

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

CAMPUS GURUPI

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO HENRIQUE FERREIRA BARBALHO

**REÚSO DE ÁGUA CINZA ORIGINÁRIA DE MÁQUINA DE LAVAR DE USO
DOMÉSTICO PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

GURUPI - TO

2022

PEDRO HENRIQUE FERREIRA BARBALHO

**REÚSO DE ÁGUA CINZA ORIGINÁRIA DE MÁQUINA DE LAVAR DE USO
DOMÉSTICO PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal do Tocantins — Campus
Gurupi, como exigência à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Me. Danielma Silva Maia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B229r Barbalho, Pedro Henrique Ferreira
REÚSO DE ÁGUA CINZA ORIGINÁRIA DE MÁQUINA DE LAVAR
DE USO DOMÉSTICO PARA FINS NÃO POTÁVEIS / Pedro Henrique
Ferreira Barbalho. – Gurupi, TO, 2022.
33 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Gurupi, Gurupi, TO, 2022.

Orientadora: Ma. Danielma Silva Maia

1. Reúso de águas cinza. 2. Minicisterma. 3. Técnicas de baixo custo. I.
Maia, Danielma Silva. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

PEDRO HENRIQUE FERREIRA BARBALHO

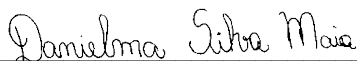
**REÚSO DE ÁGUA CINZA ORIGINÁRIA DE MÁQUINA DE LAVAR DE USO
DOMÉSTICO PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal do Tocantins — Campus
Gurupi, como exigência à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Me. Danielma Silva Maia

Aprovado em: 13/12/2022

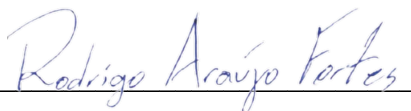
BANCA AVALIADORA



Me. Danielma Silva Maia

Orientadora

IFTO — Campus Gurupi



Me. Rodrigo Araujo Fortes

Banca examinadora

IFTO — Campus Palmas



Me. Daniel Ramos de Souza

Banca examinadora

Dedico a minha amada avó Raimunda Moreira de Moura, que não pode prestigiar tal feito em vida, mas torcia pelo meu sucesso acadêmico e pessoal, assim como de todos os seus netos.

AGRADECIMENTOS

Inicio agradecendo a Deus, por permitir que eu fosse à luta por meus objetivos. Aos meus amigos e familiares que foram responsáveis por me ajudar a lembrar de toda a minha capacidade, assim como estarem proporcionando bons momentos em meio a toda dificuldade nesses longos anos de faculdade. Agradeço também aqueles que contribuíram para que essa pesquisa fosse possível de ser realizada: a Vanessa Mattje, técnica do laboratório de química do IFTO-Campus Gurupi, e o professor Marcelo Pedroza, professor de química do IFTO-Campus Palmas, com todo o auxílio e orientação em relação ao uso dos laboratórios para que a metodologia correta fosse cumprida. E ao André Araújo, colega e amigo, que contribuiu com a parte prática da pesquisa. Ainda agradeço especialmente à minha orientadora Danielma Silva Maia por toda ajuda e esforço para que este estudo pudesse ter sido posto em prática.

RESUMO

A água é o elemento mais importante para nossa sobrevivência; por isso, a utilização da água de reúso torna-se uma importante alternativa para minimizar os impactos gerados pelas mais variadas causas. O objetivo do estudo foi estabelecer a implantação de uma minicisterna em uso residencial para aproveitamento da água da máquina de lavar de uso doméstico e, por um tratamento simplificado, alcançar a classe de reúso 3, segundo a NBR 13969:1997. Foram coletadas para o estudo amostras de águas cinza (AC) das etapas de enxágue e centrifugação das peças de roupas e, em seguida, armazenadas na minicisterna de 50 litros. Foram analisados os parâmetros de Turbidez, pH e Coliformes Totais da AC recém-gerada. Em seguida, a amostra foi submetida a um tratamento simplificado por meio do ensaio de coagulação com Sulfato de Alumínio (SA) em diferentes dosagens (30, 40, 50, 60, 70 e 80 mL de SA diluído para 2L de AC) e decantação de 1 hora; o intuito foi de atingir os níveis de Turbidez e Coliformes Fecais adequados para a classe 3 da norma. Segundo os resultados encontrados através do ensaio, a dosagem de 60 mL de SA (30 mL/L) atingiu o melhor valor de redução da turbidez com 97,32% de remoção da turbidez (2,26 μ T) e para os Coliformes Totais nada foi encontrado; sendo assim, para a NBR 13969:1997, a AC tratada possui a qualidade necessária para a classe de reúso buscada, assim como a minicisterna, aliada aos tratamentos, cumpre com a funcionalidade desejada.

Palavras-chave: ensaio de coagulação, minicisterna, tratamento.

