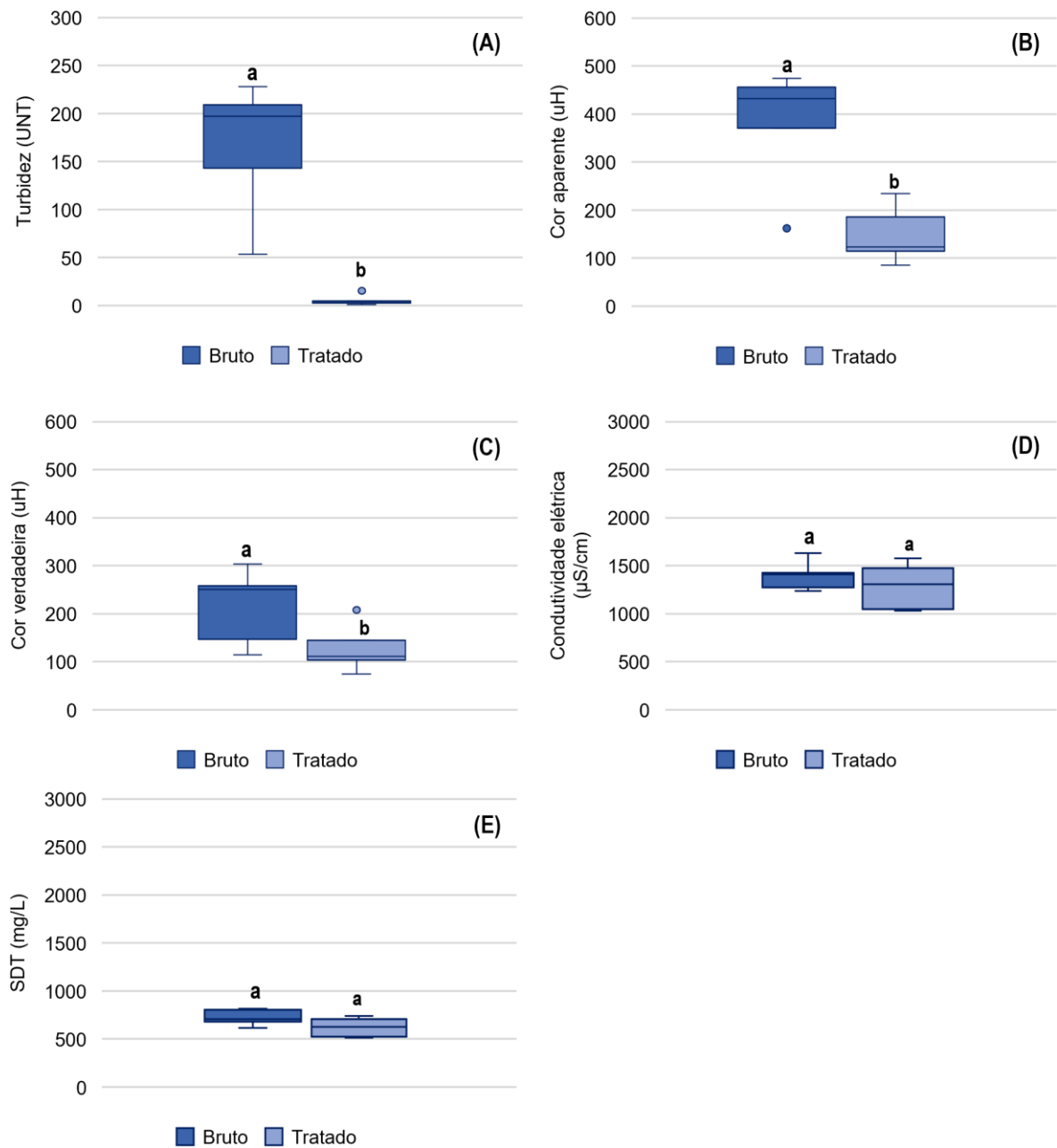
Os resultados dos parâmetros analisados nas amostras de efluente bruto e tratado foram analisadas por meio de testes estatísticos descritivos, de forma a verificar a tendência central, a amplitude e a dispersão, sendo observado por meio de gráficos do tipo boxplot.

