



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

YAN FERNANDES GABINO

**COAGULAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUA CINZA PROVENIENTE DE LAVANDERIA DE
ROUPA INDUSTRIAL EMPREGANDO O POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) VISANDO
REDUÇÃO DE TURBIDEZ**

PALMAS – TO
2021

YAN FERNANDES GABINO

**COAGULAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUA CINZA PROVENIENTE DE LAVANDERIA DE
ROUPA INDUSTRIAL EMPREGANDO O POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) VISANDO
REDUÇÃO DE TURBIDEZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil da Unidade Palmas, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS – TO

2021

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

G113c Gabino, Yan Fernandes
COAGULAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUA CINZA PROVENIENTE DE
LAVANDERIA DE ROUPA INDUSTRIAL EMPREGANDO O
POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) VISANDO REDUÇÃO DE
TURBIDEZ / Yan Fernandes Gabino. – Palmas, TO, 2021.
37 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Reúso. 2. Água Cinza. 3. Sustentabilidade. I. Pedroza, Marcelo
Mendes. 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).

YAN FERNANDES GABINO

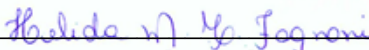
**COAGULAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUA CINZA PROVENIENTE DE LAVANDERIA
DE ROUPA INDUSTRIAL EMPREGANDO O POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC)
VISANDO REDUÇÃO DE TURBIDEZ**

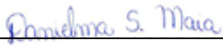
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil da Unidade Palmas, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 25/06/2021

BANCA EXAMINADORA


Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador e Presidente da Banca
Instituto Federal do Tocantins


Esp. Danielma Silva Maia
Membro da Banca
Instituto Federal do Tocantins


Dra. Helida Monique Cordasso Fagnani
Membro da Banca
Instituto Federal do Tocantins

A minha família e amigos, dedico.

“Tudo é vario. Temporário. Efêmero. Nunca
somos, sempre estamos.”

(Chico Buarque)

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida. Pela saúde e a capacidade de desenvolver este estudo.

Aos meus pais, Marly e Carloman, e avós, Leocádia e Jacinto, por todo apoio durante toda a vida.

À minha companheira, Maria Gabriela, pelo incansável companheirismo de todos os dias. Pela tranquilidade transmitida e o amor dedicado a nós.

Aos meus irmãos biológicos e de coração, Maisa, Maíra, Guilherme, Marcus e Victor, pelas conversas e risadas por toda vida.

Ao meu orientador, Marcelo Mendes Pedroza, por toda dedicação e conhecimento compartilhado, com suas considerações e sugestões na confecção final deste estudo.

Aos amigos desta estrada, Felipe, Henrique, Guilherme, Eduardo, Chrystian e Leonardo, pelos trabalhos e provas durante a faculdade e os momentos de lazer.

Aos meus colegas de trabalho, Fernando e Deldi, que muito contribuíram para a minha formação profissional.

À minha banca avaliadora, Helida e Danielma, pelo tempo dedicado a avaliação deste estudo, pela participação na banca de defesa e considerações na produção final deste trabalho.

RESUMO

FERNANDES GABINO, Yan. **Coagulação química de água cinza proveniente de lavanderia de roupa industrial empregando o policloreto de alumínio (PAC) visando redução de turbidez.** 2021. 37p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

Uma das estratégias utilizadas para o uso sustentável dos recursos hídricos é o reúso de águas cinzas em fins não potáveis. Sendo assim, entre as águas cinzas, as advindas de máquinas de lavar são as que apresentam maior facilidade de tratamento por suas características intrínsecas, físicas, químicas e microbiológicas. Esse estudo teve por objetivo a remoção da turbidez de amostras de águas cinza de lavanderia industrial através do coagulante policloreto de alumínio. Para isso, o planejamento experimental escolhido foi delineamento composto central rotacional (DCCR) com onze tipos de combinação entre dois fatores, dosagem do coagulante e tempo de sedimentação. Após tabulação dos dados, estes foram submetidos às análises de variâncias e teste de regressão para todas as características avaliadas. Os melhores resultados na remoção de turbidez, por meio do coagulante policloreto de alumínio e, tendo como base de avaliação os parâmetros, dosagem do reagente e tempo de sedimentação, ocorreu no ensaio 04 com níveis de 1 e 1 (250 mg/L e 40 minutos), com 7 uT, condutividade de 309 μ S e pH de 5,9. Com a eficiência na remoção da turbidez, o reúso de águas cinza poderá ser efetivo para atendimentos aos pressupostos estabelecidos dos órgãos governamentais.

Palavras-chave: Reúso, águas cinzas, sustentabilidade.

ABSTRACT

One of the strategies used for the sustainable use of water resources is the reuse of graywater for non-potable purposes. Thus, among the gray waters, those from washing machines are the easiest to treat because of their intrinsic physical, chemical, and microbiological characteristics. The objective of this study was to remove turbidity from graywater samples from industrial laundries using the coagulant aluminum polychloride. For this, the experimental design chosen was a central composite rotational design (DCCR) with eleven types of combination between two factors, coagulant dosage and sedimentation time. After data tabulation, they were submitted to analysis of variance and regression test for all evaluated characteristics. The best results in the removal of turbidity, by means of the coagulant aluminum polychloride and, having as base of evaluation the parameters, dosage of reagent and sedimentation time, occurred in the test 04 with levels of 1 and 1 (250 mg/L and 40 minutes), with 7 uT, conductivity of 309 μ S and pH of 5.9. With the efficiency in the removal of turbidity, the reuse of graywater can be effective to meet the requirements established by government agencies.

