UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

HUMBERTO FREIRE DIAS NETO

VIABILIDADE DE REÚSO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DIFUSAS DE ÁREAS URBANAS EM MOSSORÓ – RN

MOSSORÓ
2024

HUMBERTO FREIRE DIAS NETO

VIABILIDADE DE REÚSO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DIFUSAS DE ÁREAS URBANAS EM MOSSORÓ – RN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Tratamento e Uso Agrícola de Resíduos e seus Impactos no Solo e Água

Orientador: Marcelo Tavares Gurgel, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2024

© 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 n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 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.

N469v Neto, Humberto Freire Dias.
VIABILIDADE DE REÚSO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DIFUSAS DE ÁREAS URBANAS EM MOSSORÓ - RN / Humberto Freire Dias Neto. - 2024.
62 f. : il.

Orientador: Marcelo Tavares Gurgel.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2024.

1. engenharia sanitária. 2. esgotamento sanitário. 3. saneamento básico.. I. Gurgel, Marcelo Tavares, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automáto em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) 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.

HUMBERTO FREIRE DIAS NETO

VIABILIDADE DE REÚSO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DIFUSAS DE ÁREAS URBANAS EM MOSSORÓ – RN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Tratamento e Uso Agrícola de Resíduos e seus Impactos no Solo e Água

Defendida em: 23/02/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
MARCELO TAVARES GURGEL
Data: 04/03/2024 16:21:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Marcelo Tavares Gurgel, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
gov.br
RAFAEL OLIVEIRA BATISTA
Data: 04/03/2024 18:02:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOEL MEDEIROS BEZERRA
Data: 04/03/2024 18:14:13-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Joel Medeiros Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br
KALINE DANTAS TRAVASSOS
Data: 05/03/2024 10:22:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Kaline Dantas Travassos, Pesquisadora, Dra. (INSA)
Membro Examinador

Aos meus avós, **Humberto Freire Dias** e **Neuza Guida da Silva Calaça**, que enquanto presentes foram fontes de apoio e carinho, pessoas que como ninguém torciam pelo meu sucesso, sei que ficariam extremamente contentes com essa conquista (*In memoriam*);

Aos meus pais **Edmilson Silva Dias** e **Noemi Guida da Silva**, que são os maiores responsáveis pela pessoa que sou hoje, e sempre me apoiam independente das circunstâncias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida, sem ele esse caminho seria muito árduo e talvez impossível.

Agradeço aos meus pais Edmilson Silva Dias e Noemi Guida da Silva pelo carinho, apoio e amor incondicional durante essa etapa da minha vida, essa conquista também é de vocês.

Agradeço ao meu professor orientador Marcelo Tavares Gurgel pela paciência, disponibilidade e apoio na realização desse trabalho.

Agradeço aos professores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido que compõem o Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água por todos os ensinamentos passados durante as disciplinas, além da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Agradeço aos técnicos e professores Adler Lincoln, Carolina de Gouveia Mendes, Fernanda Lima, Paula Cavalcante e Solange Dombroski pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Agradeço aos professores Joel Medeiros e Rafael Oliveira que juntamente ao meu orientador participaram da banca da defesa do projeto desse presente trabalho, suas sugestões e auxílios foram muito importantes para viabilizar a realização desse trabalho.

Agradeço à banca examinadora pelas contribuições.

Agradeço aos meus amigos que fiz no curso de engenharia civil: Juliana, Mateus, Pedro e Rennan.

Agradeço aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água Baltazar, Caio, Cintya, Daniele, Isabela e Yara por toda a ajuda durante essa jornada, desde as disciplinas até as análises.

Aos meus amigos que estiveram e estão comigo desde muito tempo e participaram de diversas fases da minha vida, incluindo essa; pela contribuição direta ou indireta neste trabalho: Ana Letícia, Ben-Hur, Bruno, Carlos, Celina, Cláudio, Daniel, Gabriel, Hannah, Isadora, Laís, Murilo, Navarro e Ney.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram com o meu trabalho, meu muito obrigado!

É impossível vencer de alguém que nunca desiste.

George Herman Ruth

RESUMO

Águas residuárias podem ser consideradas como esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não, e podem levar distintos fins como o reúso, incluindo a agricultura. O reúso dessas águas pode trazer diversos benefícios como a conservação dos recursos hídricos, alívio na demanda no tratamento de esgoto da rede e minimização da poluição hídrica nos mananciais. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a potencialidade de reúso das águas residuárias em determinadas localidades urbanas mais críticas, quanto a potencial poluição difusa associada quanto as condições de esgotamento sanitário do município de Mossoró – RN. Para análise inicial foi realizada a construção do banco de dados, por meio de revisão de literatura, coletando dados disponibilizados pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e a prefeitura de Mossoró, referentes ao esgotamento sanitário do município. Para a construção do mapeamento da rede de esgotamento sanitário do município de Mossoró – RN, foi utilizado o software aberto e gratuito QGIS 3.22.10 (versão 2022), para posterior identificação das áreas críticas para coleta dos dados in loco, a qual foi realizada em agosto de 2023. Mediante a coleta de cinco subamostras de água residuária foram feitas análises em laboratório da qualidade da água dos bairros Aeroporto, Santa Delmira, Dom Jaime Câmara, Alto Sumaré e Bom Jesus, localidades essas que apresentaram relevante déficit de esgotamento sanitário. As análises dos parâmetros da água residuária foram norteados pela Resolução COEMA nº 02/2017 contemplando: coliformes fecais (termotolerantes), pH, condutividade elétrica (CE), cátions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} e K^{+}) e ânions (Cl^{-}, HCO_3^{-} e CO_3^{2-}), além da avaliação referente ao uso da água para irrigação. Diante os valores obtidos dos parâmetros de qualidade das águas residuárias, verificou-se apenas um dos bairros analisados (Bom Jesus) apresentou potencialidade para reúso urbano, agrícola e florestal, ambiental e para aquicultura segundo os padrões estabelecidos pela resolução COEMA nº 02/2017, além de parcial potencialidade de uso para irrigação, com devidas restrições.

Palavras-chave: engenharia sanitária, esgotamento sanitário, saneamento básico.

ABSTRACT

Wastewater can be considered as sewage, discarded water, liquid effluents from buildings, industries, agro-industries and farming, whether treated or not, and can be used for different purposes such as reuse, including agriculture. The reuse of this water can bring various benefits such as conserving water resources, relieving the demand for sewage treatment and minimizing water pollution in water sources. The aim of this research was to assess the potential for reusing wastewater in certain critical urban locations, in terms of the potential diffuse pollution associated with the sewage conditions in the municipality of Mossoró - RN. For the initial analysis, a database was built by means of a literature review, collecting data made available by the Rio Grande do Norte Water and Sewage Company (CAERN) and the Mossoró City Hall, regarding the municipality's sewage system. In order to map the sewage network in the municipality of Mossoró - RN, the open and free software QGIS 3.22.10 (version 2022) was used to identify the critical areas for on-site data collection, which was carried out in August 2023. Through the collection of five sub-samples of wastewater, water quality analyses were carried out in the laboratory in the Aeroporto, Santa Delmira, Dom Jaime Câmara, Alto Sumaré and Bom Jesus neighborhoods, all of which had a significant sewage deficit. The analysis of the wastewater parameters was guided by COEMA Resolution 02/2017 and included: fecal coliforms (thermotolerant), pH, electrical conductivity (EC), cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} and K^{+}) and anions (Cl^{-}, HCO_3^{-} and CO_3^{2-}), as well as an assessment of the use of water for irrigation. In view of the values obtained for the quality parameters of the wastewater, only one of the districts analyzed (Bom Jesus) showed potential for urban, agricultural and forestry, environmental and aquaculture reuse according to the standards established by COEMA Resolution 02/2017, as well as partial potential for use for irrigation, with appropriate restrictions.

Keywords: sanitary engineering, sewage disposal, basic sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Mossoró – RN. 32
Figura 2. Localização e limite dos bairros do município de Mossoró – RN. 35
Figura 3. Rede coletora de esgoto sanitário do município de Mossoró – RN. 36
Figura 4. Pontos de coleta dos bairros selecionados. 37
Figura 5. Pontos coletados no bairro Aeroporto. 38
Figura 6. Pontos coletados no bairro Bom Jesus. 38
Figura 7. Pontos coletados nos bairros Dom Jaime Câmara e Alto Sumaré. 39
Figura 8. Pontos coletados no bairro Santa Delmira. 39
Figura 9. Procedimentos adotados para coleta da água residuária nos bairros Santa Delmira (A), Aeroporto (B), Bom Jesus (C), Alto de Sumaré (D) e Dom Jaime Câmara (E). 40
Figura 10. Amostras de cinco litros (A) para análise de ovos de helmintos e amostras de 200mL (B) para as análises de cátions e ânions, pH, condutividade elétrica e coliformes termotolerantes. 40
Figura 11. Equipamentos empregados nas análises de pH e CE: pHmetro (A) e condutivímetro (B) de bancada. 41
Figura 12. Formação de gás na solução de caldo VB (A) e caldo EC (B). 44
Figura 13. Cultura Ágar EMB apresentando crescimento de cultura E. coli. 44
Figura 14. Amostras armazenadas em baldes de 7 litros. 45
Figura 15. Remoção do sobrenadante através de uma mangueira. 45
Figura 16. Diagrama de caixa dos dados referentes aos cátions e ânions (A), condutividade elétrica (B), pH (C), RAS (D) e ovos de helmintos (E). 49
Figura 17. Percentual dos sais analisados das amostras de águas residuárias em Mossoró – RN. 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas, químicas e microbiológicas de águas negras de origem residencial.....22
Tabela 2. Características das águas cinzas originadas de várias fontes.....24
Tabela 3. Padrões para reúso urbano, agrícola e florestal, ambiental e para aquicultura.....28
Tabela 4. Análises de laboratório necessárias para avaliar a água para irrigação.....29
Tabela 5. Grau de restrição de uso da água para irrigação.....30
Tabela 6. Atributos químicos e microbiológicos das amostras das águas residuárias dos bairros selecionados de Mossoró – RN.....48
Tabela 7. Análise da potencialidade de reúso das águas residuárias coletadas nos bairros de Mossoró – RN, conforme os valores médios dos parâmetros avaliados por bairro, e seus respectivos valores de referência com base nas legislações vigentes.....52
Tabela 8. Valores médios dos atributos das águas cinzas analisadas.....54
Tabela 9. Grau de restrição para utilização das águas residuárias analisadas para irrigação.....56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
Ca^{2+}	Cálcio
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CE	Condutividade elétrica ou Ceará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl^{-}	Cloretos
cm	Centímetro
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO_3^{2-}	Carbonatos
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DO	Diretoria de Operação e Manutenção
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DWG	*DraWinG format*
DXF	*Drawing Exchange Format*
EC	Escherichia coli
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
EMB	Eosina Metileno Azul
g	Grama
GBO	Gabinete da Diretoria de Operação e Manutenção
HCO_3^{-}	Bicarbonatos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K^{+}	Potássio
km	Quilômetro
L	Litro
LASAN	Laboratório de Saneamento
LASAP	Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta
LIPOA	Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal

mg	miligrama
Mg^{2+}	Magnésio
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mmol	Milimol
Na^{+}	Sódio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NMP	Número mais provável
OMS	Organização Mundial de Saúde
PDF	*Portable Document Format*
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
RN	Rio Grande do Norte
rpm	Rotações por minuto
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
VB	Verde Brilhante

LISTA DE SÍMBOLOS

>	Maior que
<	Menor que
µS	Microsiemens
n°	Número
R$	Real brasileiro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
2. OBJETIVOS 18
2.1 Objetivo Geral 18
2.2 Objetivos Específicos 18
3. REVISÃO DE LITERATURA 19
3.1 Definições e importância do reúso da água 19
3.2 Águas residuárias 21
3.3 Águas negras 21
3.4 Águas cinzas 22
3.4.1 Caraterização de atributos físicos, químicos e microbiológicos de água cinza 23
3.5 Legislações vigentes para reúso da água 26
3.6 Qualidade da água para fins de irrigação 28
3.7 Impactos ambientais acerca da ineficiência da cobertura do esgotamento sanitário 30
4. MATERIAL E MÉTODOS 32
4.1 Localização e caracterização da área de estudo 32
4.2 Elaboração dos mapas de esgotamento sanitário do município de Mossoró – RN . 33
4.2.1 Obtenção da base de dados 33
4.2.2 Elaboração dos mapas 34
4.3 Determinação dos pontos de coleta de água 36
4.3.1 Escolha dos bairros 36
4.3.2 Determinação dos pontos de coleta 37
4.4 Armazenamento das amostras coletadas 40
4.5 Análises químicas e microbiológicas 41
4.6 Análise estatística 46
4.7 Análise da viabilidade de reúso 47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 48
5.1 Atributos químicos e microbiológicos das águas residuárias coletadas 48
5.1.1 Viabilidade de reúso da água e uso para irrigação segundo a literatura e legislações vigentes 51
6. CONCLUSÕES 58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

1. INTRODUÇÃO

Entende-se como saneamento básico o conjunto de medidas fundamentais adotadas para promover o desenvolvimento socioeconômico de uma região através do abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejos de resíduos sólidos e águas pluviais (Sousa, 2015). O saneamento básico é um direito garantido segundo a Constituição da República Federativa do Brasil e constituído pela Lei nº 11.445/2007, a qual estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. No ano de 2020 foi promulgada a Lei nº14.026 de 15 de julho de 2020, o novo Marco Legal do Saneamento, que revisou as diretrizes básicas e os instrumentos legais para o cumprimento da meta de universalização de saneamento básico de abastecimento de água para 99% da população e de esgotamento sanitário de 90% da população (Ribeiro, 2022).

Por outro lado, a realidade não atende às expectativas. De acordo com dados disponibilizados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2019) da cidade de Mossoró, com dados fornecidos pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), levando em conta os domicílios ativos, o percentual de moradias que são contempladas com rede de esgoto é cerca de 61%. Apesar de estar levemente acima da média do Brasil (56%) (SNIS, 2023), ainda é um percentual baixo visto que o saneamento é um direito de todos os brasileiros.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 32 anos (1990 – 2022) a população de Mossoró aumentou cerca de 37%, de 192.267 habitantes em 1990 para 264.577 em 2022. A expansão urbana e consequentemente imobiliária fez com que os serviços de fornecimento de esgotamento sanitário não acompanhassem o crescimento populacional. A criação de novos bairros e conjuntos habitacionais, tal como a proximidade destes com corpos hídricos podem afetar a qualidade da água subterrânea, uma vez que existem áreas críticas que demandam maior atenção frente a sua vulnerabilidade ambiental e socioeconômica.