Foram realizados testes para verificar a normalidade dos dados, os quais: o teste de Shapiro-Wilk, para verificar se houve diferença estatisticamente significativa entre o efluente bruto e tratado; foram aplicados os testes t pareado de Student, para os dados dos parâmetros com distribuição paramétrica, e o teste de Wilcoxon para os dados dos parâmetros com distribuição não paramétrica. As análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 5% utilizando o software Past 4.03.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 ilustra a variabilidade dos resultados dos parâmetros físicos, sendo possível observar que o sistema em estudo se mostrou eficiente na remoção da turbidez, cor aparente e cor verdadeira. Entretanto, não houve diferença significativa entre os valores do efluente bruto e tratado para a condutividade elétrica e SDT.

Figura 3 – Boxplot da estatística descrita das variáveis físicas: turbidez (UNT) (A), cor aparente (uH) (B), cor verdadeira (uH) (C), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (D) e SDT (mg/L) (E), no efluente bruto e tratado pelo sistema de tratamento, Bioágua.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor, 2023.

A remoção da turbidez no sistema, foi significativa entre o efluente bruto e tratado (Figura 2A), além disso, de acordo com a Tabela 1, observou-se uma eficiência média de remoção de $95,84 \pm 3,67\%$. Em outros estudos deste sistema, foi possível observar resultados semelhantes. Madrid et al. (2019) ao utilizar quatro vermifiltros verificaram eficiência de remoção acima de 85% e Silva et al. (2018) obtiveram valor médio de aproximadamente 94,98% de eficiência de remoção. OH et al. (2018) destacaram que é importante realizar o monitoramento e remoção da turbidez pois ela é responsável por controlar a condição estética da água cinza tratada.

Tabela 1 – Estatística descritiva (média, desvio padrão, mínimo e máximo) das amostras de efluente bruto e tratado do sistema de tratamento

Variáveis	Bruto	Tratado	Remoção (%)
Turbidez (UNT)	164,96 ± 61,86 53,3 - 228	5,55 ± 5,04 1,33 - 15,5	95,84 ± 3,67%
Condutividade (µS/cm)	1394,6 ± 128,62 1235 - 1629	1292,46 ± 204,13 1030 - 1575	**
SDT (mg/L)	708,8 ± 66,04 618-815	646 ± 102,11 515 - 787	**
Cor aparente (uH)	376,86 ± 111,97 162 - 474	148,57 ± 52,78 85,4 - 234	55,1 ± 21,43%
Cor verdadeira (uH)	215,13 ± 70,39 115 - 304	128,8 ± 45,82 74,2 - 210	36,06 ± 20,14%
pH	6,47 ± 0,49 5,8 - 7,3	7,46 ± 0,41 6,8 - 8	**
DQO (mg/L)	1024,58 ± 552,74 367,64 - 1860,45	57,02 ± 37,94 6,41 - 132,35	94,43 ± 9,17%
Fósforo total (mg/L)	1,51 ± 0,97 0,45 - 4,37	0,77 ± 0,42 0,36 - 1,87	37,61 ± 37,20%
Nitrogênio total (mg/L)	13,76 ± 23,12 0,058 - 61,30	6,93 ± 6,76 0,92 - 21,58	**
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	46667 ± 13400,58 29900 - 62700	1960 ± 1356,17 200 - 3500	96,2 ± 3,4% (1,59 ± 0,53 log)

*Não houve eficiência.

Fonte: elaborada pelo autor, 2023

Em relação a cor (Figura 3B e 3C), os resultados demonstraram diferença estatisticamente significativa entre os efluentes bruto e tratado, e, de acordo com a Tabela 1, obteve-se uma eficiência de remoção de 55,1 ± 21,43% e 36,06 ± 20,14%, para cor aparente e verdadeira, respectivamente. Dombroski *et al.* (2019) em seu estudo com dois filtros semelhantes, tratando águas cinzas com elevados valores de cor no efluente bruto (1666 uH e 2320 uH) obtiveram uma eficiência de remoção média de 74% e 88% para a cor aparente.