Key-words: Reuse, graywater, sustainability

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Principais poluentes encontrados nas águas cinzas.....	21
Tabela 02 - Classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos conforme reuso.....	25
Tabela 03 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial.....	27
Tabela 04 – Níveis dos fatores empregados no planejamento experimental, durante a coagulação química de água cinza.....	27
Tabela 05 – Resultados dos parâmetros turbidez (Ut), pH e Condutividade (μ S) nos níveis estabelecidos para esse estudo de dosagem (mg/L) e tempo de sedimentação (min).....	30
Tabela 06 – Coeficientes de regressão das variáveis dosagem do coagulante (mg/L) e tempo de sedimentação (min).....	31
Tabela 07 – Análise de Variância (ANOVA) dos parâmetros determinados para avaliar a remoção de turbidez de amostras de águas cinza.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ilustração da transição entre águas negras e águas cinza - escuras e claras, <i>adaptado</i> de Mohamed (2011), Allen et al. (2010) e Eriksson et al. (2002).....	19
Figura 02 - Composição média em percentual do esgoto doméstico gerado no Brasil.....	22
Figura 03 – Localização da cidade de Palmas no estado do Tocantins – Brasil (A); Localização da Lavanderia Industrial Lavesin®	26
Figura 04 – Coleta da amostra de água cinza proveniente de lavanderia industrial de Palmas - TO (A); Ajuste do pH com valores próximos à neutralidade (B).....	26
Figura 05 – Teste de coagulação das amostras de águas cinza no equipamento <i>Jartest</i> (A); Processo de floculação após adição do policloreto de alumínio em amostras de águas cinza (B).....	28
Figura 06 – Medição da condutividade em amostras de águas cinza (A); Aparelho turbidímetro modelo 2100q usado para determinação da turbidez nas amostras de águas cinzas (B).....	28
Figura 07 - Representação do Diagrama de Pareto para as variáveis dosagem do coagulante e tempo de sedimentação para remoção de turbidez em amostras de águas cinza.....	31
Figura 08 – Modelo de regressão linear para remoção de turbidez pelos parâmetros avaliados.....	32
Figura 09 – Gráfico de superfície de resposta da gerada pelo método de regressão linear para remoção da turbidez.....	33
Figura 10 – Amostra de água cinza bruta à direita e amostra de água cinza tratada com policloreto de alumínio para remoção da turbidez.....	33
Figura 11 – Tabela de reúso de águas cinza de acordo com a turbidez.....	34

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Águas Cinza
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
Art.	Artigo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
IN	Instrução Normativa
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
L	Litro
mg	Miligrama
mL	Mililitro
NBR	Norma Brasileira
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Unidade Nefelométrica de Turbidez)
pH	Potencial Hidrogeniônico
rpm	Rotações Por Minuto
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
ufc	Unidade Formadora de Colônia
uT	Unidade de Turbidez
WWAP	World Water Assessment Programme

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 PROBLEMA DE PESQUISA	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 OBJETIVOS	16
4.1 Objetivo Geral	16
4.2 Objetivos Específicos	16
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
5.2 Definição De Águas Cinza	18
5.3 Reuso de Água e Efluentes	19
5.4 Vantagens do Tratamento e Reúso das Águas Cinza	20
5.5 Composição das águas cinza	21
5.6 Tratamento das águas cinza: Coagulação, Floculação e Sedimentação	23
5.7 Legislação e Normalização Quanto ao Reúso de Água	24
6 MATERIAIS E MÉTODOS	26
6.1 Local De Estudo	26
6.2 Coleta De Dados	26
6.3 Planejamento Experimental: Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).....	27
6.4 Teste de Coagulação/Floculação/Decantação	28
6.5 Análise Dos Dados	29
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

O descaso humano com o meio ambiente, especialmente com a água, está cada vez mais notável. Por muito tempo o ser humano acabou poluindo e utilizando as fontes de recursos naturais, sem maiores preocupações com a sua renovação ou, até mesmo, com o seu uso de forma consciente.

O aumento populacional acompanhado pelas mudanças climáticas globais vem contribuindo para a elevação na demanda pelos recursos hídricos. Embora a água existente seja um recurso renovável, ela tende a se deteriorar em função do seu uso indiscriminado o que compromete consequentemente a quantidade de água com qualidade disponível para consumo nas diversas localidades (PHILIPPI, 2007 *apud* HESPANHOL & MAY).

Esta preocupação tem se mostrado crescente e, aos poucos, está forçando a sociedade a rever as suas práticas perante o uso e gerenciamento dos recursos naturais. Os recursos hídricos fazem parte desta lista que, por muito tempo, foram explorados sem precedentes.

No Brasil, ainda que haja, casos não são muito notáveis, medidas que sejam relacionadas à sustentabilidade ambiental. Torna-se, portanto, de fundamental importância a elaboração de projetos que garantam essa sustentabilidade e priorizem a preservação de recursos que sejam pouco renováveis ou que a sua renovação não atenda a demanda populacional de consumo.

Para que o problema com a escassez de água seja minimizado, também é de suma importância que a população tome consciência do uso racionalizado deste bem tão precioso para a vida humana.

Neste sentido, a técnica empregada neste estudo é o reuso de águas cinzas, que está no presente estudo, é a do reúso das águas cinzas, onde, após o tratamento, podem ser usadas para descarga na bacia sanitária da mesma residência ou outra, ou para a lavagem de pisos e garagens, até mesmo para a irrigação dos jardins.