Mediante a ausência destes serviços em algumas localidades, surge a preocupação quanto aos cenários de controle sanitário e de epidemias, atrelados com as doenças por veiculação hídrica, sendo necessário a adoção de medidas de controle e mitigação ambiental, voltadas a avaliar a potencialidade da implantação do reúso das águas residuárias, seja em escala pontual para as localidades ainda desprovidas de tal serviço ou em escala local para os bairros e conjuntos novos, de forma paliativa e temporária.

A ocorrência de esgotos a céu aberto pode causar expressivos impactos socioambientais, incluindo a contaminação do solo e da água, onde o esgoto a céu aberto pode contaminar o solo e as fontes de água, como rios, lagos e lençóis freáticos. Além disso, há doenças que podem ser atribuídas à falta de saneamento básico como amebíase, cólera, febre tifóide e outras doenças de veiculação hídrica. (Teixeixa *et al*, 2018).

Assim como o próprio tratamento do esgoto e lançamento em áreas controladas como lagoas de estabilização, o reúso da água também é uma importante destinação para a água de esgoto, que inclui fins não potáveis na área da agricultura, como a irrigação e a compostagem, onde o lodo de esgoto pode ser compostado para produzir adubo orgânico. (Corrêa; Fonseca; Corrêa, 2007)

A resolução COEMA nº 2/2017 dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, onde define a água de reúso o efluente que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas, e define as condições e padrões para tal finalidade, como parâmetros de coliformes termotolerantes, ovos de geohelmintos, condutividade elétrica, pH, e Razão de Adsorção de Sódio (RAS) (Ceará, 2017).

Com isso, é importante considerar alternativas para contornar os riscos e prejuízos que a falta de saneamento, em específico o esgotamento sanitário, causa para a população de modo geral. O reúso da água pode ser uma opção para esse cenário, além disso, é importante avaliar a qualidade da água que está sendo despejada a céu aberto, e identificar como ela contamina o solo, e/ou possivelmente o lençol freático.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade de reúso das águas residuárias em determinadas localidades urbanas mais críticas, quanto a potencial poluição difusa associada quanto as condições de esgotamento sanitário do município de Mossoró – RN.

2.2 Objetivos Específicos

Espacializar as localidades com condições críticas quanto ao esgotamento sanitário do município;

Identificar a cobertura espacial dos serviços de esgotamento sanitário do município de Mossoró – RN;

Caracterizar a qualidade da água residuária nas localidades de Mossoró – RN que apresentam déficit sanitário e;

Analisar a viabilidade de reúso para fins urbanos, agrícola e florestal, ambientais e para aquicultura, bem como para irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Definições e importância do reúso da água

A escassez de água é um problema que afeta regiões áridas, semiáridas e até mesmo áreas com recursos hídricos sazonalmente abundantes, mas que não são suficientes para atender às elevadas demandas de consumo (Hespanhol, 2002). A utilização da água de reúso permite que a água potável disponível seja utilizada para fins indispensáveis, enquanto a água de reúso pode ser utilizada para outros fins como irrigação paisagística, atividades agrícolas e limpeza urbana (Pinto *et al*., 2014).

No Brasil, segundo dados disponibilizados pela ANA (2014), o Brasil possui uma disponibilidade hídrica per capta satisfatória para atender a população, porém há um problema sério em sua distribuição espacial, pois aproximadamente 80% dos recursos hídricos disponíveis estão localizados na região amazônica, que em contrapartida apresenta a menor densidade demográfica. Diante desse fato, é de extrema importância que a população faça uso racional da água, evite desperdícios, e faça reúso da água quando possível.

Ainda não há consenso sobre a definição exata de água de reúso, enquanto Barros *et al*. (2015) atribuem a água de reúso ao produto de um esgoto tratado e polido, Nucci e Lavrador Filho (1988) consideram que água de reúso é o "aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original", independentemente de ser produto de um esgoto tradado ou não.

Nos termos da legislação brasileira existente, a Resolução CNRH nº 54/2005 define reúso da água como a utilização de água residuária, sendo essa definida como: esgoto doméstico ou sanitário, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não (Brasil, 2005).

Em relação à classificação dessas águas, a Organização Mundial da Saúde – OMS, (World Health Organization – WHO, 1973) define que a água de reúso pode ser classificada como de reúso indireto (planejado ou não-planejado), reúso direto e reciclagem.

A Lei nº 11.332, de 30 de dezembro de 2022 que dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte traz as seguintes definições:

Reciclagem de água: é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original;

Reúso indireto planejado de água: ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para ser utilizado a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada e sustentável;

Reúso indireto não planejado de água: ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;

Reúso direto da água: é o uso planejado e deliberado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Reúso interno: é o uso interno de água de reúso proveniente de atividades realizadas no próprio empreendimento, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição;

Reúso externo: é o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por prestadores de serviços de saneamento básico ou terceiros, cujas características permitam sua utilização;

Em relação ao reúso direto de água não potável, a mesma lei abrange as seguintes modalidades:

Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins não potáveis, tais como irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio, em área urbana e recarga artificial de aquíferos não potáveis;

Reúso para fins agrícolas: aplicação de água de reúso para produção agropecuária;

Reúso para fins florestais: aplicação de água de reúso para o cultivo de espécies florestais;

Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.

Reúso para fins industriais e outros setores econômicos: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais e outros setores econômicos;

3.2 Águas residuárias

A Lei nº 11.332, de 30 de dezembro de 2022 do Estado do Rio Grande do Norte ainda define o que são águas residuárias: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. Desse modo, as águas cinzas e negras enquadram-se no conceito de água residuária.

3.3 Águas negras

A água negra é um tipo de água residuária que provém dos vasos sanitários, composta essencialmente por fezes, urina e papel higiênico, ou que é derivada de dispositivos separadores de fezes e urina, caracterizada por conter grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico (Otterpohl, 2001). Um estudo realizado por Rebelo (2011) apresenta as características físicas, químicas e microbiológicas de águas negras de origem residencial, mostradas na Tabela 1:

Tabela 1. Características físicas, químicas e microbiológicas de águas negras de origem residencial.

Características microbiológicas	
Parâmetro	Média
Coliformes Totais ($UFCx10^5/100mL$)	29
Coliformes Termotolerantes ($UFCx10^5/100mL$)	15
Características físicas	
Cor aparente (uC)	411,8
Turbidez (UNT)	247
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	1,7
Características químicas	
Sólidos voláteis (mg/L)	356
Sólidos fixos (mg/L)	291
DBO (mg/L)	69
DQO (mg/L)	421,2
Salinidade (%)	0,5
Condutividade (mS/cm)	731
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	24,7
Fósforo Total (mg/L)	3,8
pH	7,3
Alcalinidade Total ($mgCaCO_3/L$)	336,1
Cloretos (mg/L)	67,2

Fonte: Adaptado de Rebelo (2011).

3.4 Águas cinzas

É considerado como água cinza as águas oriundas dos resíduos domésticos em contato com a água de abastecimento, onde estão inclusas águas provenientes da pia de louça, efluentes do chuveiro e lavatório de mãos do banheiro, lavagem de roupa, excluindo-se as águas do vaso sanitário (Boyjoo *et al*., 2013). Sendo o efluente que não possui nenhum tipo de contribuição de águas de vasos sanitários, e foi utilizada em processos domésticos bacia sanitária, o esgoto gerado pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios em geral, em residências, comércios, escolas e outros. (Fiori et al., 2006)

3.4.1 Caraterização de atributos físicos, químicos e microbiológicos de água cinza

Segundo Bazzarella (2005) as águas cinzas geralmente são originadas de produtos para lavagem do corpo, roupas e produtos de limpeza no geral, e há variação em qualidade a depender da localidade, faixa etária, classe social, costume dos moradores, nível de ocupação da residência e o tipo de fonte da água que está sendo utilizada. Além disso, Eriksson *et al.* (2002) citam que a caracterização das águas cinzas também dependem da qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento, quanto da água de reúso, a Tabela 2 apresenta as características físico-químicas e microbiológicas de águas cinzas de diversas fontes em uma residência.

Tabela 2. Características das águas cinzas originadas de várias fontes.

Parâmetros	Siegrist et al. (1976)					Christova-Boal et al. (1998)		Almeida et al. (1999)			
	Chuveiro/Banheira	Pia de cozinha	Lava Louças	Lava Roupas	Enxague de roupa	Banheiro	Lavanderia	Banheira	Lavatório	Chuveiro	Pia de Cozinha
Físicos											
Temperatura (ºC)	29	27	38	32	28						
Turbidez (NTU)						60-240	50-210				
ST (mg/L)	250	2410	1500	1340	410						
SST (mg/L)	120	720	440	280	120			54	181	200	235
Químicos											
pH						6,4 - 8,1	9,3 - 10				
Condutividade (µS/cm)						82 - 250	190 - 1400				
Alcalinidade (mg/L)						24 - 43	83 - 200				
DBO5 (mg/L)	170	1460	1040	380	150	76-200	48 - 290				
DQO (mg/L)								210	298	501	644
Óleos e graxas (mg/L)						37 - 78	8,0 - 35				
Cloreto (mg/L)						9,0 - 18	9,0 - 88				
Nutrientes											
N-total (mg/L)	17	74	40	21	6						
NTK (mg/L)						4,6-20	1,0-40				
NH4-N (mg/L)	2	6	4,5	0,7	0,4	<0,1-15	<0,1-1,9	1,1	0,3	1,2	0,3
NO3-N (mg/L)	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4			4,2	6	6,3	5,8
NO3 & NO2 (mg/L)						<0	0,10-0,31				
P-total (mg/L)	2	74	68	57	21	0,11-1,8	0,062-42				
PO4-P (mg/L)	1	31	32	15	4			5,3	13,3	19,2	26
Microbiológicos	(NMP/100ml)										
Coliformes Totais	70-8200			85 - $8,9x10^5$	190- $1,5x10^5$	500- $2,4x10^7$	$2,3x10^3$- $3,3x10^5$				
Coliformes Fecais				9- 1,6x10^4	35- $7,1x10^3$	170- $3,3x10^3$	110- $1,09x10^3$				
Cripistoridium						nd	nd				
Salmonela						nd					

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005).

Diversos parâmetros físicos podem caracterizar as águas cinzas, porém destacam-se os seguintes: cor, turbidez, conteúdo de sólidos suspensos e temperatura. As temperaturas mais elevadas podem ser importunas, pois favorecem o acúmulo de microorganismos, enquanto os parâmetros de turbidez e sólidos suspensos informam a respeito do conteúdo de partículas e colóides que possibilitariam o entupimento de instalações de transporte e tratamento de efluentes (Bazzarella, 2005).

O risco de esgotamento de oxigênio devido à decomposição da matéria orgânica durante o transporte e armazenamento, e, por conseguinte, a possibilidade de formação de sulfeto, é indicado pelos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de

Oxigênio (DQO). A maior parte da DQO provém de produtos químicos utilizados em residências, como detergentes e produtos de limpeza. Portanto, é esperado que os níveis de DQO se assemelhem aos encontrados no esgoto doméstico convencional, enquanto as concentrações de DBO são previstas para serem mais baixas (Eriksson *et al*., 2002).

No que se referem aos nutrientes, as concentrações de nitrogênio total na água cinza são inferiores em comparação com o esgoto convencional, uma vez que a principal fonte desse nutriente é a urina, que não está presente na água cinza. Assim, a contribuição mais significativa para os níveis de nitrogênio na água cinza provém do efluente da cozinha. No entanto, em algumas residências há o hábito de urinar durante o banho, então não pode se excluir a possibilidade da concentração de nitrogênio total proveniente dessa fonte. No que diz respeito ao fósforo, os detergentes representam a principal fonte desse elemento (Eriksson *et al.*, 2002).

De maneira análoga ao esgoto sanitário, o íon sulfato também é presente nas águas cinzas, porém essas concentrações requerem atenção devido à rapidez com que se torna anaeróbia. Em condições anaeróbias, os sulfatos são reduzidos a sulfetos e têm a possiblidade de se combinar com o hidrogênio formando o sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico, e a formação desse sulfeto de hidrogênio observado em uma concentração acima de 1mg/L gera maus odores (Metcalf e Eddy, 2017).

Na água cinza, é esperado encontrar diversos produtos químicos que formam um grupo diversificado de compostos. Esses derivam do uso de sabões, detergentes, xampus, perfumes, tinturas, produtos de limpeza, entre outros. O efluente proveniente da cozinha contém ainda lipídios (óleos e gorduras), chá, café, amido solúvel, glicose, e outros componentes. Na lavanderia, são utilizados diferentes tipos de detergentes, alvejantes e perfumes. Diante dessa variedade de substâncias, uma abordagem para selecionar compostos realmente relevantes na caracterização da água cinza pode basear-se nos componentes presentes em produtos residenciais, juntamente com a identificação dos riscos ambientais associados. Os surfactantes, como os não-iônicos, aniônicos e anfóteros presentes em detergentes e produtos de higiene pessoal, destacam-se como os principais compostos dessa lista. O pH na água cinza é principalmente influenciado pelo pH da água de abastecimento. No entanto, a presença de certos produtos químicos pode contribuir para o seu aumento. Além disso, as medições de alcalinidade e dureza (bem como as de turbidez e sólidos suspensos) fornecem informações relevantes sobre o potencial de obstrução das tubulações (Eriksson et al., 2002).

Quanto às propriedades microbiológicas, apesar da água cinza não receber contribuição dos vasos sanitários, que são a principal fonte de microorganismos patogênicos, algumas atividades como lavagem das mãos após o uso do vaso sanitário, limpeza de roupas contaminadas por fezes, como por exemplo fraldas, e o próprio banho são possíveis fontes desses agentes na água cinza (Ottoson e Stenström, 2003). Segundo o mesmo autor, os riscos para a saúde humana variam a depender do tipo de patógenos presentes, tratamento aplicado e da via de exposição. A detecção de *Escherichia coli* ou outros organismos entéricos na água cinza sugere contaminação fecal e a possibilidade da presença de patógenos intestinais, como Salmonella ou outros vírus entéricos. Grandes quantidades de coliformes fecais são indesejáveis e aumentam a probabilidade de contágio em humanos durante o contato com a água cinza reutilizada.