ABSTRACT

Water is the most important element for our survival; therefore, the use of reused water becomes an important alternative to minimize the impacts generated by various causes. Therefore, the objective of the study was to establish the implementation of a minicistern for residential use to make use of water from the domestic washing machine and, through a simplified treatment, reach reuse class 3, according to NBR 13969:1997. For the study, graywater (GW) samples were collected from the rinsing and spinning stages of the clothes and then stored in the 50 liter minicistern. Turbidity, pH and total coliforms parameters of the newly generated GW. It were analyzed, and then the sample was submitted to a simplified treatment through chemical coagulation with Alum in different dosages (30, 40, 50, 60, 70 and 80 mL of AS diluted for 2L of GW) and decantation for 1 hour; in order to reach the levels of Turbidity and Fecal Coliforms appropriate for class 3 of the standard. According to the results found through the test, the dosage of 60 mL of AS (30 mL/L) reached the best value of turbidity reduction with 97.32% of turbidity removal (2.26 μ T) and for the Total Coliforms nothing was found; therefore, for NBR 13969:1997, the treated GW has the necessary quality for the class of reuse sought, as well as the minicistern, allied to the treatments, fulfills the desired functionality.

Keywords: chemical coagulation, minicistern, treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reaproveitamento de água de uma máquina de lavar por meio de uma minicisterna.....	19
Figura 2 - Minicisterna posicionada para receber a água da máquina de lavar.....	22
Figura 3 - Jar Test utilizado nos ensaios para o tratamento ao lado da minicisterna de águas cinza.....	24
Figura 4 - Amostras de AC com diferentes dosagens de Sulfato de Alumínio após decantação de 1 hora.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade observados do efluente recém gerado e do efluente após o tratamento.....	23
Tabela 2 - Características da água cinza bruta.....	27
Tabela 3 - Parâmetro de Turbidez (uT) da água cinza após diferentes dosagens de sulfato de alumínio.....	28
Tabela 4 - Dados obtidos das águas cinza bruta e tratada diante dos parâmetros da norma.....	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Águas Cinza
GW	Graywater
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número mais provável
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
rpm	Rotações por minuto
SA	Sulfato de Alumínio
μT	Unidade de Turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1. Tecnologias de aproveitamento de água.....	16
3.2 Reúso de água.....	16
3.3 Sistemas de cisternas.....	18
3.4 Água cinza.....	19
4. METODOLOGIA.....	21
4.1. Coleta da amostra de água cinza.....	21
4.2. Construção da minicisterna e armazenamento da água cinza.....	21
4.3. Caracterização da água cinza e tratamento.....	22
4.3.1. Metodologia do tratamento.....	23
4.3.2. Ensaio de coagulação.....	23
4.4. Classificação da NBR 13969:1997 quanto ao grau de tratamento necessário.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1. Caracterização da água cinza.....	27
5.2. Tratamento através do ensaio de coagulação.....	27
5.3. Análise da eficiência pós-tratamento.....	28
6. CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

A água é o patrimônio do nosso planeta, sendo o elemento mais importante para nossa sobrevivência. O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água doce do mundo, contudo, as dimensões geográficas e os diferentes climas inerentes a cada região resultam em escassez hídrica, onde a demanda de água nessas localidades é insuficiente para atender o elevado consumo.

A Organização das Nações Unidas (ONU Brasil, 2015) publicou um relatório onde diz que há o alerta de que, até 2030, a demanda mundial por água será 40% superior que a oferta. Conforme os dados que a Instituição publicou no mesmo relato, 748 milhões de pessoas em todo o planeta ainda não tinha acesso a fontes de água potável de qualidade. Além disso, até 2050, por consequência do aumento da população mundial, a agricultura terá a necessidade de aumentar a produção em 100% e, em relação à indústria, sua demanda por água aumentará 400%.

Neste sentido, a utilização da água de reúso torna-se uma importante alternativa para minimizar os impactos gerados pela escassez da água e pelo crescimento populacional desordenado. Lavrador Filho (1987) descreve que a 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”.

Tem-se como principal exemplo de água previamente utilizada a água cinza (AC), que pode ser originária de máquinas de lavar, chuveiros, lavatórios de banheiro, entre outros. A AC assume diversas formas de tratamento com a finalidade de reaproveitamento, que vão da adoção de técnicas de baixo custo às mais onerosas possíveis.

As práticas de reúso de água cinza tem o objetivo da utilização deste efluente em atividades que não demandam água potável, como irrigação paisagística, lavagem de automóveis, limpeza urbana, descargas sanitárias, entre outros. Cunha et al. (2011) ainda destaca que o reúso é implantar uma estação de tratamento da água originada de usos nobres, como máquina de lavar roupas e banho, e redistribuir para usos menos nobres como descargas e lavagens de pisos.

É importante, no entanto, que essas práticas atinjam o conhecimento de toda a população e que, além disso, estejam também ao alcance delas, independente da classe social.