Reusar a água é aproveitar a água residual recuperada, através da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carregada em uso anterior, e usá-la novamente, em aplicações menos exigentes que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo da natureza em favor do balanço energético (METCALF & EDDY, 2003 *apud* HESPANHOL & MAY).

De acordo com a organização California Graywater Standards, as águas cinzas são resíduos líquidos não tratados originados de edificações residenciais, sem contato com resíduos originados da bacia sanitária. Henze & Ledin (2001) dividem as águas provenientes do esgoto em duas categorias: águas cinzas e águas negras.

As águas negras são as águas providas da bacia sanitária. Já as águas cinzas são águas residuais provenientes de chuveiros, de lavatórios, de máquinas e tanques de lavar roupas, pias de cozinha e máquinas de lavar louça. Porém, vale ressaltar que, é obrigatória a passagem das águas provenientes da pia de cozinha e da máquina de lavar louças pela caixa de gordura, para que a retenção de óleos e graxas ocorra. Neste trabalho será abordado a caracterização e o tratamento de turbidez somente das águas cinzas provenientes de lavanderias.

As águas cinzas provenientes da lavagem de roupas podem apresentar concentrações que variam de 10^7 UFC/100mL (primeira lavagem), até apenas 25 UFC/100mL (no caso de segunda lavagem de máquina de lavar) de coliforme termotolerante. A concentração de produtos químicos é alta devido aos sabões empregados que contém: sódio, fosfato, boro, surfactantes, amônia e nitrogênio. Apresentam também sólidos em suspensão e turbidez elevada e a demanda por oxigênio por ser alta, pode causar danos ambientais e a saúde se for lançada no solo sem tratamento.

Água cinza, é caracterizada por ser uma transição entre a água límpida, potável e a água negra, o esgoto sanitário. Ressalvas devem ser feitas para casos específicos como as lavagens de fraldas ou roupas usadas em ambiente hospitalar, mas geralmente as águas servidas em lavanderias estão isentas de coliformes e demais patógenos.

No tratamento das águas cinza, especialmente no semiárido brasileiro, diversas técnicas são recomendadas, porém o uso conjunto de tanque séptico e filtro orgânico e reator ultravioleta artificial destacam-se (CUNHA, 2018). Os principais motivos pelos quais o uso conjunto destas técnicas se destaca são: eficiência elevada na remoção de poluentes, baixo custo de instalação e operação e, ausência de produtos químicos em alguma fase do tratamento.

Utiliza-se água potável para a realização da atividade principal das lavanderias e a água servida resultante desse processo, apesar de conter surfactantes e matéria orgânica, é passível de ser tratada domesticamente para destinação em demais usos considerados menos nobres, como a lavagem de pisos, irrigação de jardins e descargas em vasos sanitários.

O tratamento de águas cinza visando reuso poderá ser considerado um processo intermediário, que contém tanto características do tratamento de esgoto quanto do tratamento de água. Apesar das características das águas cinza não a identificarem como esgoto bruto, ela também não pode ser caracterizada como uma fonte ideal de água bruta, por possuir na sua composição nutrientes e compostos que podem dificultar o seu tratamento.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho será aplicar o coagulante policloreto de alumínio no processo de coagulação/floculação de água cinza de lavanderia industrial visando remoção de turbidez e assim seu reúso em fins não potáveis.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

A crescente demanda dos recursos hídricos devido ao aumento populacional acompanhado de mudanças climáticas globais já é pauta de diversas discussões ao redor do mundo. Embora a água existente seja um recurso renovável, ela tende a se deteriorar em função do seu uso indiscriminado o que compromete consequentemente a quantidade de água com qualidade disponível para consumo nas diversas localidades.

A deterioração dos mananciais se agrava quando o aumento populacional se acentua. Destarte, emergem-se problemas referentes ao abastecimento hídrico que denotam preocupação de populações e autoridades pelo mundo. O risco de uma oferta de água de má qualidade, crescem os custos para o tratamento da água além de estiagens.

Em conjunto com a preservação do meio ambiente sob todos os seus aspectos, a necessidade de economizar água vem sendo apontada como alternativa para se contornar o problema da escassez.

Desta forma é necessário que haja uma gestão integrada do recurso água, incentivando-se o seu uso racional favorecendo o desenvolvimento de sistemas sustentáveis como forma de prevenção contra o carecimento.

A água de reuso é uma opção correta do ponto de vista ambiental, já que contribui para diminuição da captação e consequente redução nas vazões de lançamento de efluentes. Segundo dados do programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, do total de água consumida no Brasil são: 66,1% irrigação; 0,9% mineração; 9,1% abastecimento urbano; 11,6% uso animal; 0,3% termelétricas; 9,5% indústria e 2,5% abastecimento rural, totalizando uma média anual de 1.101 m³/s. Desta forma o incentivo a economia de água domiciliar se tornará bastante produtivo.

Entretanto, para que a água de reuso possa ser utilizada deve-se levar em conta a questão da saúde pública. Tendo em vista que nessas águas há um número expressivo de microrganismos patogênicos e outros contaminantes. Já existem padrões para reuso em alguns países do mundo que fazem do reuso de água, uma prática habitual. Entretanto, aqui no Brasil, estas práticas são preliminares.

Não se trata de pensar em curto prazo, mas sim em médio prazo quando provavelmente, a exemplo do que está acontecendo em outros estados brasileiros, poderá faltar água de qualidade para consumo. Neste sentido o reuso das águas cinzas, que são as águas provenientes de todas as atividades domésticas com exceção de fontes de águas negras tais como sanitários bidês e urinol, vem sendo estudadas com vistas ao reuso tanto em irrigação como em sanitários.