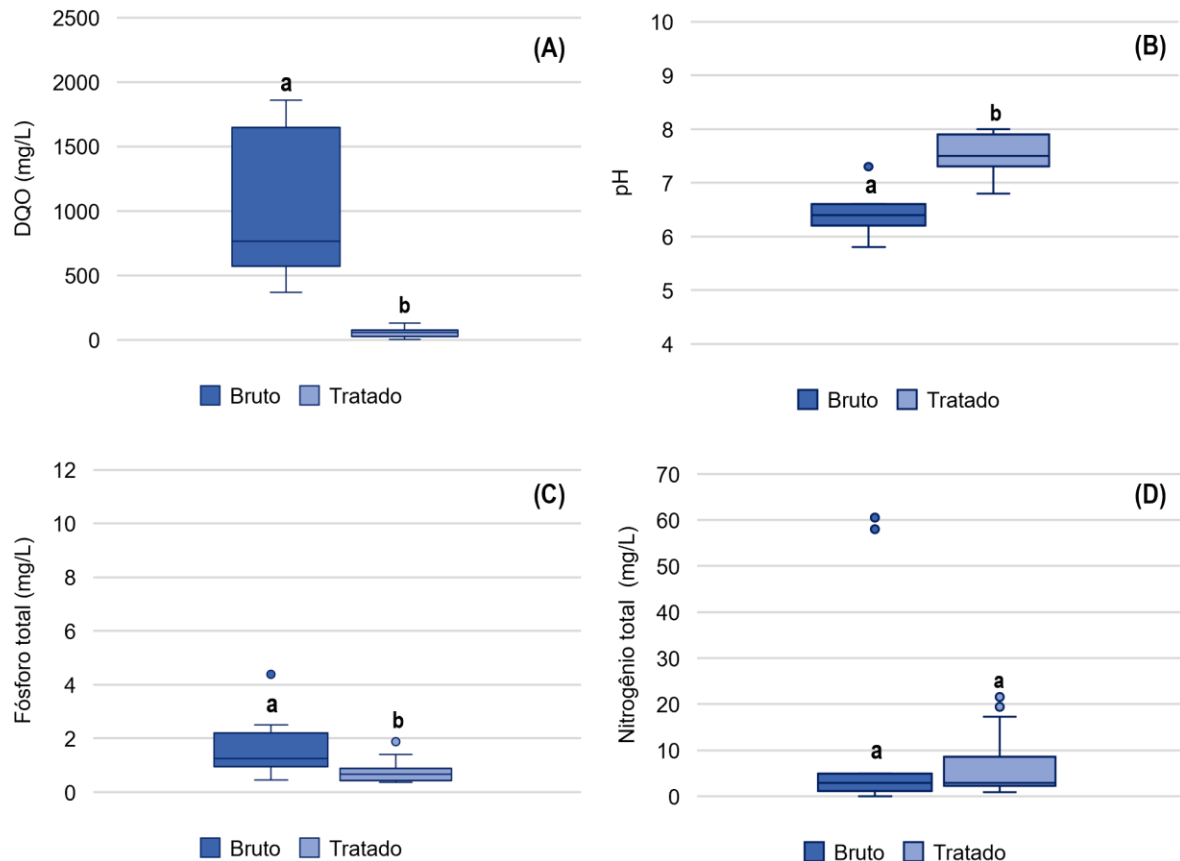
Ao comparar as Figuras 3B e 3C é possível observar que os valores da cor aparente e verdadeira no efluente tratado são semelhantes, assim, em relação a substâncias dissolvidas (cor verdadeira) o sistema não apresentou eficiência. Além disso, como relatado anteriormente, o sistema apresentou elevada remoção da turbidez, tendo em vista que a cor aparente e turbidez estão relacionados com a presença de sólidos em suspensão, é possível justificar que o sistema possui capacidade de removê-los. Madrid *et al.* (2019) em seu estudo, avaliou a eficiência de remoção de sólidos suspensos totais obtendo remoções acima de 85%. Por seu turno, o sistema mostrou ineficiente na de remoção de condutividade elétrica e SDT (Figura 3D e 3E), sendo estas variáveis relacionadas com a concentração de substâncias dissolvidas na água.