3.5 Legislações vigentes para reúso da água

Apesar do Estado do Rio Grande do Norte apresentar legislação acerca da política de reúso de água não potável (Lei nº 11.332) (Rio Grande do Norte, 2022), a mesma não dispõe sobre atributos e parâmetros para o monitoramento dessas águas, porém tais informações podem ser obtidas pela resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017) e da norma NBR nº 13969/1997 (ABNT, 1997).

A NBR 13969/1997 define que prática de reutilizar água de origem doméstica destina-se a finalidades não potáveis, como lavagem de pisos e veículos, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagística de lagos e canais, e irrigação de campos agrícolas e pastagens, para isso, é necessário tratar o efluente de maneira a eliminar os riscos microbiológicos, garantindo também sua condição estética para que seja aceito no ambiente doméstico, de acordo com essa norma, a água residuária doméstica é dividida nas seguintes classes de uso:

Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 200 NMP 100 ml^{-1}; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg L^{-1}; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg L^{-1} e 1,5 mg L^{-1}. Neste nível é geralmente necessário, tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso) seguido por

filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante;

Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 500 NMP 100 mL^{-1}; cloro residual superior a 0,5 mgL^{-1}. Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes;

Classe 3: Reúso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10 UNT, coliformes fecais inferiores a 500 NMP 100 mL^{-1}. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão;

Classe 4: Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5000 NMP 100 mL^{-1} e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg L^{-1}. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Os artigos 38 a 41 da resolução COEMA nº 02/2017 definem os parâmetros específicos do reúso externo de efluentes sanitários para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais e para aquicultura (Ceará, 2017 apresentados na Tabela 3:

Tabela 3. Padrões para reúso urbano, agrícola e florestal, ambiental e para aquicultura.

Tipo de reúso	Parâmetros		Valor
Urbano	Coliformes Termotolerantes (CT)		até 5000 CT/100mL
	Ovos de helmintos		até 1 ovo/L de amostra
	Condutividade elétrica		até 3000 µS/cm
	pH		entre 6,0 e 8,5
Agrícola e Florestal	Coliformes Termotolerantes (CT)	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com água de irrigação	Não detectado (ND)
		Demais culturas	Até 1000 CT/100mL
	Ovos de helmintos	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com água de irrigação	Não detectado (ND)
		Demais culturas	até 1 ovo/L de amostra
	Condutividade elétrica		até 3000 µS/cm
	pH		entre 6,0 e 8,5
	Razão de Adsorção de Sódio - RAS		$(15\ mmolcL^{-1})^{1/2}$
Ambiental	Coliformes Termotolerantes (CT)		até 10000 CT/100mL
	Ovos de helmintos		até 1 ovo/L de amostra
	Condutividade elétrica		até 3000 µS/cm
	pH		entre 6,0 e 8,5
Aquicultura	Coliformes Termotolerantes (CT)		Até 1000 CT/100mL
	Ovos de helmintos		Não detectado (ND)
	Condutividade elétrica		até 3000 µS/cm
	pH		entre 6,0 e 8,0
	Temperatura		Até 40ºC

Fonte: Adaptado da Resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017)

3.6 Qualidade da água para fins de irrigação

As normas e legislações mencionadas anteriormente apresentam atributos gerais de reúso das águas, classificando-as entre reúso urbano, agrícola e florestal, ambiental e para

aquicultura, e tem como ênfase a avaliação microbiológica (Ovos de helmintos e Coliformes Termotolerantes). Entretanto, também é importante avaliar as águas em relação aos nutrientes de maneira individualizada, em que Almeida (2010) apresenta atributos de qualidade da água para fins de irrigação baseado nos padrões normais apresentados por Ayers e Westcot (1976 e 1991), esses são padrões físico-químicos das águas de irrigação que não acarretarão problemas em termos químicos, físicos e biológicos aos solos, e consequentemente não afetarão o rendimento das culturas, conforme apresentado na Tabela 4:

Tabela 4. Análises de laboratório necessárias para avaliar a água para irrigação

Parâmetros	Símbolo	Unidade	Intervalo usual na água de irrigação
Condutividade elétrica	CE	µSm-1	0-3
Cálcio	Ca^{2+}	mmolcL-¹	0-10
Magnésio	Mg^{2+}	mmolcL-¹	0-2,5
Sódio	Na^{+}	mmolcL-¹	0-40
Carbonatos	CO_3^{2-}	mmolcL-¹	0-0,1
Bicarbonatos	HCO_3^{-}	mmolcL-¹	0-10
Cloretos	Cl^{-}	mmolcL-¹	0-30
Potássio	K^{+}	mmolcL-¹	0-2
Acidez ou alcalinidade	pH	-	6 – 8,5
Razão de Adsorção de Sódio	RAS	(15 mmolcL-¹) ¹/²	0 – 15

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1976 e 1991).

Ayers e Westcot (1976) ainda apresentam o grau de restrição de uso da água para irrigação apresentando problemas potenciais como salinidade, infiltração e toxicidade de íons específicos, como visto na Tabela 5:

Tabela 5. Grau de restrição de uso da água para irrigação.

Problema potencial	Unidade	Grau de Restrição de Uso		
		Nenhum	Ligeiro a moderado	Severo
Salinidade				
CE	µS/cm	<700	700 - 3000	>3000
Infiltração				
RAS = 0 - 3 e CE =	µS/cm	>700	700 - 200	<200
RAS = 3 - 6 e CE =	µS/cm	>1200	1200 - 300	<300
RAS = 6 - 12 e CE =	µS/cm	>1900	1900 - 500	<500
RAS = 12 - 20 e CE =	µS/cm	>2900	2900 - 1300	<1300
RAS = 20 - 40 e CE =	µS/cm	>5000	5000 - 2900	<2900
Toxicidade de Íons Específicos				
Sódio				
Irrigação por superfície	RAS	<3	3 - 9	>9
Irrigação por aspersão	$mmolcL^{-1}$	<6	>6	
Cloro				
Irrigação por superfície	$mmolcL^{-1}$	<4	4 - 10	>10
Irrigação por aspersão	$mmolcL^{-1}$	<3	>3	
Bicarbonato				
Aspersão foliar unicamente	$mmolcL^{-1}$	<1,5	1,5 - 8,5	>8,5

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1976).

3.7 Impactos ambientais acerca da ineficiência da cobertura do esgotamento sanitário

Cerca de 71% dos 14 milhões de habitantes nas áreas urbanas de 1.135 municípios no semiárido brasileiro não têm acesso à coleta de águas residuais domésticas e sanitárias. Isso significa que aproximadamente 10 milhões de pessoas destinam seus resíduos em fossas, sumidouros, valas abertas ou diretamente nos rios, agravando a situação crítica de escassez hídrica na região semiárida. Além disso, a poluição ambiental é um problema adicional, tornando a água dos corpos hídricos receptores inadequada para o consumo humano (Medeiros *et al.*, 2014).

As águas provenientes das atividades domésticas, industriais e do escoamento urbano e rural contêm níveis significativos de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Esses elementos promovem a eutrofização, resultando no crescimento excessivo de fitoplâncton e plantas aquáticas nos corpos hídricos receptores, comprometendo a qualidade da água destinada ao consumo humano (Barreto *et al*., 2013).

As doenças de veiculação hídrica também são um grande problema que assolam a falta de esgotamento sanitário, um estudo realizado por Teixeira *et al.* (2013) aponta que as duas principais doenças causadoras de óbitos devido ao saneamento inadequado no Brasil entre 2001 a 2009 foram diarreia e doença de Chagas, seguidas de esquistossomose, dengue, leishmanioses, leptospirose, dentre várias outras.

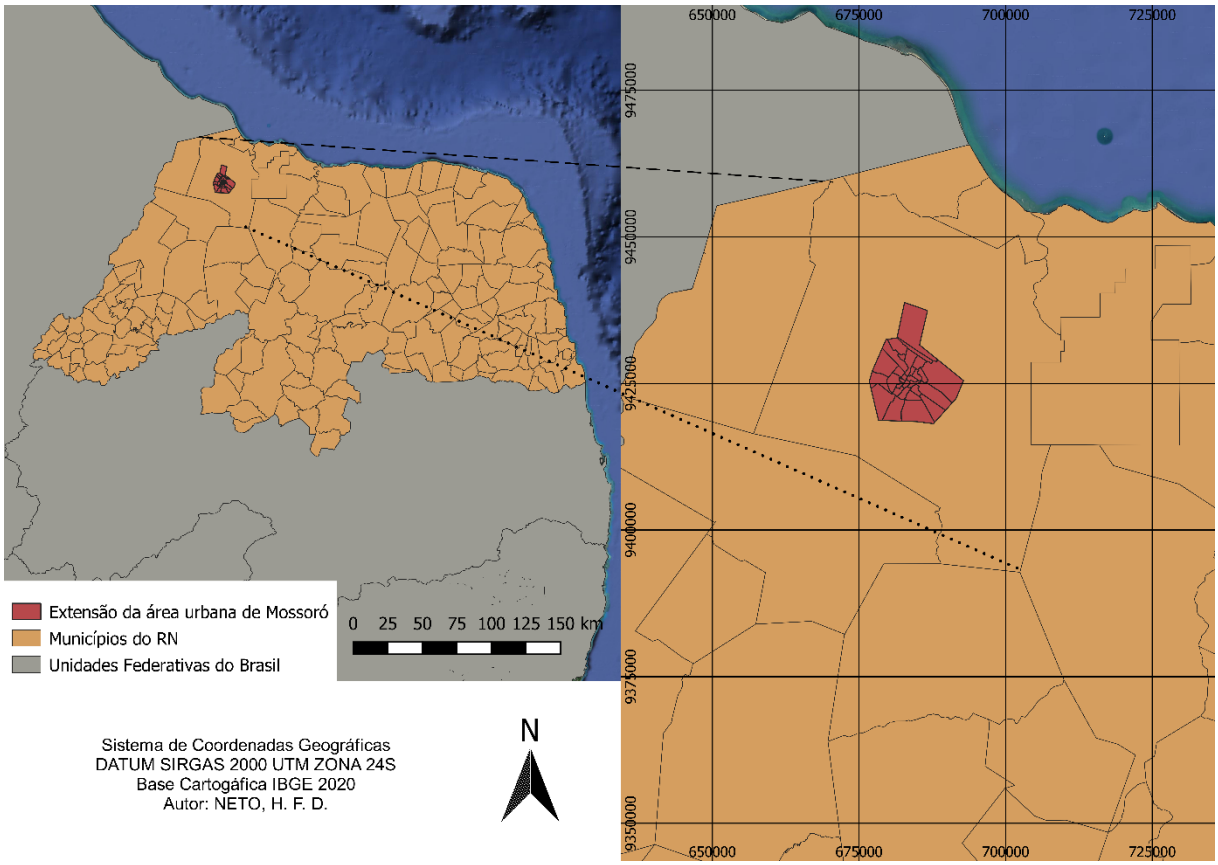
A busca por alternativas de redução de riscos e prejuízos devido à falta de saneamento ainda se alinha com algumas das metas de um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a ODS 6, prevista pela agenda 2030: Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando o despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura globalmente, e, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e ao saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso (ONU, 2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de Mossoró, município do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil, pertencente à mesorregião do Oeste Potiguar, localizada entre as capitais Natal (RN) e Fortaleza (CE) (Figura 1), distante 278 e 245 km, respectivamente, segundo o documento Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Rio Grande do Norte, publicado em setembro de 2005.

Figura 1. Mapa de localização do município de Mossoró – RN.



Fonte: Autoria própria (2023).

O clima da região é do tipo BSh (clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono), com precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 794 mm (Alvares et al., 2013).

A cidade de Mossoró é constituída pelos sedimentos da Formação Jandaíra, do grupo Barreiras, depósitos Colúvios-eluviais, Flúvio-lagunares e depósitos Aluvionares (CPRM,

2006). Parte do abastecimento de água da cidade vêm de águas subterrâneas captadas do Sistema Aquífero Apodi, cuja formação é constituída pela presença dos aquíferos da Formação Barreiras, Jandaíra, e Formação Açu. O aquífero Barreiras corresponde a um aquífero do tipo poroso e funciona na cidade de Mossoró como aquífero de transferência devido suas camadas permeáveis, sendo assim, as águas que infiltram na superfície são transferidas para o aquífero sotoposto, no qual é classificado como aquífero Jandaíra. Por sua vez, o aquífero Jandaíra constitui-se com um aquífero livre que capta águas pluviais ou a partir da Formação Barreiras. (Ferreira, 2022).

A vegetação predominante do município é caatinga, e podem ser encontrados três tipos de vegetações distintas: caatinga hiperxerófila, carnaubal e a vegetação halófita. (Dias; Diodato; Grigio, 2014). Em relação ao solo, as classes predominantes são: Cambissolo, Luvissolo, Argissolo, Latossolo, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Flúvico (Neto et al., 2012).

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2019) da cidade de Mossoró, com dados fornecidos pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), levando em conta os domicílios ativos, o percentual de moradias que são contempladas com rede de esgoto é cerca de 61%, levemente acima da média registrada no Brasil (56%) (SNIS, 2023). O Estado do Rio Grande do Norte conta com cerca de 28% de atendimento à rede de esgoto, e a região nordeste com 32,20%, segundo dados da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Brasil, 2021).

4.2 Elaboração dos mapas de esgotamento sanitário do município de Mossoró – RN

4.2.1 Obtenção da base de dados

Mediante repasse de dados espacializados pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), sobre as informações relacionadas à cobertura da rede de esgoto sanitário do município de Mossoró, referente ao período até abril de 2023, com base em arquivos em formato DWG e PDF com os mapas das redes de esgotamento sanitário, bem como a malha do perímetro urbano. O arquivo shapefile com a divisão dos bairros foi adquirido através do website do IBGE.