Quando se trata de tratamento de água cinza e seu reúso, observa-se que o custo elevado é encontrado em métodos convencionais, tornando-se o principal obstáculo para adoção destas práticas. Por isso, é essencial a existência de iniciativas que disseminem informações quanto às técnicas de baixo custo que podem ser implantadas em edificações convencionais, incentivando assim a população às práticas de reúso e implantação de técnicas mais acessíveis, resultando na economia da água.

Portanto, o estudo proposto se firma no ato promover a implantação de uma técnica de baixo custo de reservatório de águas previamente utilizadas em domicílio, especificamente para as águas oriundas da máquina de lavar, propondo um tratamento simplificado com intuito de conseguir adequar a água cinza armazenada aos parâmetros correspondentes a classe 3 da NBR 13969/1997.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Tem-se como objetivo o reaproveitamento da água cinza originária de uma máquina de lavar de uso doméstico, a partir da realização de um tratamento simplificado deste efluente de forma que viabilize o reúso enquadrado na Classe 3 de reúso, segundo a NBR 13969:1997.

2.2. Objetivos Específicos

- Promover a implantação de uma técnica de baixo custo de reaproveitamento da água da máquina de lavar de uso doméstico (minicisterna);
- Realizar o tratamento simplificado da água cinza coletada;
- Realizar a avaliação qualitativa através de ensaios de determinação dos parâmetros de turbidez e coliformes totais da água cinza bruta e posteriormente da água cinza tratada;
- Classificar o reúso de água , indicando a destinação final deste, conforme as diretrizes da NBR 13969:1997.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Tecnologias de aproveitamento de água

Grande parte da população em geral vive concentrada nos grandes centros, gerando pressão nos recursos hídricos. Além disso, a água precisa percorrer cada vez maiores distâncias para suprir a necessidade crescente e ainda atender aos padrões de qualidade (SHUBO, 2012). Por isso, faz-se necessário o uso de novos meios de captação de água, visto que a crescente demanda de água potável precisa ser suprida.

As tecnologias de aproveitamento de água se apresentam como uma solução sustentável e colaboram para o uso racional da água. Kobiyama et al. (2005) cita a captação e utilização da água da chuva e de águas salinas como algumas das opções quando falamos sobre essas tecnologias, assim como a reutilização de água. A primeira delas é uma escolha de aproveitamento interessante visto que, independente da classe social, as chuvas estarão disponíveis a todos naquele ambiente acometido pelas mesmas.

A dessalinização, apesar de ser uma técnica milenar, o alto custo do processo e as altas demandas energéticas e materiais sofisticados acabam inviabilizando seu uso. Já o reúso de água é o ato de dar um novo proveito a uma água previamente utilizada, desde que a mesma atenda o grau de qualidade para a função. Dessa forma, o uso da água potável seria apenas para os usos mais nobres, visto que a demanda menos restritiva foi atendida (KOBİYAMA et al., 2005).

3.2. Reúso de água

A água é um direito garantido a todos. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) visa motivar o uso racional deste recurso. É necessário, contudo, a consolidação do entendimento do reúso de água como instrumento adicional de gestão de recursos hídricos e a difusão desse conhecimento à população para que sua prática seja mais presente no cotidiano dos usuários (CARACIOLO, 2008).

Cunha et al. (2011) considera o reúso como um ato que agrega benefícios à vida humana e ao meio ambiente. Presente desde os tempos da Grécia antiga mas regularizado

apenas no século XX (GIACCHINI, 2011), o reúso de água é relevante e se insere como uma das atividades ligadas ao uso racional e eficiente das águas, trabalhando em prol da proteção à saúde pública e ao meio ambiente.

A classificação do reúso se dá em categorias que abrangem suas próprias especificações (RODRIGUES, 2005). Quanto ao método, temos o reúso indireto — o qual é o reúso das águas após ela ser devolvida aos corpos hídricos, seguido do primeiro uso (modalidade não contemplada por regulamentação, visto que toda água residual lançada no corpo hídrico é considerada recurso hídrico); o reúso direto, sendo a reutilização da água sem lançamento prévio aos corpos hídricos e desenvolvido de maneira planejada; e também classifica-se como reúso intencional e não intencional a depender da ciência da condição das águas utilizadas.

Classifica-se, ainda, em relação ao uso final das águas de reúso: para usos urbanos, divididos em dois grupos a depender do grau de qualidade da água (para fins potáveis e não potáveis); para usos industriais que se apresentam como reúso macro externo — composto por indústrias que recebem abastecimento de estações de tratamento já que estão próximas das mesmas, visando a redução de custos com construção de redes muito extensas — e temos o reúso macro interno, demonstrado de duas normas diferentes. A primeira é denominada de reúso em cascata, onde o efluente já utilizado por uma indústria é utilizado por um processo subsequente, desde que apresente a qualidade requerida para o uso seguinte; o segundo é o denominado reúso de efluentes tratados, que possui um processo semelhante ao anterior, porém, necessita passar por um tratamento para atingir o padrão de qualidade para o próximo uso (RODRIGUES, 2005).