A Figura 4 ilustra a variabilidade dos resultados das variáveis química, sendo possível observar que houve diferença estatisticamente entre os efluentes bruto e tratado para a DQO, pH e fósforo total, exceto para o nitrogênio total. Para a DQO (Figura 4A), observou-se remoção de 94,43 ± 9,17% (Tabela 1). Costa *et al.* (2022) e Madrid *et al.* (2019) ao utilizar vermiculita chegaram a resultados semelhantes, com taxa de remoção de 89,69% e acima de 75% respectivamente.

Em relação ao pH (Figura 4B), o efluente bruto variou entre 5,8 e 6,6 ocorrendo um outlier de 7,3, isto pode ser justificado devido a sazonalidade da característica da água cinza, Silva *et al.* (2018) destaca que pode ocorrer variação da água cinza, devido a sua origem,

podendo ser dos usos de lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar roupa. Em relação ao pH do efluente tratado, os valores variaram entre 6,8 e 8. Franca *et al.* (2022) destaca que o pH da água de irrigação pode afetar a disponibilidade de elementos químicos no solo e causar obstrução de sistemas de irrigação localizados. Entretanto, os valores encontrados não apresentam alterações que inviabilize o seu uso para esse fim.

Figura 4 – Boxplot da estatística descrita das variáveis químicas: DQO (mg/L) (A), pH (B), fósforo total (mg/L) (C) e nitrogênio total (mg/L) (D), no efluente bruto e tratado pelo sistema de tratamento, Bioágua.



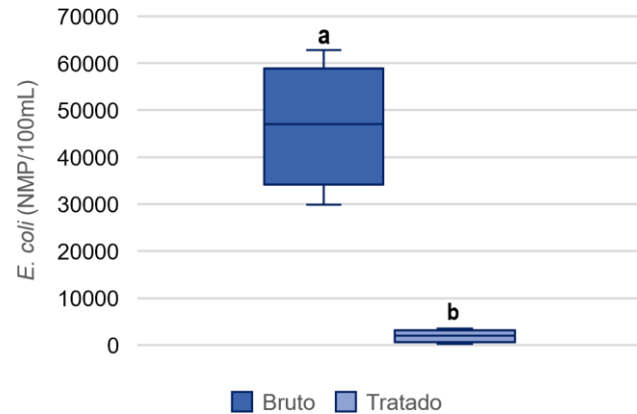
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p \leq 0,05$). Fonte: elaborada pelo autor, 2023

As concentrações de fósforo e nitrogênio total, Figura 4C 4D, respectivamente, no efluente bruto e tratado, foi observado diferença estatisticamente significativa apenas para o fósforo. Franca *et al.* (2022) destaca que ambos são macronutrientes primários essenciais para o crescimento das culturas. Apesar da remoção do fósforo, os valores apresentados são importantes para uma melhor qualidade da água cinza para fins de reuso, podendo utilizá-las para irrigação na agricultura e melhor desenvolvimento das culturas. Franca *et al.* (2022) ainda afirma que é necessário realizar cálculos para determinar a quantidade de fertilizantes a se utilizar nas plantas, a fim de aproveitar ao máximo o nitrogênio e evitar com que sejam gerados frutos de baixa qualidade devido ao excesso do nutriente.

Os resultados das análises de *E. coli* (NMP/100mL) (Figura 5) demonstram que houve diferença estatisticamente significativa entre o efluente bruto e tratado, com eficiência de remoção de $96,2 \pm 3,4\%$ ($1,59 \pm 0,53$ log) (Tabela 1). Passos, Brandão e Santos (2021) ao utilizar uma unidade de filtração preenchido com resíduos da construção civil atingiu remoção de 90,52%. É essencial que os sistemas para fins de reuso possuam eficiência na remoção de

E. coli, uma vez que sua presença pode causar problemas de saúde aos seres humanos (Passos;Brandão; Santos, 2021).

Figura 5 – Boxplot da estatística descrita das variáveis *E. coli* no efluente bruto e tratado pelossistema de tratamento



Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p \leq 0,05$). Fonte: elaborada pelo autor, 2023

A partir dos resultados dos parâmetros avaliados foi realizado um levantamento das diretrizes internacionais, a fim de classificar o efluente para os diferentes fins de reuso, tanto para irrigação como também para fins não potáveis de acordo com os aspectos legais. Leonel e Tonetti (2021) destacam que é essencial utilizar água de reuso, no entanto, a sua utilização necessita de ser regulamentada para evitar a utilização de água contaminada que coloque em risco a saúde humana e o meio ambiente.