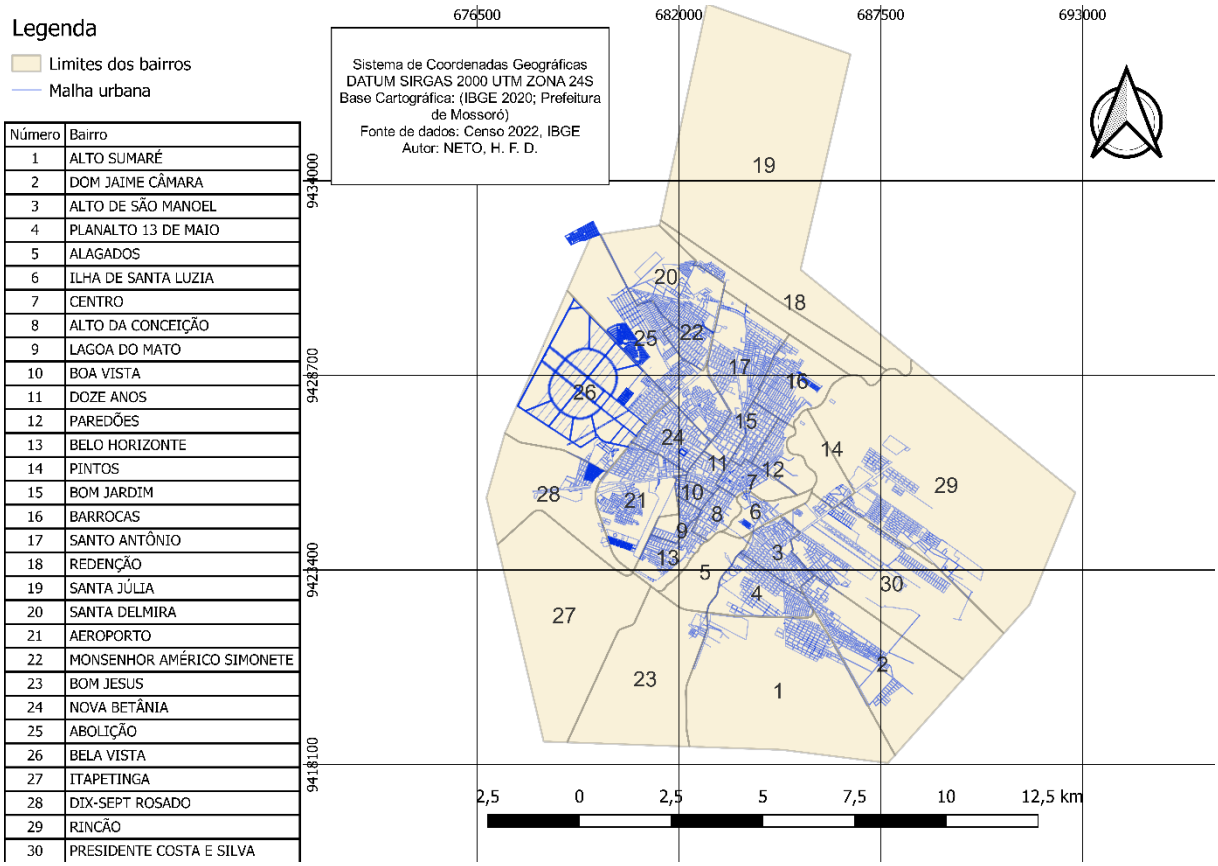
4.2.2 Elaboração dos mapas

Em posse dos dados solicitados, o cruzamento das informações e processamento de dados para a obtenção dos mapas temáticos referentes ao esgotamento sanitário foi realizado utilizando o software QGIS 3.22.10 (versão 2022). Diante dos mapas temáticos confeccionados, foi possível compreender a extensão da cobertura espacial dos serviços de coleta do esgotamento sanitário.

Inicialmente os arquivos DWG foram transformados em DXF, em seguida sendo importados para o QGIS através da opção “Importar camadas de DWG/DXF”. Com as camadas importadas, foi realizada uma seleção manual das camadas que representavam a rede coletora de esgotamento sanitário, excluindo-se informações desnecessárias para a pesquisa como logradouros, terrenos inabitados, habitações, piscinas, rios, lagos e outros.

As redes coletoras que foram selecionadas foram seccionadas por bacias, por isso foi necessário utilizar a ferramenta “Mesclar camadas vetoriais”, disponível no menu Vetor. As imagens a seguir (Figuras 2 e 3) apresentam a localização e o limite dos bairros e a rede coletora de esgoto.

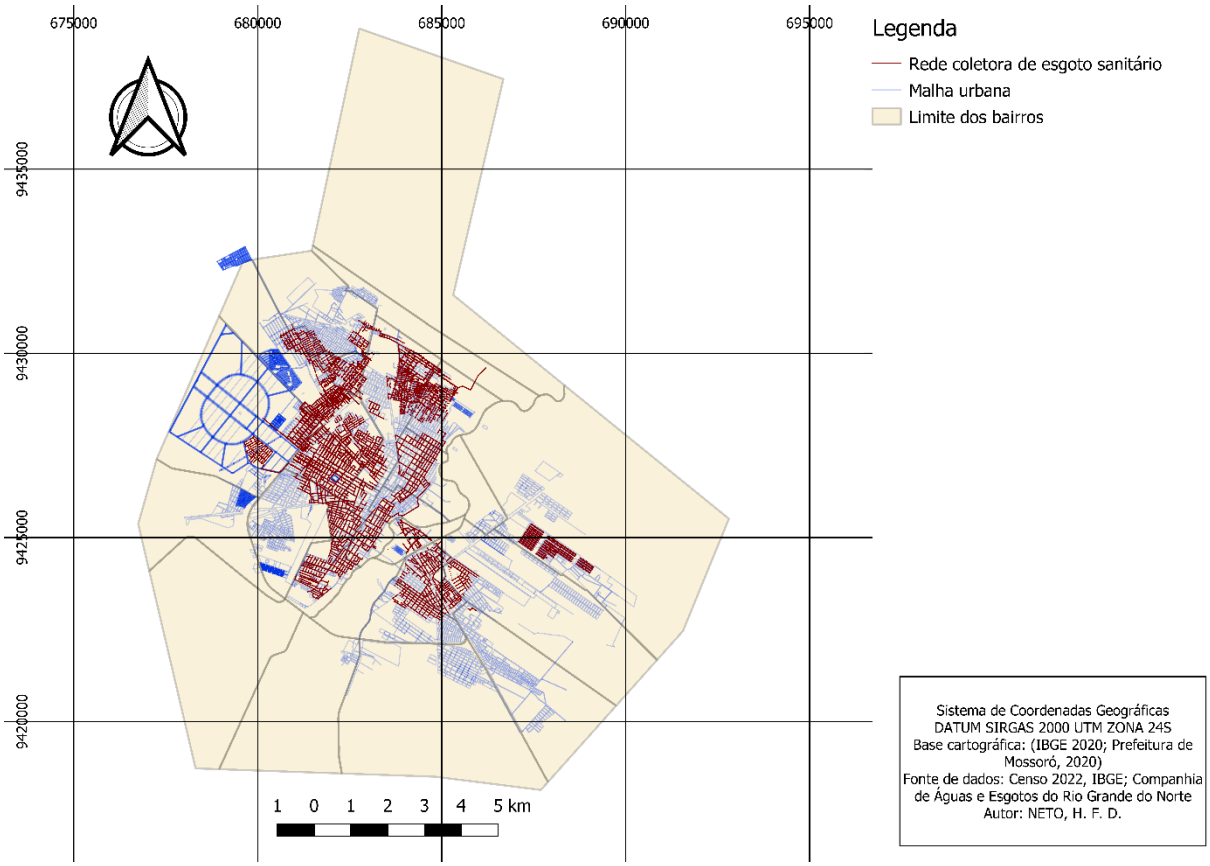
Figura 2. Localização e limite dos bairros do município de Mossoró – RN.



Número	Bairro
1	ALTO SUMARÉ
2	DOM JAIME CÂMARA
3	ALTO DE SÃO MANOEL
4	PLANALTO 13 DE MAIO
5	ALAGADOS
6	ILHA DE SANTA LUZIA
7	CENTRO
8	ALTO DA CONCEIÇÃO
9	LAGOA DO MATO
10	BOA VISTA
11	DOZE ANOS
12	PAREDÕES
13	BELO HORIZONTE
14	PINTOS
15	BOM JARDIM
16	BARROCAS
17	SANTO ANTÔNIO
18	REDENÇÃO
19	SANTA JÚLIA
20	SANTA DELMIRA
21	AEROPORTO
22	MONSENHOR AMÉRICO SIMONETE
23	BOM JESUS
24	NOVA BETÂNIA
25	ABOLIÇÃO
26	BELA VISTA
27	ITAPETINGA
28	DIX-SEPT ROSADO
29	RINCÃO
30	PRESIDENTE COSTA E SILVA

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 3. Rede coletora de esgoto sanitário do município de Mossoró – RN.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.3 Determinação dos pontos de coleta de água

4.3.1 Escolha dos bairros

Diante dos mapas temáticos apresentados é possível observar que alguns bairros contam com a cobertura da rede coletora de esgoto ineficiente, em virtude de apresentarem baixa cobertura quanto a sua extensão nos limites do bairro, sendo em alguns casos até inexistente, como nos bairros Aeroporto, Alagados, Alto do Sumaré, Bom Jesus, Dix-Sept Rosado, Dom Jaime Câmara, Itapetinga, Pintos, Presidente Costa e Silva, Redenção e Santa Delmira.

Dos bairros citados acima, os bairros Aeroporto, Santa Delmira, Dom Jaime Câmara, Alto de Sumaré e Presidente Costa e Silva possuem as cinco maiores populações, com 17.889, 13.527, 11.209, 6.483 e 4.737 habitantes, respectivamente, segundo dados do censo 2010. Os bairros Aeroporto, Santa Delmira, Dom Jaime Câmara e Alto de Sumaré foram escolhidos devido à quantidade de habitantes, ou seja, onde mais pessoas são afetadas pela falta da rede de

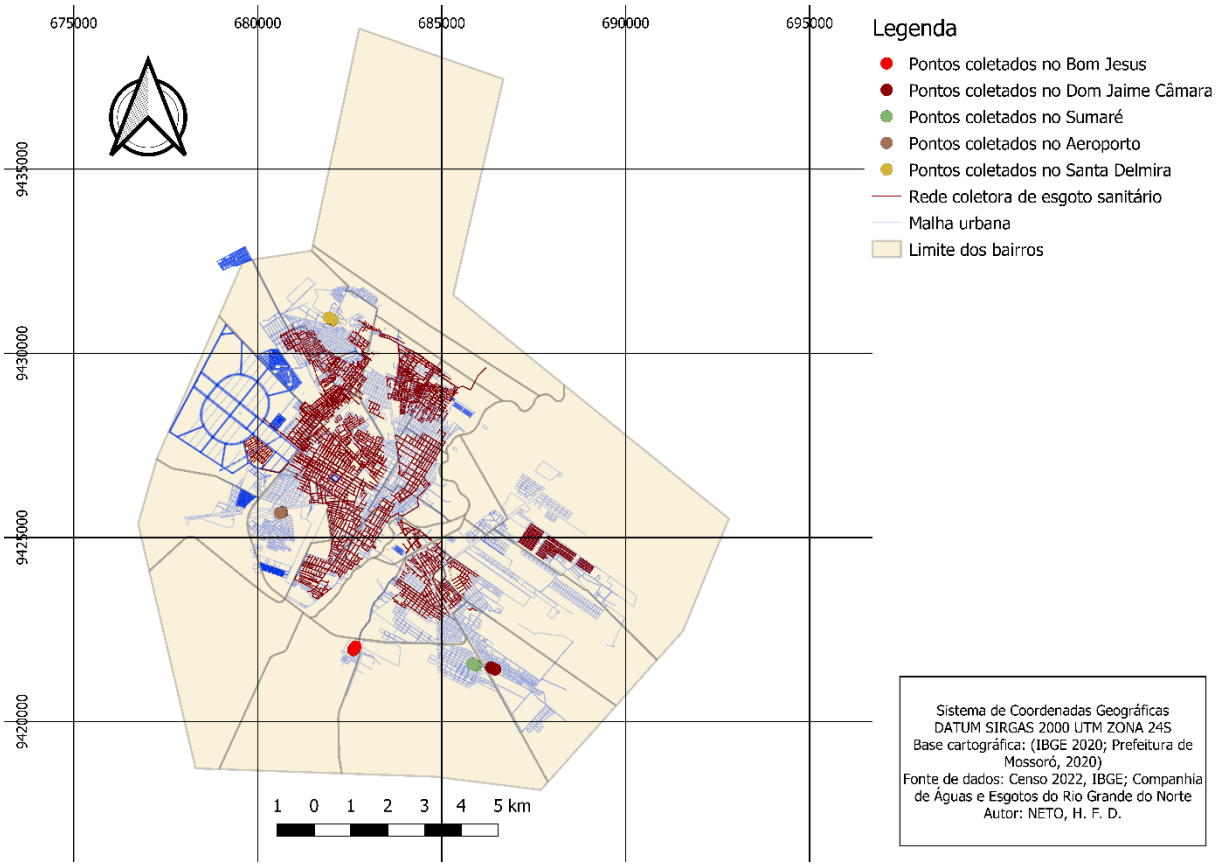
esgoto, além do bairro Bom Jesus, para que houvesse uma melhor distribuição espacial dos bairros escolhidos, visto que o bairro Presidente Costa e Silva faz fronteira com dois bairros já selecionados (Dom Jaime Câmara e Alto do Sumaré).

4.3.2 Determinação dos pontos de coleta

Para a coleta das amostras de água, a metodologia utilizada foi adaptada da resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017), que indica para o monitoramento de lançamento de efluentes diretamente no solo, amostras compostas divididas em pelo menos cinco subamostras numa área de até 1 hectare. As amostras foram coletadas em agosto de 2023.