Em alguns países o reúso de água já é uma prática habitual, existindo diversos padrões deste sistema adotados nestes locais. Entretanto, aqui no Brasil, estas práticas ainda são preliminares. O reúso, operacionalmente, permite substituir grandes volumes de água destinados a usos nos quais a potabilidade não é fator preponderante (JEFFERSON et al., 2000).

Acerca da implantação de sistemas de reúso da água, Giacchini (2011) ressalta a importância de que o desenvolvimento dos sistemas seja seguro e que atendam o padrão de qualidade adequado a cada tipo de uso. Ademais, quanto aos sistemas de reúso de águas servidas ou cinza, a autora descreve a dificuldade da inserção desses sistemas em edificações

residenciais devido os custos de implantação e manutenção. Diante disso, nota-se que a disseminação de técnicas de baixo custo de reúso de água é importante e necessária.

3.3. Sistemas de cisternas

Uma cisterna, seja ela enterrada (modelo de alvenaria) ou apresentada em um modelo mais compacto e portátil (fibra de vidro ou plástico), é um depósito ou reservatório com a função de captar, guardar e conservar a água recebida, sendo ela potável ou oriunda das chuvas ou reúso. Salienta-se que seu uso é interessante visto que, independentemente de sua área disponível, a mesma é um instrumento que possibilita a economia da água provinda dos mananciais (ECYCLE, 2022).

Silva et al. (1984) separa a composição das cisternas em três elementos, sendo eles denominados como área de captação, que é o espaço que coletará a água e encaminhará à cisterna — como exemplo temos os telhados que funcionam como a área de captação das chuvas; sistema de filtragem, parte fundamental para a garantia da boa qualidade da água, por isso adota-se o uso de filtro no interior da cisterna; e o tanque de armazenamento, que funciona como a estrutura do reservatório em si, dimensionado a depender da necessidade e visando o suprimento da mesma.

Existem modelos de minicisterna que viabilizam o reúso da água da máquina de lavar roupa, como o demonstrado na figura 1 (ECYCLE, 2022). Conforme Akatu (2015), o reaproveitamento da água de uma lavadora de 5 kg gera uma economia de água suficiente para reduzir em 5% o consumo mensal de água de uma casa.

Figura 1 — Reaproveitamento de água de uma máquina de lavar por meio de uma minicisterna



Fonte: ECYCLE(2022)

Segundo Oliveira Júnior et al. (2019), o sistema de minicisterna pode ser aplicado com uma fabricação caseira, utilizando insumos comuns e baratos, com capacidade expansível conforme o número de recipientes disponíveis. Neste sentido, com a tecnologia de minicisternas há a possibilidade de construção de baixo custo, uma vez que os materiais são encontrados em lojas de materiais de construção.

3.4. Água cinza

A água cinza é um tipo de água de reúso originário de atividades domésticas, ou seja, oriunda de banhos, máquina de lavar roupa, louças, pias de banheiro e lavatórios. Esta, não deve conter urina e nem fezes, o que implicaria em ser caracterizada como águas negras.

A composição das águas cinza são um reflexo do estilo de vida e do tipo e quantidade de produtos químicos usados em limpeza, banhos e lavagem de roupas, segundo Peprah et al. (2018). Fatores que também influenciam nas características deste efluente são a distribuição e qualidade da água potável, bem como as atividades que a água cinza é gerada.

Especificamente quanto se trata das águas cinza geradas em lavanderias, Mohamed (2011) cita como principais características das águas provenientes das máquinas de lavar automáticas: alto potencial hidrogeniônico (pH), água mais quente, presença de alvejantes, nitrato, óleo e graxas, demanda de oxigênio, salinidade, sabões, sólidos suspensos e alta turbidez; tais características variam de intensidade a depender do ciclo de lavagem a ser analisado.

É interessante salientar ainda que Gonçalves (2006) afirma que de toda a água potável consumida, aproximadamente 40% é utilizada em fins não potáveis, sendo que Shouler et al. (1998 apud Lazarova et al., 2003) ressalta que em residências, aproximadamente 30% da água potável é utilizada em descargas sanitárias (água de consumo menos nobre) e esse percentual sobe a 60% quando se trata de edifícios comerciais. Dados como esse viabilizam a ideia de que a AC, em um sistema implantado, seria uma solução para a diminuição do uso de água potável nessas circunstâncias.