3 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que o reúso de águas cinzas possibilitam a redução do consumo de água potável e residuária que seguiria para fossas sépticas ou estações de tratamento de esgotos. Fato que geraria minimização de energia, de produtos químicos para as tubulações e resíduos produzidos. (PIDOU et al., 2007).

Ao verificar, portanto, o elevado descarte de água que são utilizadas em lavanderias de grandes centros urbanos, percebe-se que há um certo descuido quanto à possibilidade de aproveitamento de um recurso, que aliás já se encontra em carência.

No caso de lavandeiras que atendem um público com alta demanda, estas em suas atividades, utilizam águas de poços tubulares profundos, que não passam por processo de tratamento, e lançam toda a água residuária na rede de esgoto. Para este trabalho, a escolha foi afirmada pela facilidade no tratamento para fins não potáveis.

A análise das características do efluente e a definição dos requisitos de qualidade requeridos para o reúso desejado é que definem o tipo de tratamento necessário e adequado para cada tipo de água cinza. (USEPA, 2012).

Há a necessidade, portanto, de se caracterizar o efluente das lavanderias e verificar as características obtidas após serem submetidas a diversos tipos de tratamento para definição do enquadramento em possíveis usos.

Ainda, são necessárias pesquisas para que a regulamentação da prática de reúso da água cinza seja realizada a partir de critérios técnicos bem definidos e adequados. Em vista do exposto, esse estudo vislumbra a possibilidade de reúso das águas cinza geradas em lavanderias comerciais e industriais da cidade de Palmas-TO.

Espera-se que os resultados obtidos com esse estudo, possam ser usados pelos proprietários das lavanderias para amparar alterações nas suas instalações hidrossanitárias, visando esse reúso. E também para que os resultados possam embasar legislações municipais ou estaduais futuras.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é aplicar o coagulante policloreto de alumínio no processo de coagulação/floculação de água cinza de lavanderia industrial visando remoção de turbidez e assim seu reúso em fins não potáveis.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as águas cinzas brutas;
- Aplicar o coagulante policloreto de alumínio no processo de coagulação/floculação de água cinza;
- Avaliar a remoção de turbidez do processo.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Conceitos Básicos do Reuso da Água

A expressão “reuso de água” não é atual e há uma amplitude de trabalhos que envolvam essa pauta. Entretanto, é importante destacar que esse, depende dos fins de uso e de seu emprego anterior (PHILIPPI JR., 2007).

O conceito de reúso de águas cinza é empregada em certas atividades como, por exemplo, utilizar para lavagem de um piso a água usada no enxágue de roupas. De acordo com Angelakis et al. (2015), a primeira evidência histórica de reúso de água para irrigação remonta à Idade do Bronze em Creta, aproximadamente há 5000 anos. Na história mais recente, remonta aos anos 1500 a 1800 experiências com o que se chamava “sewage farms” (fazendas de esgoto – tradução livre). Estas fazendas eram utilizadas com o objetivo de proteção da saúde pública e o controle de poluição, pois usavam o esgoto como fonte de nutrientes para a agricultura.

A definição de Mierzwa & Hespanhol (2012) diz o seguinte: “uso de efluentes tratados ou não para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis”. Segundo a citação, o reúso é a utilização de efluentes tratados para fins não potáveis, proporcionando economia financeira, redução na captação e minimização de esgotos.

Ainda segundo esses autores, a prática de reúso deve estar vinculada a outras medidas de racionalização do uso de água e demais recursos, pois esta, é um componente do gerenciamento de água e efluentes e da preservação dos recursos hídricos naturais.

Dependendo do país onde são adotadas, as modalidades de reúso variam consideravelmente. Abaixo, seguem alguns conceitos, segundo Silva (2000) *apud* Fiori (2005):

- Reuso Indireto Não Planejado: ocorre quando a água já utilizada, uma ou mais vezes, é descarregada no meio ambiente, sendo diluída e utilizada novamente a jusante de maneira não intencional, não planejada e não controlada. Caminhando ao encontro do ponto de captação do novo usuário, a mesma está sujeita a ações naturais do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração);
- Reuso Indireto Planejado: ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada;
- Reuso Direto Planejado de Água: ocorre quando o efluente depois de tratado é descarregado diretamente no local onde ocorrerá o reúso, não sendo descarregado no meio ambiente;
- Reciclagem de Água: é o reúso interno da água, antes da sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Estas tendem assim, como fontes suplementares de abastecimento do uso original.

Com o crescente interesse pelo tema sobre reuso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), publicou a Resolução 54, em 2005, a qual estabelece os critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água.

Com essa resolução, foram definidas cinco modalidades de reuso de água: i - para fins urbanos; ii - para fins agrícolas e florestais; iii - para fins ambientais; iv - para fins industriais e; v - reuso na aquicultura.

O primeiro passo é a definição do uso final para a água de reuso, pois é ele que vai definir o tipo de tratamento (podendo ser um ou mais tratamentos), potencialmente adequado (s). A escolha final de tratamento requerida é resultado de um estudo que tem que ser feito caso a caso (SANTOS, 2003).

Para que a água possa ser reutilizada, ela deve atender a alguns parâmetros de qualidade da água que são pré-estabelecidos para o seu determinado uso. Sendo assim, é indispensável o conhecimento das características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias.

Os parâmetros de qualidade da água e o objetivo específico final de uso estabelecem os níveis de tratamentos mais recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção do sistema que se encontram associados a isso.