Assim, comparou-se os valores médios obtidos nestes estudos com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2006) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (USEPA, 2004). Esta comparação pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação dos valores médios obtidos no monitoramento do sistema Bioágua com as diretrizes internacionais

Variáveis	Valor médio observado	Critérios de reúso de água para irrigação				Padrão de águas cinzas tratadas (para aplicações não potável)*					
		Irrigação irrestrita		Irrigação restrita não especificada cultura		USEPA					
		OMS	USEPA	OMS	USEPA	OMS	USEPA				
Turbidez (NTU)	5,55	-	-	< 2	X	-	-	-	-	< 2	X
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1292,5	<700	X	-	-	<3000	✓	-	-	-	-
SDT (mg/L)	646	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cor aparente (uH)	128,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cor verdadeira (uH)	148,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	7,46	6,5-8	✓	6,0-9,0	✓	6,5-8	✓	6,0-9,0	✓	6,0-9,0	✓
DQO (mg/L)	57,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo total (mg/L)	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio total (mg/L)	6,93	<5	X	-	-	<30	✓	-	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	2255	<1000	X	-	-	<100000	✓	-	-	-	-

*Legenda: Irrigação paisagística, descarga de vaso sanitário, proteção contra incêndio, ar-condicionado comercial; X: não atende; ✓: atende. Fonte: adaptada por WHO, 2006; USEPA, 2004; Couto et al., 2014; Chaillou et al., 2011.

A OMS e a USEPA não estabelecem critérios de reuso com fins para irrigação e nem com fins não potáveis para SDT, cor aparente, cor verdadeira, DQO e fósforo total. A condutividade elétrica, nitrogênio total e *E. coli* não se enquadram nas diretrizes para irrigação irrestrita conforme os critérios da OMS e a turbidez estabelecida pela USEPA. Entretanto, a OMS flexibiliza os valores de *E. coli* de irrigação irrestrita para $<10^4$ NMP/100mL para irrigação por gotejamento ou para espécies que crescem distantes do nível do solo (WHO, 2006).

Em relação aos critérios de reuso para fins de irrigação restrita não especificada a cultura, tanto quando comparados com a USEPA e com a OMS, os parâmetros condutividade elétrica, pH, nitrogênio total e *E. coli* se enquadram. Para fins não potáveis, de acordo com a USEPA (2004), o valor de pH se enquadra. Para a turbidez, a maioria dos países impõem um controle rigoroso sobre esse parâmetro não permitindo valores maiores que 10 NTU para a qualidade de águas cinzas tratadas (OH *et al.*, 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O sistema se mostrou eficiente na remoção de DQO, turbidez e cor aparente, porém demonstrou possuir dificuldade para remover substâncias dissolvidas com baixa remoção de SDT e condutividade elétrica.
- O nitrogênio e fósforo são macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, dessa forma, os valores encontrados conferem ao efluente de reuso melhor qualidade para o desenvolvimento das culturas utilizadas na irrigação.
- O sistema se mostrou eficiente na remoção de *E. coli*, se enquadrando as diretrizes estabelecidas pela OMS para irrigação por gotejamento, podendo ser utilizada sem prejuízos à saúde humana ou contaminação do meio ambiente.
- Apesar da ausência do húmus de minhoca no filtro biológico, o sistema se mostrou eficiente na remoção dos parâmetros analisados e se enquadra nas diretrizes internacionais (USEPA e OMS) apresentadas para fins de reuso para irrigação restrita, podendo utilizar na agricultura com irrigação por gotejamento, sem causar danos à saúde ou ao meio ambiente.
- O sistema de estudo se mostrou ser uma alternativa viável para promover o saneamento rural e aumentar a disponibilidade hídrica no município de Alagoa Nova, através do modelo estudado.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017.