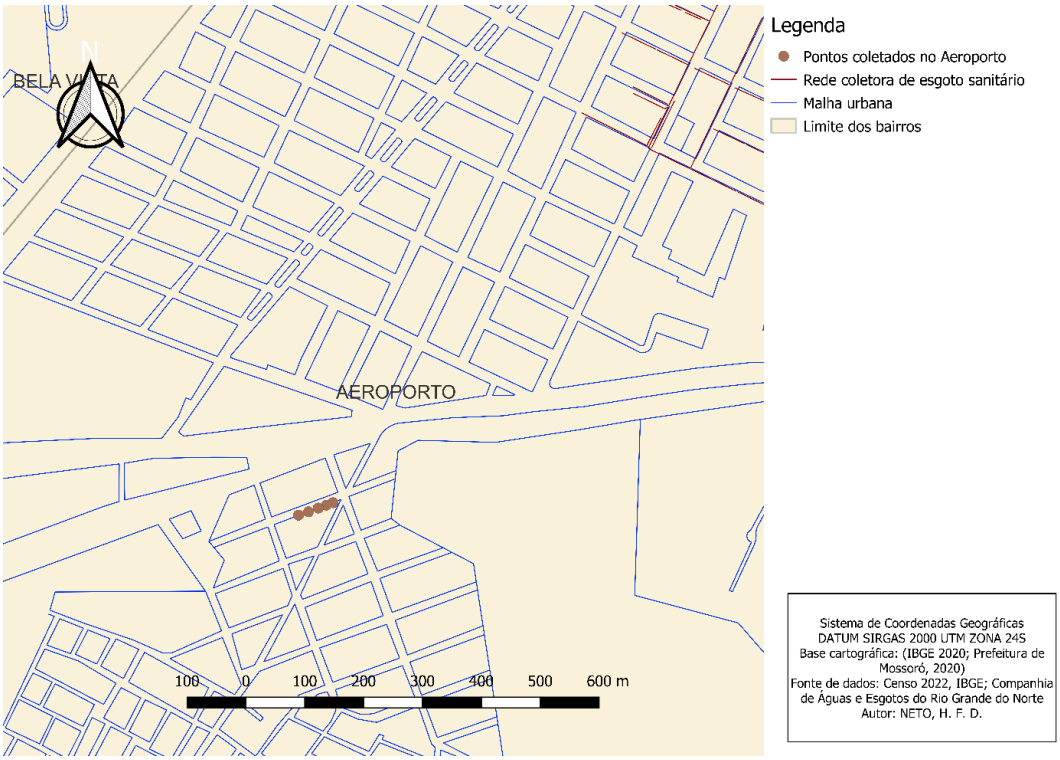
As Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 ilustram a localização dos pontos onde foram coletadas as amostras de águas residuárias, além dos registros das coletas.

Figura 4. Pontos de coleta dos bairros selecionados.



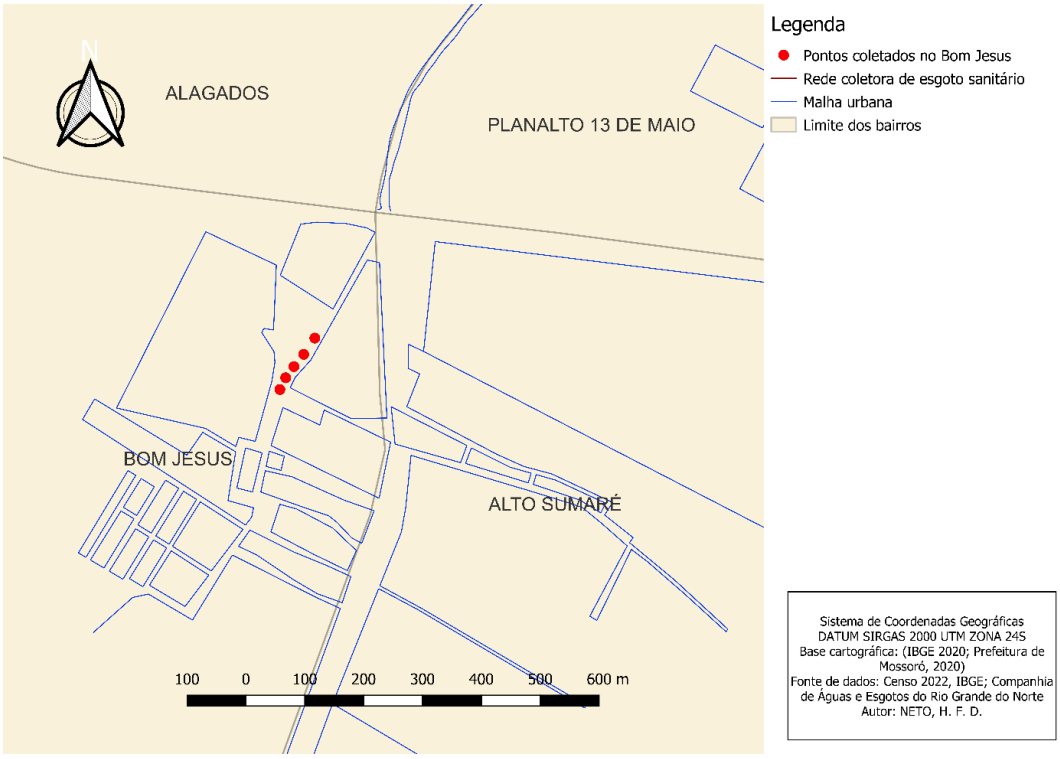
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 5. Pontos coletados no bairro Aeroporto.



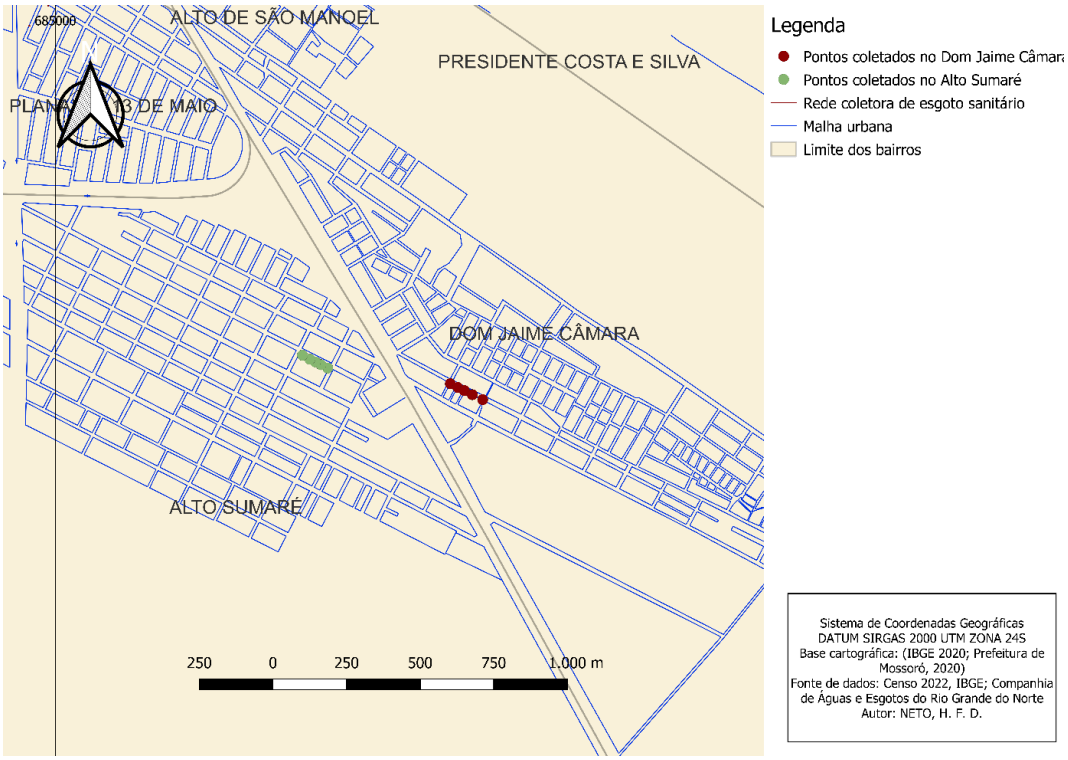
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 6. Pontos coletados no bairro Bom Jesus.



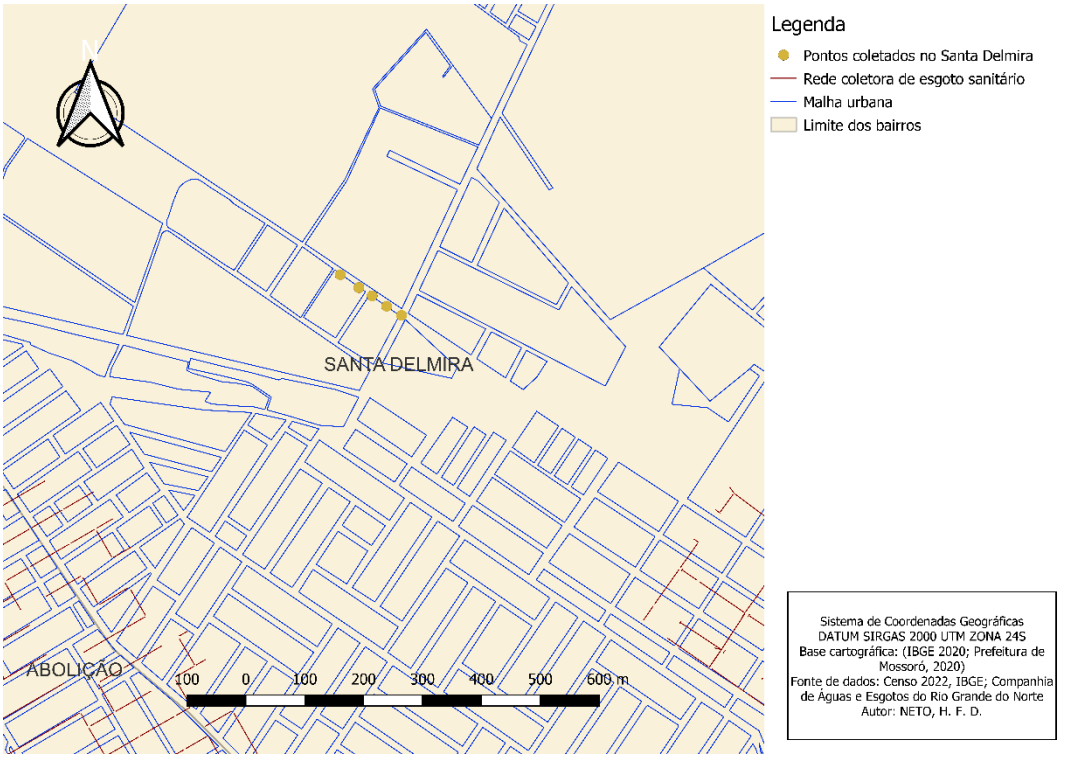
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 7. Pontos coletados nos bairros Dom Jaime Câmara e Alto Sumaré.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 8. Pontos coletados no bairro Santa Delmira.



Fonte: Auoria própria (2023).

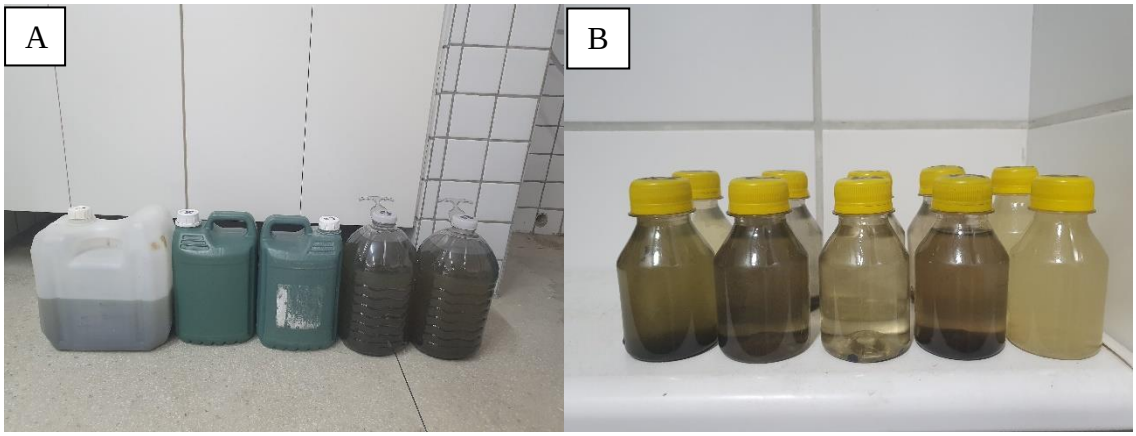
Figura 9. Procedimentos adotados para coleta da água residuária nos bairros Santa Delmira (A), Aeroporto (B), Bom Jesus (C), Alto de Sumaré (D) e Dom Jaime Câmara (E).

Fonte: Autoria própria (2023).

4.4 Armazenamento das amostras coletadas

Foram coletadas amostras de cinco litros para a realização das análises de ovos de helmintos, enquanto para a realização das análises de cátions e ânions, pH, condutividade elétrica e coliformes termotolerantes foram utilizados recipientes de 200mL, ilustrados na Figura 10. As amostras foram levadas imediatamente após a coleta para o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal – LIPOA/UFERSA para a análise de coliformes termotolerantes, já as demais análises foram realizadas nas semanas posteriores.

Figura 10. Amostras de cinco litros (A) para análise de ovos de helmintos e amostras de 200mL (B) para as análises de cátions e ânions, pH, condutividade elétrica e coliformes termotolerantes.

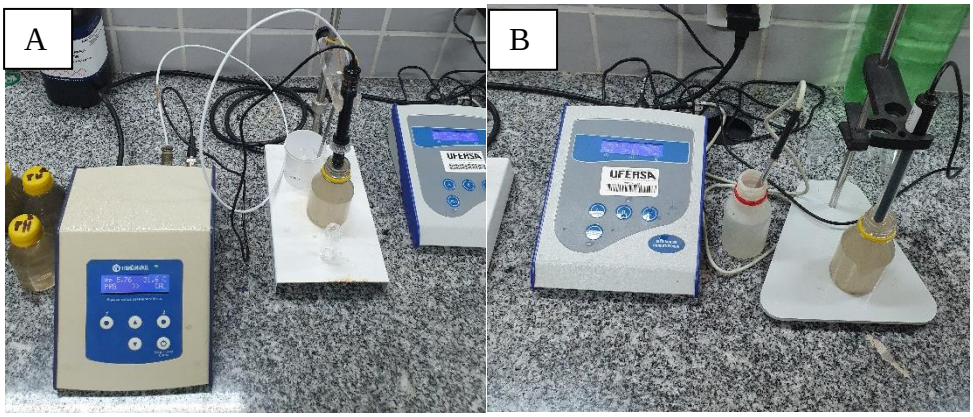


Fonte: Acervo pessoal (2023).