Portanto, o reuso de água, seja para qualquer fim for, depende da sua qualidade física, química e microbiológica, ou seja, os parâmetros de qualidade necessários para o uso dependem da finalidade pela qual a água de reuso de destina (FIORI, 2005).

5.2 Definição De Águas Cinza

A Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) traz no seu Art. 2º as seguintes definições (BRASIL, 2005):

- I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II - reúso de água: utilização de água residuária;
- III - água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- IV - Reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Dentre as águas residuárias, destacam-se as águas cinza (AC), assim denominadas por terem uma aparência de coloração entre a água potável (límpida) e o esgoto bruto (marrom escuro). As águas cinza são as águas residuárias usadas em chuveiros, banheiras, máquinas de lavar e pias de cozinha, sem o esgoto sanitário proveniente das bacias sanitárias, e que por

conterem menos patógenos e menos nitrogênio que o esgoto sanitário (água negra), são passíveis de reciclagem (ABEDIN & RAKIB, 2013).

Segundo Otterpohl (2001) acrescenta ao conceito de águas negras (blackwater) e águas cinza (greywater) os termos: águas amarelas para efluentes representados somente pela urina e águas marrons para efluentes representados somente pelas fezes. Eriksson et al. (2002) dividem as águas cinza em águas cinza claras e escuras, considerando águas cinza claras as provenientes do chuveiro, lavatório e máquinas de lavar roupas e as águas cinza escuras, as provenientes da pia da cozinha e máquinas de lavar pratos, pois possuem gorduras em sua composição (Figura 01).



Figura 01 - Ilustração da transição entre águas negras e águas cinza - escuras e claras, *adaptado* de Mohamed (2011), Allen et al. (2010) e Eriksson et al. (2002).

Allen et al. (2010) consideram essas subdivisões das águas cinza de acordo com a composição provável delas, sendo que as AC provenientes do uso de pias de cozinha e lavadoras de louça são passíveis de terem maior concentração de matéria orgânica, óleos e graxas, além de bactérias e por isso as denomina "AC escura"(SIDIBE, 2014).

Há que ser salientado também que os diversos aparelhos sanitários (pias e ralos do chuveiro) acabam por propiciar eventuais usos que contaminam as águas cinza (por exemplo urina no ralo do chuveiro). Portanto, apesar de consideradas como passíveis de reúso, não pode ser descartada a possível presença de bactérias patogênicas (RAMPELOTTO, 2014).

5.3 Reuso de Água e Efluentes

A demanda humana excede, e muito, a disponibilidade de água potável na Terra, causando a escassez de recursos hídricos especialmente nos grandes centros urbanos (MIERZWA & HESPANHOL, 2012). A causa disso, entre outros fatores, é a distribuição irregular das precipitações pluviométricas: algumas regiões recebem mais chuvas do que outras. Enquanto parte da população vive em regiões que recebem altos volumes de precipitações, outras já não possuem o mesmo ambiente.

Devido a divisão climatológica mundial, as regiões semiáridas e áridas são as mais prejudicadas (PHILIPPI JR., 2007). Há casos em que os responsáveis pelo abastecimento público de água veem como uma opção a exploração por novas fontes de captação e tratamento de água. Segundo Mierzwa & Hespanhol (2012) esta, não é a melhor opção, pelo menos a curto prazo, por tais razões:

- a) Custo final da água aumenta para os consumidores;
- b) Comprometimento dos recursos hídricos, caso não haja estrutura compatível para a coleta e tratamento dos esgotos gerados;
- c) Sistema de transporte for muito extenso, as chances de perdas de água se elevam ao longo do trajeto e;
- d) Transposição de água de uma região para outra é dificultada devido a organização das várias regiões hidrográficas em comitês de bacias.

Ainda que a atividade de importação de água de outras regiões prevaleça, são necessárias alternativas que priorizem a conservação deste recurso. Apesar da adoção de medidas que visam a otimização e a redução do consumo de água, medidas que praticam o reúso de água são imprescindíveis, para que o uso deste recurso delongue (MIERZWA & HESPANHOL, 2012)

5.4 Vantagens do Tratamento e Reúso das Águas Cinza

Segundo Fiori et al. (2006) embora o Brasil possua um dos maiores patrimônios hídricos do planeta, o reúso de águas cinza tem se tornado necessário. Indicam o uso de construções sustentáveis, com substituição de parte da água potável por uma de qualidade inferior para fins não nobres, reduzindo a demanda sobre os mananciais. Consideram ainda que cabe ao Estado institucionalizar, regulamentar e promover o reúso de água para que a prática use técnicas adequadas e seja economicamente viável.

O reúso das águas cinza não somente reduz o consumo de água potável, como também reduz o volume de água descartada na rede de esgoto. Langergraber & Muellergger (2005) consideram um dos grandes problemas dos tratamentos de esgoto a mistura de quantidades comparativamente pequenas de substâncias potencialmente prejudiciais com grandes quantidades de água.

Hespanhol (2008) considera que as águas cinza, adequadamente tratadas, apresentam certo potencial de reúso para fins não potáveis. E apresenta como principais vantagens do seu tratamento: a pequena variação de vazão durante o ano, facilidade de coleta e menor

concentração de carga orgânica e de organismos termotolerantes, exigindo, portanto, níveis de tratamento inferiores ao de esgotos sanitários.

5.5 Composição das Águas Cinza

A composição das águas cinza é 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). A qualidade da água potável e o tipo de distribuição também afetam as características das águas cinza. Também há importantes variações na composição das águas cinza dependentes da variação entre água consumida e água cinza gerada em cada atividade.