CARNEIRO, K. de A. A.; SOUSA, L. R.; FRAGA, V. da S.; SILVA, A. P. da; UTUNI, V. H. dos S.; SANTOS, R. F. dos; VENDRUSCOLO, J. Solos do brejo paraibano: Influências do clima, do relevo e do material de origem. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, 18 jun. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16545>

CARVALHO, A. A. de; MONTENEGRO, A. A. de A.; TABOSA, J. N.; ALMEIDA, T. A. B.; SILVA, A. G. O. da; SILVEIRA, A. V. M. Hydro-agricultural reuse: a solution for coping with water scarcity in the Sertão and Agreste of Pernambuco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [s. l.], 09 abr. 2020. DOI:

10.24221/jeap.5.2.2020.2841.140-150

CHAILLOU, K., GÉRENTE, C., ANDRÉS, Y. et al. Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse. *Water Air Soil Pollut* **215**, 31–42 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0454-5>

COUTO, A. do E.; CALIJURI, M. L.; ASSEMANY, P. P.; SANTIAGO; A da F.; LOPES Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. *Journal of Cleaner Production*. V. 106, p. 372-379, 1 november 2015

COSTA, R. L. da; TORRES, D. M.; GOMES, J. T.; SILVA, J. M. Tratamento de água cinza para reúso agrícola no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. *Eng Sanit Ambient*, [s. l.], v. 27, out. 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210226>

DOMBROSKI, S. A. G; SOUSA, A. B. de; SILVA, J. K. M. da; COSTA FILHO, F. das C. da; COSTA, T. H. S. Sistema simplificado para tratamento de água cinza em escala familiar. *ABES*, [S. l.], 20 ago. 2019.

DOTRO, G. LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. Treatment wetlands, biological wastewater treatment series. 2017

FERREIRA, L. A. F.; RIBEIRO, P. S. da C.; ANDRADE, I. C. de M.; GUIDES, R. Martins; SANTOS, L. de O. L.; CRUZ, L. M. de O.; SANTOS, M. R. R. dos; REZENDE, S. Saneamento rural no planejamento municipal: lições a partir do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). *Revista DAE*, São Paulo, nov. 2019.

FRANCA, C. L. E.; AMORIM, M. C. C. de; OLSZEWSKI, N.; BELÉM, C. dos S. Use of treated graywater for fruit irrigation in the semiarid region: Legal aspects and soil quality. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 167–177, 2022. DOI: 10.18378/rvads.v17i3.9330..

LEONEL, L. P.; BIZE, A.; MARIADASSOU, M.; MIDOUX, C.; SCHNEIDER, J.; TONETTI, A. L. Impacts of disinfected wastewater irrigation on soil characteristics, microbial community composition, and crop yield. *Blue-Green Systems*, v. 4, p. 247-271, 2022. <https://doi.org/10.2166/bgs.2022.126>

LEONEL, L. P.; TONETTI, A. L. Wastewater reuse for crop irrigation: Crop yield, soil and human health implications based on giardiasis epidemiology. *Sciencedirect*, [S. l.], v. 775, 21 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145833>

MADRID, F. J. P. y L.; SCHNEIDER, J.; MARQUES, M. M. da S.; PARIZOTTO, M. C.; FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, A. L. Vermifiltração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto. *Revista Dae*, [S. l.], p. 128-140, nov. 2019. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.060>

MAYER, M. C.; MEDEIROS, S. DE S.; BATISTA, M. M.; BARBOSA, R. A.; LAMBAIS, G. R.; SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro. *REVISTA DAE*, v. 69, p. 104-114, 2021. <https://doi.org/10.36659/dae.2021.023>

OH, K. S.; LEONG, J. Y. C.; POH, P. E.; CHONG, M. N.; LAU, E V. A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 17-29, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>

OLIVEIRA, V. R. de; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G.; BARROS, V. da. Water footprint of banana in the Brazilian semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, [S. l.], v. 53, 2022.