4.5 Análises químicas e microbiológicas

No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta – LASAP/UFERSA foram realizadas as análises de potencial hidrogeniônico (pH), através do pHmetro de bancada, condutividade elétrica (CE), através do condutivímetro de bancada, ilustrados na Figura 11. Além das análises de sódio (Na^{+}) e potássio (K^{+}), através do fotômetro de chama e cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^{-}), carbonato (CO_3^{-2}) e bicarbonato (HCO_3^{-}), através do método da titulação.

Figura 11. Equipamentos empregados nas análises de pH e CE: pHmetro (A) e condutivímetro (B) de bancada.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

O pH e a CE foram medidos a partir dos recipientes com 200mL de amostra. Como nessas análises não houve perda de amostra, as mesmas foram utilizadas posteriormente para análise de cátions e ânions, seguindo as recomendações da Embrapa (2011).

Os teores de sódio (Na^+) e potássio (K^+) foram obtidos através de amostras de 20mL, alocadas em copos descartáveis, onde após passadas pela curva de calibração, foi realizada a leitura no fotômetro de chama. Em algumas amostras foi necessário fazer diluição, misturando a amostra com água deionizada.

As concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foram obtidas a partir de uma amostra de 25ml, alocada em copo descartável, 4mL de solução tampão com pH igual 10 e uma quantidade do indicador negro de ericromo ($C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$), observando uma coloração cor de rosa, logo em seguida, a titulação foi realizada com a solução de ácido etileno tetra acético ($C_{10}H_{16}N_2O_8$ ou EDTA), até a obtenção do ponto de virada, onde a solução atinge a coloração azul.

A concentração de magnésio foi determinada a partir da diferença entre os teores Ca^{2+}+Mg^{2+} e o teor de magnésio.

A concentração de cloro (Cl^-) foi obtida através de uma amostra de 25mL, alocada em copo descartável, adicionando-se três gotas de cromato de potássio (K_2CrO_4). No procedimento seguinte foi realizada a titulação, adicionando-se a solução de nitrato de prata ($AgNO_3$), até atingir o ponto de viragem, onde observa-se uma coloração avermelhada.

O teor de carbonato (CO_3^{-2}) foi obtido a partir de uma amostra de 50mL, alocada em copo descartável e adicionando-se 3 gotas de fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$), posteriormente observando-se se a amostra atingiu a coloração rosa ou não. Diante da mudança de coloração, a titulação era realizada com ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,0025 M, até que a solução ficasse novamente incolor.

O teor de bicarbonatos (HCO_3^-) foi obtido a partir de uma amostra de 50mL, alocada em copo descartável e adicionando-se três gotas de alaranjado de metila ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$). Utilizando a mesma amostra para análise de carbonato, foi realizada a titulação com ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,0025 M, até obter o ponto de viragem, fazendo a solução ficar com a cor alaranjada.

A partir dos teores de sódio, cálcio e magnésio, foi calculada a razão de adsorção de sódio (RAS), descrita na Equação 1:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Onde:

RAS – Razão de adsorção de sódio $(mmol_C L^{-1})^{0,5}$;

Na^+ – Concentração de sódio $(mmol_C L^{-1})$;

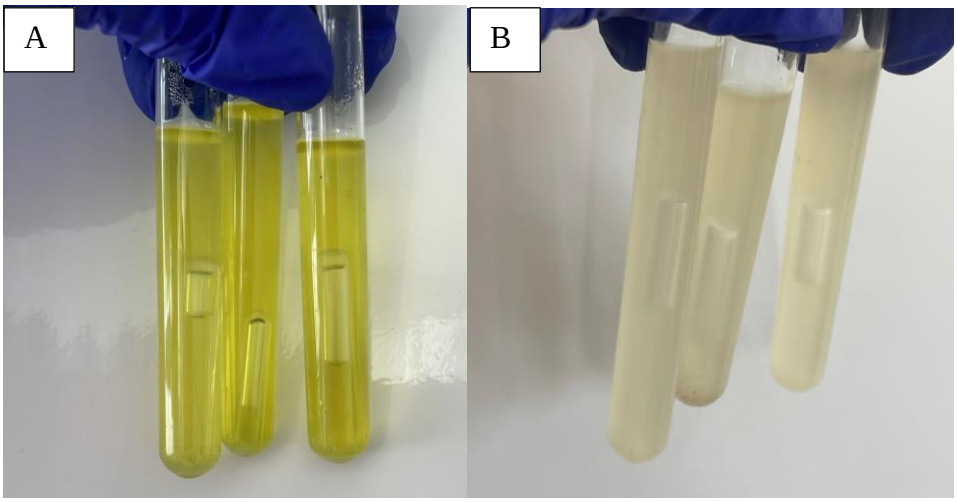
Ca^{2+} – Concentração de cálcio $(mmol_C L^{-1})$; e

Mg^{2+} – Concentração de magnésio $(mmol_C L^{-1})$.

No Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal – LIPOA/UFERSA foi realizada a análise de coliformes termotolerantes através da técnica dos tubos múltiplos (CETESB, 2003), obtendo-se um resultado em NMP. Esse método é dividido em duas fases sucessivas (presuntiva e confirmativa), onde a segunda etapa é realizada somente se houver crescimento positivo na primeira etapa.

A fase presuntiva consiste na homogeneização e transferência das diluições (três tubos por amostra com 0,5mL da água residuária e 5mL de caldo verde brilhante (VB) a 2%. Nos tubos de ensaio foram colocados tubos de Durhan invertidos para a observação de crescimento de coliformes totais, após 48h, em banho maria a 36ºC. Após o tempo indicado, foi observado se os tubos presuntivos apresentavam formação de gás. Simultaneamente foi realizada a confirmação de coliformes termotolerantes através da diluição das amostras de 0,5mL em 5mL de caldo com *Escherichia coli* (EC), servindo como meio confirmatório para coliformes termotolerantes, onde foram deixados em banho maria a 45ºC por 24 horas. Após esse período foi observado a formação de bolha de gás nos tubos de Durhan e a leitura dos tubos positivos e em seguida a obtenção do NMP foi feita através da tabela de Hoskins. A Figura 12 ilustra os tubos após a formação de gás.

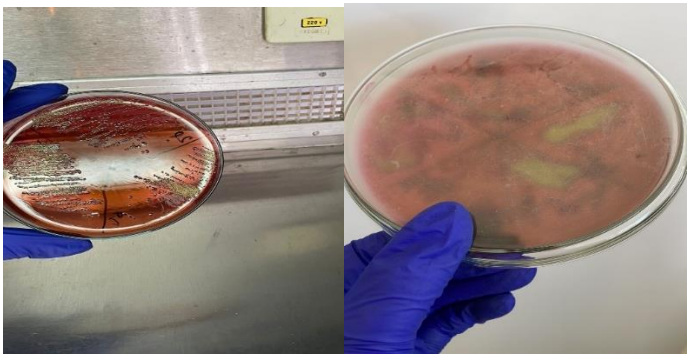
Figura 12. Formação de gás na solução de caldo VB (A) e caldo EC (B).



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Com os tubos positivados (que apresentaram formação de gás), foi realizada em seguida a etapa confirmativa, onde foi realizado o estriamento descontínuo em uma placa de petri contendo o meio de cultura Ágar EMB, para confirmar o cultivo das bactérias *E. coli*. O Ágar EMB quando inoculado com *Escherichia coli* demonstra crescimento com colônias de brilho verde-metálico, apresentados na Figura 13.

Figura 13. Cultura Ágar EMB apresentando crescimento de cultura *E. coli.*

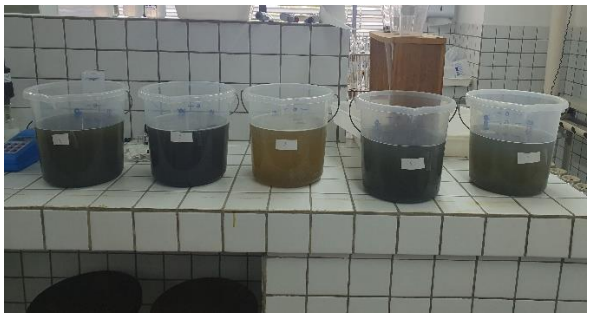


Fonte: Acervo pessoal (2023).

No Laboratório de Saneamento – LASAN/UFERSA a quantificação dos ovos de helmintos foi realizada baseando-se na metodologia de Bailenger modificada (Ayres; Mara, 1996), utilizando cinco litros de amostra por bairro selecionado, armazenando em baldes de sete litros (Figura 14) e deixando sedimentar por 24h. Antes de iniciar o processo, foram preparadas soluções de sulfato de zinco (33g de $ZnSO_4$ diluído em 100mL de água destilada), solução tampão aceto-acética com pH 4,5 (5g de acetato de sódio cristalino (NaO_2CCH_3),

3,6mL de ácido acético glacial (CH_3COOH), e completando o restante do volume com água destilada até atingir 1000mL) e solução de detergente Tween 80 (1mL diluído em 1 litro de água da torneira)

Figura 14. Amostras armazenadas em baldes de 7 litros.



Fonte: Acervo pessoal (2023).

Após as 24h de sedimentação, foi removido aproximadamente 90% do sobrenadante da amostra (restando aproximadamente 500ml), com o auxílio de uma mangueira, que serviu como sifão (Figura 15). Em seguida, foi transferido cuidadosamente o sedimento para os tubos da centrífuga, enxaguando o balde com a solução de Tween 80, e centrifugando-os a 1000rpm por 15 minutos.

Figura 15. Remoção do sobrenadante através de uma mangueira.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Após várias centrifugações de cada amostra, visto que o volume do tubo da centrífuga era inferior aos 500ml de sobrenadante restantes, os sobrenadantes foram descartados totalmente, e foi adicionada a solução tampão aceto-acética e éter para ressuspender o

sedimento contido no tubo. A homogeneização da amostra foi feita com o auxílio de um agitador Vortex. Após esse procedimento, as amostras foram novamente centrifugadas a 1000rpm por 15 minutos, onde a solução apresentou três fases: I) o fundo do tubo onde concentra todo o material gorduroso e fragmentos pesados, como os ovos de helmintos, II) uma fase intermediária contendo a solução tampão e III) uma fase superior contendo gordura e outros materiais que juntamente com o éter formam uma camada espessa e escura.

Após a segunda etapa de centrifugação o sobrenadante é novamente descartado, restando apenas o sedimento no tubo. Foi adicionado à solução de sulfato à amostra e em seguida homogeneizado com o auxílio do agitador Vortex. Dessa solução é retirada uma alíquota da amostra final, com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, e transferido para a câmara de McMaster; a câmara fica em repouso por cinco minutos para que os ovos flutuem e seja possível a observação dos ovos de helmintos no microscópio. O número final de ovos da amostra é calculado a partir da Equação 2.

$$N = \frac{A*X}{P*V} \quad (2)$$

Onde:

A – Número médio de ovos de helmintos contados nas câmaras de McMaster (ovos)

X – Volume do produto final (mL)

P – Volume da câmara de McMaster (a câmara utilizada possuía dois retículos então adotou-se P = 0,30mL)

V – Volume original da amostra (L)

N – Número de ovos de helmintos detectados (ovo/L)

4.6 Análise estatística

Os dados obtidos a partir das análises laboratoriais foram submetidos à estatística descritiva, obtendo-se a média, desvio-padrão, valores máximos e mínimos dos atributos químicos e microbiológicos das águas residuárias dos bairros selecionados do município de Mossoró – RN. Empregou-se a planilha de eletrônica do Microsoft Exel para a confecção dos diagramas de caixa.

4.7 Análise da viabilidade de reúso

Em relação à potencialidade de reúso das águas coletadas e analisadas para reúso urbano, agrícola e florestal, ambiental e aquicultura foi utilizado como padrão a Resolução COEMA n° 02/2017 (CEARÁ, 2017). Já para a potencialidade de reúso para irrigação, juntamente com suas devidas restrições, foi utilizado os padrões apresentados por Almeida (2010).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos químicos e microbiológicos das águas residuárias coletadas

Na Tabela 6 encontram-se as concentrações dos atributos químicos e microbiológicos das amostras das águas residuárias analisadas nos cinco bairros selecionados do município de Mossoró – RN, bem como os valores médios e desvio padrão destas variáveis.

Tabela 6. Atributos químicos e microbiológicos das amostras das águas residuárias dos bairros selecionados de Mossoró – RN.

Atributos	Unidade	Bairro 1	Bairro 2	Bairro 3	Bairro 4	Bairro 5	Média	Desvio-padrão
CE	µS/cm	935,50	909,70	965,20	971,90	985,80	953,62	27,43
Ca^{2+}	$mmolcL\text{-}^{1}$	3,57	2,90	2,27	2,46	1,71	2,58	0,62
Mg^{2+}	$mmolcL\text{-}^{1}$	1,60	1,16	1,09	0,90	0,22	0,99	0,45
Na^{+}	$mmolcL\text{-}^{1}$	21,10	9,20	18,30	13,40	16,80	15,76	4,11
CO_3^{2-}	$mmolcL\text{-}^{1}$	0	0,18	0,32	0	0	0,10	0,13
HCO_3^{-}	$mmolcL\text{-}^{1}$	3,48	5,39	6,79	4,45	0,95	4,21	1,96
Cl^{-}	$mmolcL\text{-}^{1}$	3,0	1,90	2,80	2,50	2,40	2,52	0,38
K^{+}	$mmolcL\text{-}^{1}$	5,60	3,70	2,90	1,80	2,50	3,30	1,30
pH	-	7,82	7,37	8,31	7,27	5,74	7,30	0,86
RAS	$(mmolcL\text{-}^{1})^{1/2}$	13,12	6,46	14,12	10,34	17,10	12,23	3,61
Ovos de helmintos	ovo/L	0	0	0	0,0097	0	0,002	0,004
CT	NMP/100mL	>1100	>1100	930	>1100	>1100	-	-

Nota: Bairro 1 – Santa Delmira; Bairro 2 – Aeroporto; Bairro 3 – Bom Jesus; Bairro 4 – Alto de Sumaré; Bairro 5 – Dom Jaime Câmara; CE – Condutividade elétrica; Ca^{2+} – Cálcio; Mg^{2+} – Magnésio; Na^{+} – Sódio; CO_3^{2-} – Carbonato; HCO_3^{-} – Bicarbonato; Cl^{-} – Cloreto; K^{+} – Potássio; pH – Potencial hidrogeniônico; RAS – Razão de adsorção de sódio; CT – Coliformes termotolerantes; NMP – Número mais provável.

Fonte: Autoria própria (2023).