Normalmente, as águas cinza contêm altas concentrações de matéria orgânica facilmente degradável. Isso inclui nutrientes como os nitratos e fósforo e seus derivados, além de microrganismos como coliformes fecais, *Salmonella*, dentre outros. Peprah et al. (2018) afirmam ainda que a composição de uma água cinza é, portanto, de difícil previsão, especialmente quando se considera que ela ainda pode eventualmente conter produtos farmacêuticos, aerossóis, tintas e metais pesados como chumbo, níquel, cádmio, cobre, mercúrio e cromo em quantidades consideráveis. Abaixo na Tabela 01 é possível observar as prováveis contaminações.

Tabela 01 - Principais poluentes encontrados nas águas cinzas

FONTE	POLUENTES	TÍPICOS RISCOS ASSOCIADOS
Banheiros	Contaminação fecal e urina; Produtos químicos provenientes de sabões utilizados; Cabelo, células, óleo; Produtos farmacêuticos; Água quente.	Bactérias e vírus que causam doenças podem sobreviver por longo período de tempo no meio ambiente; Urina é geralmente estéril a não ser em caso de infecções urinárias; Amônia pode ser benéfica para algumas plantas.
Máquinas de lavar	Detergentes Desinfetantes	Detergentes são prejudiciais a plantas e solo melhor utilizar com baixos níveis de salinidade e alcalinidade e que não aumentem o pH; Desinfetantes que eliminam microrganismos podem

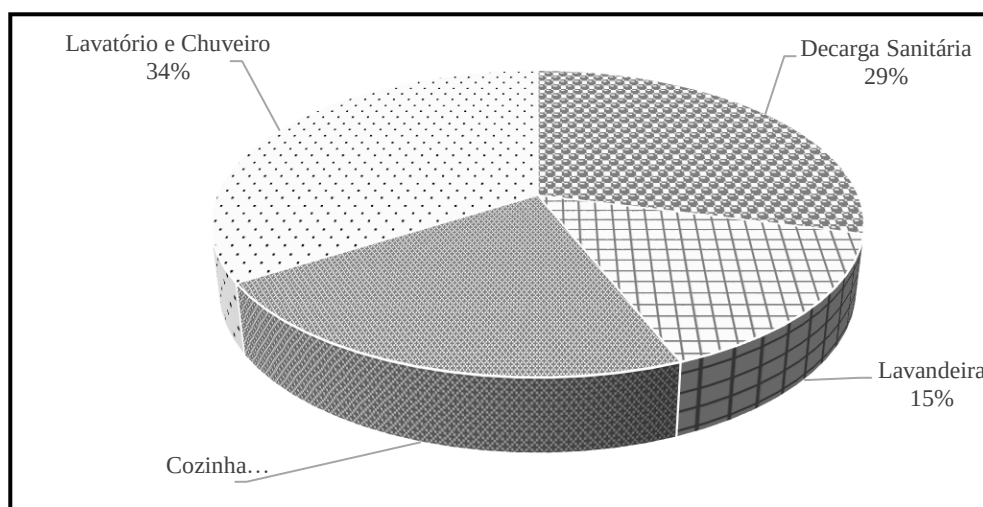
	Contaminação fecal	acabar com a microflora do solo; Água quente pode matar os microrganismos do solo que são fundamentais para a vida das plantas.
Cozinha	Partículas de alimentos Óleos e graxas Detergentes	As águas da cozinha não devem ser utilizadas no reuso porque detém alta concentração de contaminantes; Gorduras não são digeridas rapidamente pelos microrganismos do solo e repelem a água.

Fonte: EPA Victoria (www.epa.vic.gov)

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) salientam que em residências, aproximadamente 30% da água potável é utilizada em descargas sanitárias e esse percentual sobe a 60% quando trata-se de edifícios comerciais.

Quanto às 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.

Abaixo na Figura 02 a composição média de esgoto doméstico gerado no Brasil, de acordo com a pesquisa de Bazzarella (2005), na qual 29% do esgoto doméstico seria composto de água negra e 71% seria composto de água cinza.



Fonte: Bazzarella (2005)

Figura 02 - Composição média em percentual do esgoto doméstico gerado no Brasil.

5.6 Tratamento das Águas Cinza: Coagulação, Floculação e Sedimentação

Ao se pensar no possível aproveitamento de águas cinza é necessário o cuidado com a qualidade desta água, visando a saúde e o bem-estar dos usuários. Os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos afluentes de sistemas de tratamento de águas cinza podem representar risco à saúde de acordo com a concentração que apresentarem de determinados parâmetros. Por isso, a importância da caracterização físico-química e microbiológica das águas cinza tratadas, para que suas características sejam (ou não) enquadradas em determinado uso.

A turbidez, objeto desse estudo, é a característica que reduz sua transparência, e é devida a presença de materiais sólidos em suspensão, os quais provocam a dispersão da luz, dando a ela uma aparência nebulosa e esteticamente indesejável. As partículas que causam a turbidez variam de suspensões grosseiras a colóides. A turbidez é determinada com o uso do Nefelômetro, e sua unidade é a unidade de Turbidez (uT) ou Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU). Von Sperling (2005) afirma que numa água com turbidez igual a 10 uT, nota-se ligeira nebulosidade enquanto com uma turbidez igual a 500 uT, a água apresenta-se praticamente opaca. A desinfecção de uma água é tanto mais eficaz quanto menor for a sua turbidez (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 2003).