PASSOS, E. S.; BRANDÃO, L. F. S.; SANTOS, B. F. S. dos. REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE FILTRO COMPOSTO POR MATERIAIS ALTERNATIVOS. **ABRHidro**, [s. l.], março de 2021

PORTO, B. B.; SALES, B. M.; REZENDE, S. Saneamento básico em contextos de agricultura familiar. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67, p. 52-68, 4 nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.055>

ROLAND, N.; TRIBST, C. de C. L.; SENNA, D. A.; SANTOS, M. R. R. dos; REZENDE, S. A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico. **Revista DAE**, São Paulo, v.67, p. 15-35 nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.053>

SANTIAGO, F.; JALFIM, F. O sistema Bioágua: Reúso de água cinza doméstica para produção de alimentos no semiárido brasileiro. *In: LIÇÕES para o desenvolvimento em Moçambique e no Brasil*. [S. l.: s. n.], 10 de out de 2018. v. 2.

SEBRAE. **Tecnologias sociais: como os negócios podem transformar comunidades**. Cuiába, MT: [s. n.], 2017.

SILVA, E. A. A. da; SILVA, F. E. da; SILVA, M. E. L. da; ASSUNÇÃO, M. de S. L. Eficiência do sistema bioágua no tratamento de águas cinzas. **CbESF**, Rio Grande do Norte - Natal. 2018.

SILVA, B. B.; NOGUEIRA, C. D.; ANDRADE, M.; SILVEIRA, R. B. Evidenciando experiências positivas em saneamento básico: visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). **Revista DAE**, [s. l.], v. 67, p. 69-86, Novembro. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.056>

SOUSA, I. A. DE L. Tratamento e reúso de água como forma de autonomia produtiva para o desenvolvimento da agricultura familiar: estudo de caso. Orientador: Joab Josemar Vitor Ribeiro do Nascimento. 2021. Monografia (Curso de Especialização em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido) - IFPB, [S. l.], 2021

USEPA -UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse, Washington D.C., September 2004.

WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, v. 2, 2006. 222 p.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a força necessária para enfrentar as dificuldades e perseverar diante dos obstáculos.

As minhas queridas vó (in memorian) e tia (in memorian) por terem sido minha fonte de amor, sabedoria e apoio incondicional. Por terem cuidado de mim ao longo desses anos e por terem me feito ser a pessoa que sou hoje. Seus abraços e carinhos foram o que me deram a força necessária para continuar. Embora a saudade seja imensa, sei que o amor de vocês permanece vivo em mim.

A minha mãe Aurelice e meus irmãos Valéria, Alberto, Ana Luiza, Maria Vitória, Rayane, Raquel, Guilherme e irmãos do coração Alan, Mariana, Danilo e Isadora por todo apoio, companheirismo e por serem a fonte da minha inspiração e motivação de continuar em busca dos meus sonhos.

As minhas amigas e irmãs Adryelle, Eduarda, Joice, Samarah e Santana pelo companheirismo, carinho, apoio e pela ajuda nos momentos difíceis. Quero também agradecer aos meus amigos de graduação em especial a minha “panelinha” Walesca, Claudiane, Gustavo e Mariarita por serem fontes constantes de incentivo e por tornarem a graduação mais leve e prazerosa. Todos vocês se tornaram parte da minha família.

Aos meus orientadores Prof. Dra Neyliane Costa por ter confiado no meu potencial e por toda sabedoria compartilhada e Prof. Dr. Whelton Brito pela paciência, dedicação e apoio. Ambos foram mais do que orientadores acadêmicos; foram guias que iluminaram o caminho, desafiaram meu pensamento e inspiraram excelência. Cada conselho, cada correção e cada palavra de encorajamento foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

A Coordenação do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e aos professores, em especial as professoras Weruska e Ysa e ao professor Fernando, por todo conhecimento repassado ao longo desses 5 anos.

A dona Lia por ter me permitido realizar esta pesquisa em sua residência e aos meus colegas do laboratório LARTECA pela paciência, apoio e por todo aprendizado.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento. Cada palavra de incentivo, cada conselho e cada gesto de apoio foram fundamentais para superar os desafios deste percurso acadêmico. Este trabalho é dedicado a todos vocês, que de alguma maneira deixaram sua marca nesta jornada.