O valor da condutividade elétrica apresentado em todos os bairros se encontra inferior ao limite de 3000 µS/cm, apresentado na Resolução COEMA n° 02/2017 (CEARÁ, 2017). Esses valores podem ser justificados por Almeida (2010), onde menciona que quanto maior o teor salino de uma solução, maior será a CE. A água com alta concentração de sais é característica do abastecimento da cidade devido às origens das águas, provenientes do aquífero

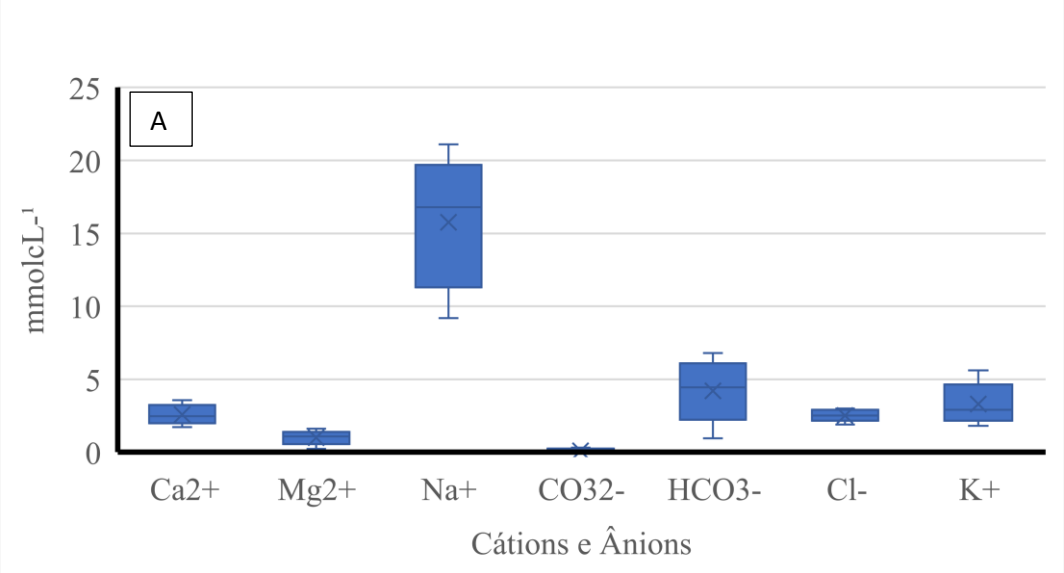
Jandaíra. Além disso, Lopes (2012) menciona que elevados valores de CE podem ocorrer em virtude de condições das regiões semiáridas como a presença da salinidade, evapotranspiração elevada e baixa precipitação.

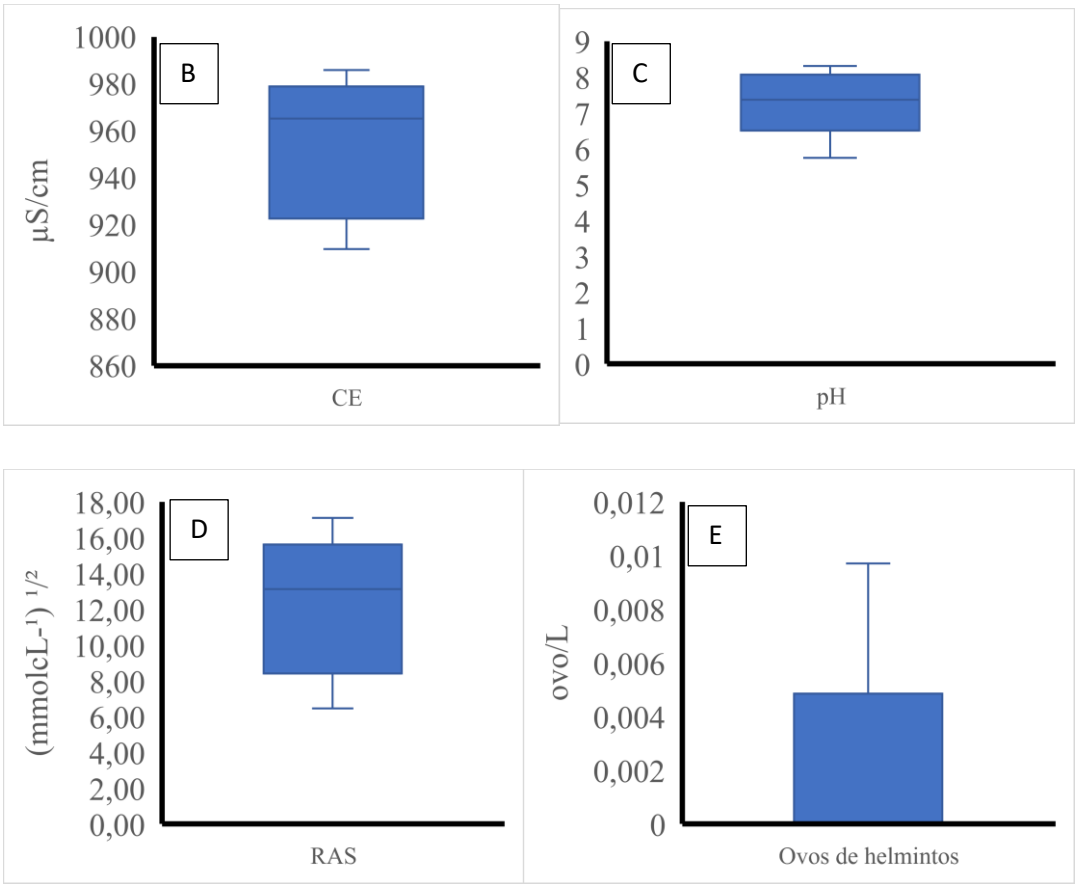
Os valores encontrados de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{+}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-}) e cloreto (Cl^{-}) estão de acordo com o que é observado por Almeida (2010), abaixo dos limites superiores indicados para uso na irrigação. Já o teor de potássio (K^{+}) encontra-se acima desse limite. Segundo Kujawa-Roeleveld e Zeeman (2006), o aumento do teor de potássio na água se dá pela presença de urina, fezes, e a realização de atividades domésticas que contribuem para a caracterização da água cinza, como lavar louças e roupas. Essa possibilidade tende a ser válida devido à presença de coliformes termotolerantes nas águas coletadas.

Com relação à Razão de Adsorção de Sódio (RAS), quantidade de ovos de helmintos e pH, verificaram-se concentrações que se apresentam de acordo com o observado por Almeida (2010) e o estabelecido pela Resolução COEMA n° 02/2017 (CEARÁ, 2017).

Além do desvio-padrão, o diagrama de caixa também apresenta a variação dos dados analisados a partir de informações como limite inferior, limite superior, média e mediana, ilustradas na Figura 16.

Figura 16. Diagrama de caixa dos dados referentes aos cátions e ânions (A), condutividade elétrica (B), pH (C), RAS (D) e ovos de helmintos (E).





Fonte: Autoria própria (2023).

Dentre os valores apresentados na Figura 16, destaca-se a alta variação do teor de sódio, condutividade elétrica e a Razão de Adsorção de Sódio. Em relação ao teor de sódio, essa alta variação pode ser justificada devido às atividades de lavagem de roupa e louça, que detém considerável concentração de sabões e detergentes, componentes esses que contribuem de maneira significativa no aumento do teor de sódio. Já em relação à condutividade elétrica, essa varia pelo teor de sais na água, como mencionado anteriormente, a água de abastecimento do município possui uma alta concentração de sais devido à sua origem. A Razão de Adsorção de Sódio apresenta alta variação nos resultados devido ao teor de sódio que já foi discutido anteriormente.

De maneira geral, a variação dos dados observados em cada bairro é justificada pois a caracterização dessas águas se dá pelo uso de uso de sabão e outros produtos para lavagem de corpo, roupa e limpeza no geral, além da possibilidade de concentração de fezes e/ou urina. A qualidade dessa água depende e varia de acordo com diversos fatores, como: quantidade de ocupantes da residência, faixa etária (se há crianças/bebês ou não), estilo de vida, classe social e costumes dos moradores, além da fonte da água. (Bazzarella, 2005). Eriksson *et al*. (2002)

ainda complementam que também contribuem para a qualidade da água a qualidade da água de abastecimento e o tipo da rede de distribuição. Como mencionado, a água de abastecimento do município possui um considerável teor de sal e isso possivelmente afetou e resultado das análises.

5.1.1 Viabilidade de reúso da água e uso para irrigação segundo a literatura e legislações vigentes

Vale a pena reforçar que os parâmetros para reúso (seja urbano, agrícola e florestal, ambiental e para aquicultura) são norteados pela resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017). Na Tabela 7 observam-se os valores médios das águas residuárias coletadas dos bairros do município de Mossoró – RN diante os padrões estabelecidos resolução da COEMA.

Tabela 7. Análise da potencialidade de reúso das águas residuárias coletadas nos bairros de Mossoró – RN, conforme os valores médios dos parâmetros avaliados por bairro, e seus respectivos valores de referência com base nas legislações vigentes.

Tipo de reúso	Atributos		Unidades	Padrões	Média dos bairros
Urbano	Coliformes Termotolerantes (CT)		NMP/100mL	até 5000	-
	Ovos de helmintos		ovo/L	até 1	0,00194
	Condutividade elétrica		µS/cm	até 3000	953,62
	pH		-	entre 6,0 e 8,5	7,302
Agrícola e Florestal	Coliformes Termotolerantes (CT)	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com água de irrigação	NMP/100mL	Não detectado (ND)	-
		Demais culturas	NMP/100mL	Até 1000	-
	Ovos de helmintos	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com água de irrigação	ovo/L	Não detectado (ND)	0,00194
		Demais culturas	ovo/L	até 1	0,00194
	Condutividade elétrica		µS/cm	até 3000	953,62
	pH		-	entre 6,0 e 8,5	7,302
	Razão de Adsorção de Sódio - RAS		$(mmolcL^{-1})^{1/2}$	até 15	12,228
Ambiental	Coliformes Termotolerantes (CT)		NMP/100mL	até 10000	-
	Ovos de helmintos		ovo/L	até 1	0,00194
	Condutividade elétrica		µS/cm	até 3000	953,62
	pH		-	entre 6,0 e 8,5	7,302
Aquicultura	Coliformes Termotolerantes (CT)		NMP/100mL	Até 1000	-
	Ovos de helmintos		ovo/L	Não detectado (ND)	0,00194
	Condutividade elétrica		até 3000 µS/cm	até 3000	953,62
	pH		-	entre 6,0 e 8,0	7,302
	Temperatura		ºC	Até 40	-

Nota: pH – Potencial hidrogeniônico; NMP – Número Mais Provável.

Fonte: Adaptado da Resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017) e Autoria própria (2023).

O número mais provável (NMP) de Coliformes Termotolerantes não apresentam valores de média na tabela acima pois o método adotado para a estimativa do NMP limita-se a um valor

máximo de >1100, valor esse atingido em quatro das cinco águas analisadas. Ao se verificar os valores do desvio-padrão (Tabela 6), estes são relativamente baixos, indicando baixo grau de dispersão dos dados encontrados. Nesse contexto, cabe considerar de forma individual os bairros escolhidos para verificar se a água residuária coletada atende aos limites exigidos pela resolução para o reúso. Dessa maneira, em relação a concentração de Coliformes Termotolerantes, apenas o bairro Bom Jesus apresentou padrões de acordo com o que exige a Resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017) para reúso urbano, agrícola e florestal (exceto para culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com água de irrigação), reúso ambiental e para aquicultura.

Em relação à quantidade de ovos de helmintos (Tabela 6), foram encontrados ovos em apenas uma das cinco amostras (Bairro Alto de Sumaré). Esse resultado inesperado pode ter ocorrido devido à baixa velocidade em que se encontravam as águas, sendo praticamente nula, semelhante a condição de ambiente lêntico. Uma velocidade muito baixa deixa os ovos suscetíveis ao processo de deposição, visto que a densidade dos ovos é superior à densidade da água. Os demais bairros apresentam padrões dentro do que estabelece a resolução nº 02/2017 da COEMA (Ceará, 2017) para os mesmos tipos de reúsos citados anteriormente.

Com relação ao pH, apenas o bairro Dom Jaime Câmara apresentou valor inferior ao padrão apresentado pela resolução (5,74), as outras amostras apresentaram valores inferiores a 8,5 e maiores que 6 (Tabela 6), atendendo aos padrões exigidos pela resolução nº 02/2017 da COEMA (Ceará, 2017).

Quanto à utilização da água residuária para irrigação, os valores utilizados como parâmetros são apresentados por Almeida (2010), e indicados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios dos atributos das águas cinzas analisadas.

Atributos	Unidade	Padrão	Média dos bairros
CE	µS/cm	0-3000	953,62
Ca^{2+}	mmolcL-¹	0-10	2,582
Mg^{2+}	mmolcL-¹	0-2,5	0,994
Na^{+}	mmolcL-¹	0-40	15,76
CO_3^{2-}	mmolcL-¹	0-0,1	0,1
HCO_3^{-}	mmolcL-¹	0-10	4,212
Cl^{-}	mmolcL-¹	0-30	2,52
K^{+}	mmolcL-¹	0-2	3,3
pH	-	6 - 8,5	7,302
RAS	(mmolcL-¹) ¹/²	0 - 15	12,228

Nota: CE – Condutividade elétrica; Ca^{2+} – Cálcio; Mg^{2+} – Magnésio; Na^{+} – Sódio; CO_3^{2-} – Carbonato; HCO_3^{-} – Bicarbonato; Cl^{-} – Cloreto; K^{+} – Potássio; pH – Potencial hidrogeniônico; RAS – Razão de adsorção de sódio.

Fonte: Almeida (2010) e Autoria Própria (2023).

A partir dos padrões apresentados na Tabela acima, para o teor de potássio, os bairros Santa Delmira, Aeroporto, Bom Jesus e Dom Jaime Câmara indicam que a água residuária analisada não poderia ser utilizada para irrigação. O alto teor de potássio provavelmente se justifica devido à presença de urina e/ou fezes. Além disso, o teor de carbonatos nos bairros Aeroporto e Bom Jesus também excedem os padrões. Para os demais parâmetros, encontram-se no intervalo indicado por Almeida (2010).