Para o tratamento em si, Libânio (2010) define coagulação como a desestabilização das partículas coloidais e suspensas através de ações físicas e químicas entre estas partículas, a água e o coagulante, geralmente o Sulfato de Alumínio e o Cloreto Férrico, citados por Paula (2014) como os coagulantes mais utilizados em tratamento de água. Esta água coagulada tende a formar flocos através de uma leve agitação, e esse fenômeno é denominado floculação. Os flocos formados são pequenas partículas sólidas mais densas que a água, e tendem a se sedimentar, desde que a velocidade do fluxo não seja maior que a velocidade da sedimentação. Nestes processos, consegue-se uma clarificação da água, uma vez que mesmo partículas mais finas em suspensão conseguem sedimentar-se.

O sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e o óxido de alumínio (Al_2O_3) são exemplos de coagulantes utilizados em tratamento de água. Campos & Di Bernardo (1975) consideram que o pH é um importante parâmetro a ser controlado no tratamento de água, pois o alumínio é um elemento anfótero (solubiliza-se tanto em soluções ácidas quanto em soluções básicas), mas não é solúvel em solução neutra.

De acordo com Driscoll (1987), quando o sulfato de alumínio é adicionado à água bruta para tratamento, ele pode tomar vários caminhos. Esses caminhos dependem de vários fatores: concentração de alumínio no sal adicionado, tipos e concentração de materiais dissolvidos,

temperatura e tipo e área superficial das partículas presentes. Mas qualquer dos caminhos tomados pelo alumínio resultam em formação e deposição de um precipitado.

5.7 Legislação e Normalização Quanto ao Reúso de Água

A primeira regulamentação que tratou de reúso de água no Brasil, foi a norma técnica NBR 13969/97, que considerou o reúso de efluentes tratados como uma opção de destino final não potável. Como uma opção de reúso, a norma identifica, o efluente doméstico ou com características semelhantes.

Também classifica o efluente em quatro classes, sendo cada qual com seus respectivos padrões de qualidade para o reúso. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA – na Resolução de nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, em termos de usos possíveis, bem como estabelece as condições e padrões de qualidade da água para o lançamento de efluentes, e dá algumas outras providências.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH - na Resolução de 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. O art. 3 abrange a modalidade de reúso para fins urbanos, onde destina as águas de reúso direto para fins não potáveis em irrigação, lavagens de logradouros, carros, construção civil, edificações, entre outras.

Apesar do reúso de água ter várias destinações finais, todas convergem para a condição que restringe a exposição ao contato com a água. O Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações, do SINDUSCON (2005), por exemplo, também define alguns padrões de qualidade da água de reúso.

A Associação Brasileira De Norma Técnicas (ABNT), na NBR 13969:1997, propõe alternativas para tratamento e disposição dos efluentes dos tanques sépticos, incluindo alternativas para possibilitar a adequação da qualidade do efluente para as situações diversas incluindo o reuso. Classifica ainda, os efluentes em 4 classes e determina padrões para reuso, conforme Tabela 02.

Tabela 02 - Classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos conforme reuso

	Destinação	Parâmetros Contemplados	Tratamento Indicado	Observações
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água	$CF \leq 200 \text{ NMP/100ml}$ - Sólidos dissolvidos totais $\leq 200 \text{ mg/l}$ - H de 6-8 - Cl 0,5-1,5 mg/l - Turbidez ≤ 5	Tratamento aeróbio + filtração convencional com areia e carvão ativado + cloração	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 2	Lavagem de pisos calçadas e irrigação de jardins e manutenção de canais e lagos.	$CF \leq 500 \text{ NMP/100ml}$ - Cl $\geq 0,5 \text{ mg/l}$ - Turbidez ≤ 5	Tratamento aeróbio + filtro de areia e desinfecção	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 3	Descargas dos vasos sanitários	$CF \leq 500 \text{ NMP/100ml}$ - Turbidez ≤ 10	Tratamento aeróbio + cloração	As águas provenientes de máquinas de lavar satisfazem a este padrão
Classe 4	Reuso nos pomares, pastagens para gado	$CF \leq 5.000 \text{ NMP/100ml}$ - OD $\geq 2,0 \text{ mg/l}$	Escoamento superficial	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita

Fonte: ABNT NBR 13969/97

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Local De Estudo

O estudo foi desenvolvido baseada no reuso de águas cinza, proveniente da Lavanderia Industrial Lavesin® da cidade de Palmas, na região Sul do Estado do Tocantins, conforme pode ser observado na Figura 03. O município possui uma população estimada de 228.332 habitantes, conforme informações do IBGE, e ainda possui uma área territorial de 2.227,329 km².

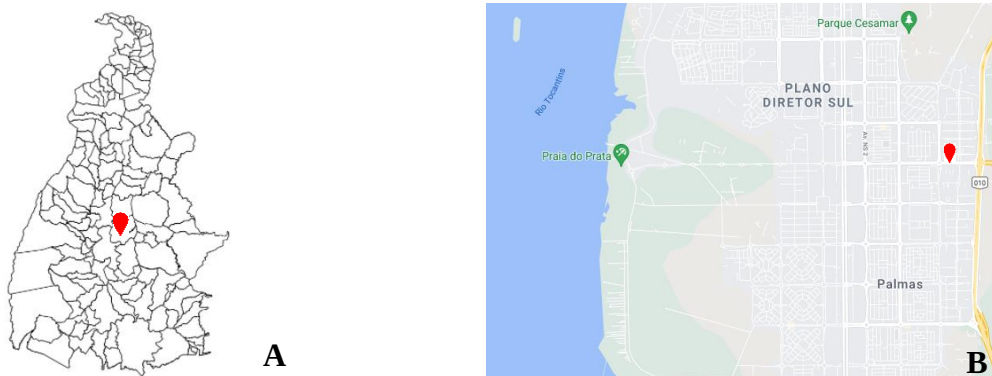


Figura 03 – Localização da cidade de Palmas no estado do Tocantins – Brasil (A); Localização da Lavanderia Industrial Lavesin®