4. METODOLOGIA

Inicialmente o projeto se dedicou a pesquisa bibliográfica, com intuito de buscar fundamentação para a proposta desenvolvida no decorrer do trabalho. Com base nas revisões bibliográficas estudadas buscou-se sustentação para o desenvolvimento e execução da minicisterna. O projeto tem como referência principal o “Manual para aproveitamento emergencial de águas cinza do banho e da máquina de lavar” (ALVES et al., 2016), onde o autor esclarece questões sobre as características da água cinza, assim como instrui o manejo do insumo advindo de todas as suas possíveis fontes em uma residência. A metodologia de execução da minicisterna, tratamento e o conteúdo das análises físico-químicas são descritos a seguir.

4.1. Coleta da amostra de água cinza

A amostra de água cinza foi coletada em uma máquina de lavar de uso doméstico. Observou-se *in loco* que as principais peças de roupas lavadas são de uso cotidiano, onde os produtos utilizados para execução da limpeza foram sabão em pó e amaciante.

A máquina de lavar roupas possui 3 ciclos de lavagem que geram a água cinza (lavagem, enxágue e centrifugação). A água proveniente da etapa de lavagem pode ter coloração muito cinza e liberar odor após 12h de armazenamento e as águas do enxágue e centrifugação de lavadora podem ser armazenadas por mais tempo (ALVES et al., 2016). Neste sentido, considerou-se para o estudo, a amostra de AC coletada proveniente do enxágue e centrifugação das peças de roupas, por possuir um período de armazenamento superior ao primeiro ciclo devido às suas características.

4.2. Construção da minicisterna e armazenamento da água cinza

O modelo de minicisterna escolhido para execução do projeto foi o desenvolvido por Urbano (2018), com adaptações na estrutura de receber a água, já que o sistema foi originalmente desenvolvido para recolher água de chuvas através de uma calha.

Para a construção da minicisterna foi necessário uma bombona (reservatório) de 50 litros, com a finalidade de proporcionar o armazenamento do efluente, além da execução de um furo para instalação do adaptador soldável onde uma torneira de 3/4" fixada pode ser acoplada. A torneira ficou localizada a 15 cm de altura em relação a sua parte inferior. A bombona foi posicionada ao lado da máquina de lavar em uma base totalmente apoiada, com altura de 45 cm (figura 2).

Figura 2 — Minicisterna posicionada para receber a água da máquina de lavar



Fonte: Autor (2022)

A minicisterna foi posicionada ao lado da máquina de lavar, onde a mangueira que sai da máquina foi direcionada para a abertura superior deste reservatório. Após atingir a capacidade máxima, a bombona foi fechada. É interessante ressaltar que o sistema de minicisterna implantado, permite o armazenamento da AC, onde o efluente fica protegido da luz, em situação de repouso e temperatura ambiente.

4.3. Caracterização da água cinza e tratamento

Os parâmetros de qualidade da água residuária de uso doméstico de máquina de lavar se deu por meio da metodologia adotada na tabela 1, realizada no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Água do IFTO-Campus Palmas. A avaliação simplificada ocorreu em dois momentos: caracterização do efluente recém-gerado e caracterização após o tratamento da água coletada.

Tabela 1 — Parâmetros de qualidade observados do efluente recém gerado e do efluente após o tratamento

Parâmetros avaliados	Metodologia
Turbidez	Turbidímetro
pH	Eletrométrico
Coliformes Totais	Colilert

Fonte: Autor (2022)

4.3.1 Metodologia do tratamento

Com a finalidade de melhorar os parâmetros de turbidez da amostra coletada, foi empregado o método de coagulação como tratamento do efluente. Libânio (2010) define coagulação como a desestabilização das partículas coloidais e suspensas por ações físicas e químicas entre estas partículas, a água e o coagulante. Desta forma, o Sulfato de Alumínio (SA) foi o coagulante escolhido para o tratamento, no qual, após adicionado na amostra, tende a formar flocos (floculação) após uma leve agitação, sedimentando as partículas no interior do recipiente por meio da decantação e assim, melhorando as características de cor e turbidez do efluente.

4.3.2. Ensaio de coagulação

Os ensaios desta etapa foram realizados com o aparelho “Jar Test”, Marca Ethiktechnology, modelo 218-3LDB (figura 3). O equipamento possui dispositivo que permite que a velocidade de rotação da mistura seja controlada.