Segundo Bergmann (1992), as plantas têm a capacidade de suportar concentrações consideráveis de potássio sem manifestar distúrbios. No entanto, isso pode resultar em efeitos indiretos devido à carência de outros nutrientes, como magnésio e cálcio. Elevadas quantidades de potássio também têm o potencial de inibir a absorção de amônio, boro, zinco e manganês, desencadeando ou, pelo menos, contribuindo para a deficiência desses elementos.

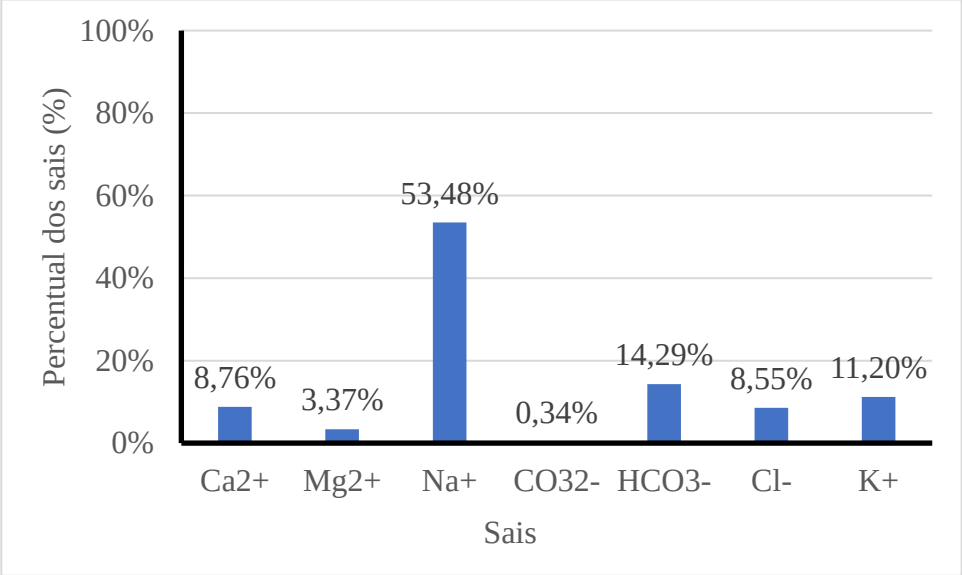
Uma alternativa para o elevado teor de potássio na água seria o plantio em solos mais arenosos, observando-se as características agronômicas da cultura. Werle *et al*. (2008) observaram que em solos de textura média, ou seja, mais arenosa que os argilosos, a intensidade da lixiviação tende a ser maior, significando menor capacidade de reter o potássio.

De acordo com Almeida (2010), a condutividade elétrica é o parâmetro da água de relevância para indicar se a mesma possui potencialidade de salinizar o solo, enquanto a Razão

de Adsorção de Sódio (RAS) denota a proporção relativa do sódio, competindo com o cálcio e o magnésio pelos lugares de intercambio no solo, portanto quando há predominância dos íons de sódio, a estrutura do solo poderá ser comprometida; diante dos resultados obtidos pelas águas analisadas, as mesmas não causarão problemas de salinização nem toxidade às plantas. Ayers e Westcot (1991) também classificam esse índice de condutividade elétrica encontrado com médio risco para salinidade e restrição de uso moderado para irrigação (entre 700 e 3000 µS/cm), conforme observado nas análises.

Apesar disso, a Figura 17 registra uma informação importante acerca da presença destes íons por meio do percentual médio dos sais analisados nas amostras, sendo em ordem crescente: CO_3^{2-} (0,34%), Mg^{2+} (3,37%), Cl^- (8,55%), Ca^{2+} (8,76%), K^+ (11,20%), HCO_3^- (14,29%) e Na^+ (53,48%).

Figura 17. Percentual dos sais analisados das amostras de águas residuárias em Mossoró – RN.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ainda que a concentração de sódio em mmolcL-¹ atenda aos padrões observados por Almeida (2010) para água de irrigação, o mesmo apresenta um alto teor em percentual quando comparado aos outros sais (cerca de 53,48%). A alta quantidade de sódio presente nas amostras pode estar associada aos detergentes e sabões utilizados nas atividades cotidianas, que trazem em sua composição o surfactante, podendo chegar a uma concentração de até 32% em sua composição (Osório e Oliveira, 2001).

Além disso, quando se trata do grau de restrição de uso da água de irrigação, Almeida (2010) também traz parâmetros em relação à salinidade (CE), infiltração (relacionando CE à RAS) e a toxicidade de íons específicos como sódio, cloro e bicarbonato, conforme a Tabela 9 a seguir.

Tabela 9. Grau de restrição para utilização das águas residuárias analisadas para irrigação.

Problema potencial	Unidade	Grau de Restrição de Uso			Média das águas residuárias
		Nenhum	Ligeiro a moderado	Severo	
Salinidade					
CE	µS/cm	<700	700 - 3000	>3000	953,62
Infiltração					
RAS = 12 - 20 e CE =	µS/cm	>2900	2900 - 1300	<1300	953,62
Toxicidade de Íons Específicos					
Sódio					
Irrigação por superfície	RAS	<3	3 - 9	>9	12,23
Irrigação por aspersão	$mmolcL^{-1}$	<6	>6		15,76
Cloro					
Irrigação por superfície	$mmolcL^{-1}$	<4	4 - 10	>10	2,52
Irrigação por aspersão	$mmolcL^{-1}$	<3	>3		2,52
Bicarbonato					
Aspersão foliar unicamente	$mmolcL^{-1}$	<1,5	1,5 - 8,5	>8,5	4,212

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1976) e autoria própria (2023).

A partir dos dados apresentados na Tabela 9 pode-se observar que para a CE, apresentam-se um grau de restrição de uso ligeiro a moderado para salinidade, e para a RAS encontrada entre 12 e 20 $(mmolcL^{-1})^{1/2}$, apresenta um grau de restrição severo em relação a infiltração no solo, em todos os bairros. Essa restrição pode ser justificada pois o emprego de águas residuárias caracterizadas com baixa condutividade elétrica e elevada RAS tem o potencial de causar acúmulo de sódio no solo e favorecer a dispersão de argila (Leal *et al*., 2009; Condé *et al*., 2013).

Em relação à toxidade dos íons específicos, os resultados observados na Tabela 9 indicam grau de restrição de uso severo para irrigação por superfície (RAS>9) e ligeiro a moderado para irrigação por aspersão ($Na^+ > 6\ mmolcL^{-1}$), para todos os bairros. Essa restrição pode ser justificada devido à significativa diminuição na permeabilidade do solo, exemplificada por Varalho *et al.* (2010) que investigaram as mudanças nos atributos físicos e químicos de um Latossolo após a aplicação de esgoto doméstico observando um aumento progressivo nos níveis

de sódio (Na^+). O excesso de sódio resultou na diminuição da permeabilidade do solo, levando a uma redução de aproximadamente 28% na condutividade hidráulica. Essa redução poderia dificultar o desenvolvimento das culturas devido à absorção comprometida de água e nutrientes, e aeração. Bedbabis *et al*. (2014) ainda complementam que a utilização de água residuária não apenas pode elevar a capacidade de retenção de água e reduzir a condutividade hidráulica do solo, como também propicia a dispersão da argila e a deterioração da estrutura do solo.

Em relação ao teor de cloro (Cl^-), dados os parâmetros observados na Tabela 9, tanto a irrigação por superfície quanto a irrigação por aspersão não apresentam nenhum grau de restrição de uso para irrigação. Já quanto ao teor de bicarbonatos, considerando unicamente a aspersão foliar, apresentam grau de restrição de uso ligeiro a moderado.

6. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos via ofício em relação à rede de esgoto do município de Mossoró – RN, foi possível realizar a espacialização das localidades com condições críticas quanto ao esgotamento sanitário, e identificar que cerca de dezessete dos trinta bairros do município contam com a cobertura parcial ou inexistente da rede coletora de esgoto.

Considerando a resolução nº 02/2017 da COEMA, apenas um dos cinco bairros analisados atende aos padrões estabelecidos para reúso urbano, agrícola e florestal (exceto para culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com água de irrigação), ambiental e para aquicultura.

Em relação à qualidade da água para irrigação, as águas residuárias coletadas dos bairros selecionados de Mossoró – RN apresentam potencial para utilização, exceto pelo potencial de K^+ em quatro dos cinco bairros, podendo ser corrigido através de tratamento ou condições específicas de manejo.

Em todos os bairros foi apresentada restrição de uso ligeira a moderada em relação à salinidade, restrição de uso severa em relação a infiltração no solo e toxicidade de íons específicos para o teor de sódio (Na^+) para irrigação por superfície, e um grau de restrição ligeiro a moderado em relação a irrigação por aspersão. Não foi apresentado nenhum grau de restrição de uso para irrigação em relação ao teor de cloro (Cl^-).

Por fim, para trabalhos futuros é importante a realização de outras análises, como a de metais pesados, DBO e DQO, para o reúso efetivo das águas residuárias, a depender da sua utilidade. Bem como a coleta e análise dos parâmetros com uma maior distribuição temporal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional das Águas - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília: ANA, 2015. 31 p.

Almeida, O. A. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 234p.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Moraes, J. L. G. Koppens climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 13.969**. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60p.

Ayers, R.; Mara, D. Analysis of wastewater for use in agriculture: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. Geneva, WHO, 1996. 35p.

Ayers, R.S., Westcot, D.W. **Water Quality for Agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1976. 97p.

Ayers, R.S.; Westcot, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB. 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29. rev.1)

Barreto, L. V. *et al*. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16; p. 21-79.2013.

Barros, H.M.M. *et al*. Reúso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 11-16, 2015

Bazzarella, B. B. Caracterização e Aproveitamento de Água Cinza para Uso não Potável em Edificações. 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

Bedbabis, S. *et al*. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 45-50, 2014.

Bergmann, W. **Nutritional disorders of plants**: visual and analytical diagnosis. 2.ed. Nova Iorque. Gustav Fischer Publishing House Jena, 1992, 741p.

BOYJOO, Yash; PAREEK, Vishnu K.; ANG, Ming. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science and Technology**, v. 67, n. 7, p. 1403-1424, 2013.

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – Brasília, 2021. 190p.

Brasil. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. DOU. Brasília, 2005.

Ceará. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. DOE, Fortaleza, 2002.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2003. Normas Técnicas Cetesb. Norma L5.202. Coliformes totais e fecais - determinação pela técnica dos tubos múltiplos: métodos de ensaio. São Paulo, CETESB, 39p.

Condé, M. S. *et al*. Impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um Latossolo Vermelho-amarelo. **Vértices**, v.15, n. 2, p. 161-178, 2013.

Corrêa, R. S.; Fonseca, Y. M. F.; Corrêa, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 420-426, 2007.

Serviço Geológico do Brasil, CPRM. Hidrogeologia do Aquífero Açu na Borda Lesta da Bacia Potiguar: Trecho Upanema-Afonso Bezerra. Relatório do Estado da Arte. Comportamento das bacias sedimentares da região semiárida do Nordeste Brasileiro. UFRN, 87p. 2006.

Dias, P. M. S.; Diodato, M. A.; Grigio, A. M. Levantamento fitossociológico de remanescentes florestais no município de Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 183-190, 2014.

Eriksson, E.; Auffarth, K.; Mogens, H. Ledin, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. v. 4, n.1, p. 58-104, 2002.

Ferreira, I. C. S.; Tôrres, L. M. G.; Peixoto, F. S. Uso da água subterrânea e situação sanitária das captações no bairro Abolição, Mossoró/RN. **Revista Geotemas**, v. 12, 2022.

Fiori, S.; Fernandes, V. M. C.; Pizzo, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Revista Ambiente Construído**, v.6, n.1, p. 19-30, 2006.

Hespanhol, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

Kujawa-Roeleveld, K.; ZEEMAN, G. Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 115–139, 2006.

Leal, R. M. P. *et al*. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 307-316, 2009.

Lopes, H. S. S. Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de águas residuárias domésticas para reúso no semiárido. 2012. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2012.

Medeiros, S. S. *et al*. Esgotamento sanitário: panorama para o semiárido brasileiro. 42 Campina Grande: INSA, 2014. 63p.

Metcalf, L.; Eddy, H. P. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. Tradução de Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. ed, Nova Iorque: McGraw-Hill; Porto Alegre: AMGH. 2016.

Neto, S. J. S. *et al*. Caracterização físico-hídrica de solos representativos da região do agropolo assu-Mossoró**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 17, 2012.

Nucci, N. L. R.; Lavrador Filho, J. Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. **Anais EPUSP. Série A: Engenharia Civil**, v. 1, n.3, p. 66-139, 1988

Osório, V. K. L; Oliveira, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. **Química Nova**, v. 24, p. 700-708, 2001.

Otterpohl, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water 21**. p. 37-41, 2001.

Ottoson, J.; Strenström, T. A. Feacal contamination nof greywater and associated microbial risk. **Water Research**. v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo: EMBRAPA, 2011, 69p.

Pinto, H.S. *et al*. A Crise Hídrica e suas Consequências. **Brasil: Núcleo de Estudo e Pesquisas, Senado Federal**. 32 p, 2014.

Prefeitura de Mossoró - PM, **Plano municipal de saneamento básico de Mossoró/RN**. Mossoró: PM, 42p. 2019.

Ribeiro, P. F. R. V.; Rezende, E. N. A obrigação de instalação doméstica de rede de esgoto frente ao novo marco do saneamento básico: estudo sobre as alterações promovidas pela Lei 14.026/2020. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**, v. 8, n. 1, 2022.

Rio Grande do Norte. Lei 11.332, de 30 de dezembro de 2022. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte. Diário Oficial do Estado do Rio grande do Norte. Natal, 31 dez. de 2022. Edição 15.337, pág. 01- 03.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, Ministério das Cidades; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico Temático, Serviços de Água e Esgoto.** Brasília, 2023.

Sousa, C. D. S. S.; Sousa, S. C. S.; Alvares, A. M. Diretrizes normativas para o saneamento básico no Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 43, p. 102-115, 2015.

Teixeira, M. D. S. *et al*. Impactos socioambientais provenientes do esgotamento sanitário a céu aberto. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 11, p. 849-858, 2018.

United Nations. The Millennium Development Goals Report 2015. New York: United Nations, 2015.

Werle, R.; Garcia, R. A.; Rosolem, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

World Health Organization – WHO. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. **Technical report series n. 517**. Genebra. WHO, 1973.