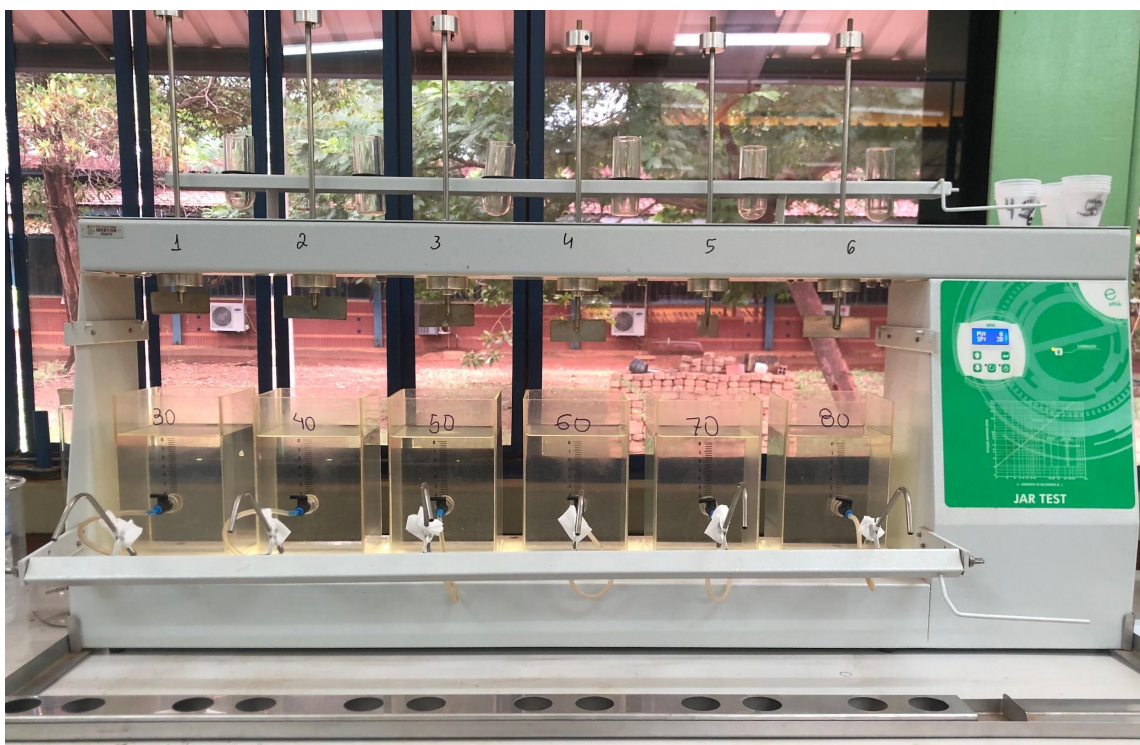
Figura 3 — Jar Test utilizado nos ensaios para o tratamento ao lado da minicisterna de águas cinza



Fonte: Autor (2022)

Inicialmente, houve a correção do pH da AC bruta com ácido clorídrico, para que a amostra se encontrasse com valores de pH próximos à neutralidade. O sulfato de Alumínio foi diluído na proporção de 1% em relação ao seu solvente (água destilada), sendo que foram usados 10 g/L do coagulante. Conforme a Figura 4, nos 6 recipientes foram adicionados 2 L da AC com 6 dosagens distintas do coagulante SA (30 mL, 40 mL, 50 mL, 60 mL, 70 mL e 80 mL). Promoveu-se uma mistura em duas velocidades, sendo elas a 165 rpm por 3 minutos (mistura rápida) e 30 rpm por 15 minutos (mistura lenta), respectivamente. Ademais, houve o processo de decantação pelo período de 1 hora. Portanto, este foi o tempo de sedimentação das partículas sólidas mais densas. A fim de comparar com as informações colhidas, em seguida, realizou-se a análise dos parâmetros de **Turbidez e Coliformes Totais**.

Figura 4 — Amostras de AC com diferentes dosagens de Sulfato de Alumínio após decantação de 1 hora



Fonte: Autor (2022)

4.4. Classificação da NBR 13969:1997 quanto ao grau de tratamento necessário

Em um de seus tópicos, a NBR 13969:1997 estabelece o grau de tratamento necessário para esgotos a depender do tipo de reúso, sendo eles todos para fins de utilização de água não potável. As classes de uso são:

- 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 cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferiores a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
- Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.

- Classe 3: Reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL.
- Classe 4: Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L.

Para a pesquisa desse trabalho de conclusão de curso, a classe 3 é o grau a ser alcançado, visto que a norma descreve as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas como capazes de satisfazer este padrão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização da água cinza bruta

Na Tabela 2 são demonstrados os resultados encontrados referente às variáveis analíticas de potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez da AC bruta observada. Os valores encontrados na pesquisa foram comparados e discutidos com dados de outros autores.

Tabela 2 — Características da água cinza bruta

Variável Analítica	Amostra desta pesquisa	Outros autores	
		Maia (2021)	Pedroza et al. (2021)
pH (-)	9,86	9,1	9,8
Turbidez (uT)	84,4	110	170

Fonte: Autor (2022)

O número encontrado referente ao pH da água cinza bruta desta pesquisa apresenta um valor próximo ao encontrado pelos demais autores, sendo todos eles de caráter básico, segundo a escala de potencial hidrogeniônico. Já no parâmetro de turbidez, o valor apresentou um número relativamente menor que o apresentado por Maia (2021) e Pedroza et al. (2021), ainda é um grau de turbidez considerado elevado, fator que justifica a condição de necessidade de tratamento.

5.2. Tratamento através do ensaio de coagulação

O tratamento ocorreu em 6 variações das amostras de águas cinza, onde foi empregado o coagulante Sulfato de Alumínio diluído nas concentrações de 30, 40, 50, 60, 70 e 80 mL para 2 litros de AC, respectivamente. É importante ressaltar que o pH foi reduzido a condições próximas da neutralidade (7,83), visto que o SA demonstra maiores remoções de turbidez, quando os valores de pH estão próximos da neutralidade (FERNANDES et al., 2010).

Tabela 3 — Parâmetro de Turbidez (uT) da amostra de água após diferentes dosagens de sulfato de alumínio

Água cinza 2 (L)	Variável Analítica	Dosagens de Sulfato de Alumínio					
		30 mL	40 mL	50 mL	60 mL	70 mL	80 mL
Amostra	pH (-)	-	-	-	4,61	-	-
	Turbidez (uT)	10,2	3,67	2,45	2,26	2,4	2,27

Fonte: Autor (2022)

Segundo a Tabela 3, observa-se que todas as dosagens do coagulante após a sedimentação das partículas apresentaram redução na variável turbidez, sendo que o resultado mais expressivo foi alcançado pela amostra com 60 mL (30 mL/L) de SA (cerca de 97,32% de remoção da turbidez). O valor obtido no teste é bastante expressivo, visto que o mesmo encontra-se abaixo do valor máximo permitido de turbidez na água potável distribuída, o qual é de 5,0 unidades de turbidez, segundo o site da Sabesp. Ademais, Pavanelli (2001) corrobora em sua dissertação aos dados que foram apresentados na Tabela 3 quando afirma que nem sempre as maiores dosagens do coagulante proporcionarão o melhor resultado de remoção.

5.3. Análise da eficiência pós-tratamento

Na Tabela 4 são apresentados os resultados alcançados pela melhor variável do tratamento comparada aos valores da AC bruta, assim como aos parâmetros a serem alcançados definidos pela NBR 13969:1997.

Tabela 4 — Dados obtidos das águas cinza bruta e tratada diante dos parâmetros da norma

Variável Analítica	Água cinza bruta	Água Cinza tratada	Parâmetro NBR 13969:1997
pH (-)*	7,42	4,61	-
Turbidez (uT)	84,4	2,26	< 10
Coliformes Totais (NMP/100mL)	ND	ND	500

*Valor de pH após correção

ND= Nada encontrado

Fonte: Autor (2022)

Conforme apresentado na Tabela 4, a turbidez apresentada pela AC bruta não permite que a mesma se encaixe na classe 3 de classificação quanto ao tratamento da norma observada no estudo, enquanto a AC tratada apresentou condições mais que suficientes em relação ao mesmo parâmetro. Acerca dos coliformes totais, o colilert apontou a inexistência dos mesmos, evidenciando que tal parâmetro se apresenta abaixo dos 500 NMP/100mL necessários para que a amostra pudesse ser considerada adequada para o uso da classe buscada. É interessante ressaltar que para as águas distantes do pH ótimo de crescimento das bactérias (6,5 a 7,5), assim como a amostra após o tratamento referente à pesquisa, tendem a apresentar uma baixa concentração de coliformes, segundo as análises de Silva (2011).

Dessa forma, a água cinza tratada nesta pesquisa através ensaio de coagulação enquadra-se como de classe 3; o tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção — sendo eles tratamentos propostos pela norma — não foram necessários para atingir o padrão buscado pela classe 3. Ademais, se sabe que para ser possível atingir os padrões referentes às outras classes, outros ensaios devem ser efetuados, como o de oxigênio dissolvido para atender o segundo requisito da classe 4, visto que os coliformes estão conforme permitido pela norma. Portanto, tem-se esta como uma sugestão para análises futuras.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio dos resultados obtidos com a pesquisa, é possível concluir que:

Temos a minicisterna como um reservatório que cumpre com sua funcionalidade, visto que a mesma apresenta a área de captação, mesmo que simplificada; apresenta um sistema de tratamento que cumpre com a finalidade proposta e armazena de maneira que o líquido coletado não fica exposto ao contato com o Sol ou mosquitos, além do fato de ser móvel, possibilitando seu transporte. O tratamento da água cinza utilizando do método da coagulação com Sulfato de Alumínio (30 mL/L) com o pH previamente neutralizado foi satisfatório, removendo cerca de 97,32% da turbidez e alcançando o padrão de qualidade exigido pela classe 3 de uso quanto ao grau de tratamento necessário, o tornando próprio para reúso nas descargas dos vasos sanitários.

Ademais, sabe-se que a aplicação desse sistema de forma simplificada implicaria em uma forma manual de dar as descargas (por meio de recipientes), por isso faz-se necessário um estudo futuro acerca da viabilidade de um sistema de automação, onde a água coletada abasteceria diretamente as bacias sanitárias.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- AKATU. Dicas para reaproveitar água em casa. 2015. Disponível em <<https://akatu.org.br/dicas-para-reaproveitar-agua-em-casa>> Acesso em 24 de maio de 2022
- ALVES, Wolney Castilho et al. Manual para aproveitamento emergencial de águas cinza do banho e da máquina de lavar. **São Paulo: IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**, v. 32, 2016.
- CARACIOLO, P. M. de M. A práticas de reuso de águas: possibilidades do estímulo pela política nacional de recursos hídricos e instrumento adicional de gestão. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE. 2008.
- CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H. de; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; SILVA, S. M. da C. e. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. Enciclopédia livre, Centro Científico, Goiânia, 2011, v. 7, n. 13, p. 1225 – 1248.
- ECYCLE. **Cisterna: o que é, como funciona e benefícios**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/cisterna/>. Acesso em: 12 maio 2022.
- FERNANDES, N. M. G. et al. Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, p. 375–384, 2010.
- GONÇALVES, R. F. Uso Racional da Água em Edificações – Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando a redução do consumo de água e da infraestrutura de coleta, especialmente nas periferias urbanas. PROSAB, Vitória – ES, 2006
- GIACCHINI, M. Uso e Reúso da Água. Série de Cadernos Técnicos. CREA-PR, 2011.
- JEFFERSON, B., LAINE, A., PARSONS, S., STEPHENSON, T. & JUDD, S., 2000. Technologies for domestic wastewater recycling. Urban Water, 285-292.
- KOBIYAMA, Masato; CHECCHIA, Tatiane; SILVA, Roberto Valmir da. Tecnologias alternativas para aproveitamento de águas. **Florianópolis: UFSC/CTC/ENS**, 2005.
- LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o entendimento do reúso planejado de água e algumas considerações sobre a suas possibilidades no Brasil. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LAZAROVA, V.; HILLS, S; BIRKS, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology: Water Supply*. v. 3, n. 4, pp. 69-77, 2003

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas: Átomo, 2010.

MAIA, Danielma Silva. Aproveitamento do carvão ativado obtido da casca de castanha de caju no processo de tratamento de águas cinzas. 2021. 90f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2021.

MOHAMED, W. A. Grey Water Recycling & Reuse. Egyptian-German Private Sector Development Programme (PSDP), Cairo-Egypt, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, Lourival Batista de; QUIRINO, Alessandra Cristina; SOUZA, Técia Cristina Carvalho de. **DESENVOLVIMENTO LOCAL COM TECNOLOGIAS SOCIAIS: CISTERNAS**. Juiz de Fora: Grupo Educacional Tutorial, 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>> Acesso em 12 de maio de 2022.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEDROZA, M. M.; NEVES, L. H. D.; PAZ, E. C. S.; SILVA, F. M.; REZENDE, C. S. A.; COLEN, A. G. N.; ARRUDA M. G. Activated charcoal production from tree pruning in the Amazon region of Brazil for the treatment of gray water. *Journal of Applied Research and Technology*, v.19, n.1, p. 49-65, fevereiro 2021.

PEPRAH, M. O.; ACHEAMPONG, M. A.; VRIES, N. K. Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception - a Review. US National Library of Medicine – National Institute of Health, 2018. Disponível em: . Acesso em: 03 de maio de 2022.

RODRIGUES, Raquel dos Santos. **As dimensões legais e institucionais do reuso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reuso no Brasil**. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SABESP. **Qualidade da água tratada:** entenda os parâmetros analisados. Entenda os parâmetros analisados. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=40>. Acesso em: 14 dez. 2022.

SHUBO, Tatsuo. **Novas tecnologias de saneamento buscam reaproveitamento de água:** drenagem sustentável combate o desperdício e protege o meio ambiente. Drenagem sustentável combate o desperdício e protege o meio ambiente. 2012. Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globoecologia/noticia/2012/09/novas-tecnologias-de-saneamento-buscam-reaproveitamento-de-agua.html>. Acesso em: 14 maio 2022.

SILVA, A. S.; PORTO, E. R.; LIMA, L. T.; GOMES, P. C. F. Captação e conservação de água da chuva para consumo humano: Cisternas rurais; dimensionamento, construção e manejo. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 103p, 1984.

SILVA, Michele Cláudia da. SAZONALIDADE DE ORGANISMOS COLIFORMES EM ÁGUA DE POÇO NA BACIA DO CÓRREGO JOÃO DIAS, AQUIDAUANA-MS. In: WORLD WATER CONGRESS, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2011, Porto de Galinhas. **Anais [...]** . Porto de Galinhas: Iwra, 2011.

URBANO, E. Projeto experimental de aproveitamento de água da chuva com a tecnologia da minicisterna para residência urbana. 2018. Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/minicisterna/minicisterna.htm>. Acesso em: 17 mai. 2022.