6.2 Coleta de Dados

A água cinza proveniente da máquina de lavar foi coletada em um recipiente plástico com capacidade de 100 litros, com auxílio de um dos funcionários do local. Os ensaios experimentais de caracterização da amostra foram realizados no Laboratório de Águas e Efluentes do Instituto Federal do Tocantins (IFTO) *Campus* Palmas. No reservatório da amostra foi feito o ajuste do pH com a adição de solução de HCl 1:9 e NaOH 1 mol/L para um valor próximo da neutralidade - 6,5 a 7,5 (Figura 04).



Figura 04 – Coleta da amostra de água cinza proveniente de lavanderia industrial de Palmas - TO (A); Ajuste do pH com valores próximos à neutralidade (B)

6.3 Planejamento Experimental: Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

O delineamento empregado no estudo foi um planejamento experimental fracionário 2^2 – Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), sem repetições, com 11 tipos de combinações entre os fatores. Os experimentos foram realizados de forma aleatória, com três repetições no ponto central, conforme Tabela 03.

Tabela 03 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR 2^2

Ordem dos Experimentos	Fatores	
	Dosagem do Coagulante (mg/L)	Tempo de Sedimentação (min)
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
5	-1,41	0
6	+1,41	0
7	0	-1,41
8	0	+1,41
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Foi verificado através de planejamento multivariável o efeito de dois fatores na remoção de turbidez de água cinza em teste de coagulação química em Jarrest. Os fatores estudados foram: dosagem do coagulante (mg/L) e tempo de sedimentação (min). Os domínios das faixas dos parâmetros estudados foram de acordo com Rodrigues (2019) e Lobo (2019). Os valores mínimos e máximos são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Níveis dos fatores empregados no planejamento experimental, durante a coagulação química de água cinza

Fatores	Níveis				
	(-1,4)	(-1)	(0)	(+1)	(+1,4)
Dosagem do coagulante (mg/L)	129	150	200	250	271
Tempo de sedimentação (min)	16	20	30	40	44

6.4 Teste de Coagulação/Floculação/Decantação

Para o teste de coagulação foi utilizado o equipamento *Jartest* (Milan[®], modelo JT-203/6) com seis cubas, e cada amostra contendo 2 L de água cinza com o pH ajustado. Durante a mistura rápida foi adotada uma velocidade de 150 rpm por 3 minutos e na mistura lenta 40 rpm por 10 minutos para todos os níveis, a uma temperatura de 33°C. Foi empregado como agente coagulante, a solução de policloreto de alumínio (PAC) 1%, transformando-se a dosagem (mg/L) estabelecida em volume emergido (ml/L) (Figura 05).

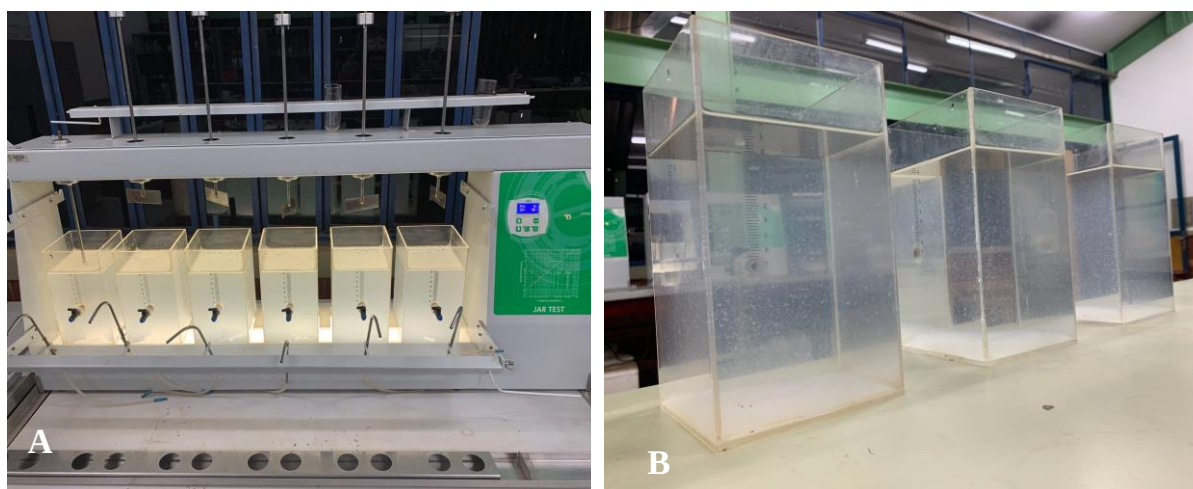


Figura 05 – Teste de coagulação das amostras de águas cinza no equipamento *Jartest* (A); Processo de floculação após adição do policloreto de alumínio em amostras de águas cinza (B).

Após a realização dos ensaios e com uniformidade das repetições, foram coletadas amostras das jarras para análise de turbidez, através do turbidímetro modelo 2100q, da marca Hach, e condutividade. Na figura 06, demonstra-se o processo de aferição da condutividade e o turbidímetro utilizado.

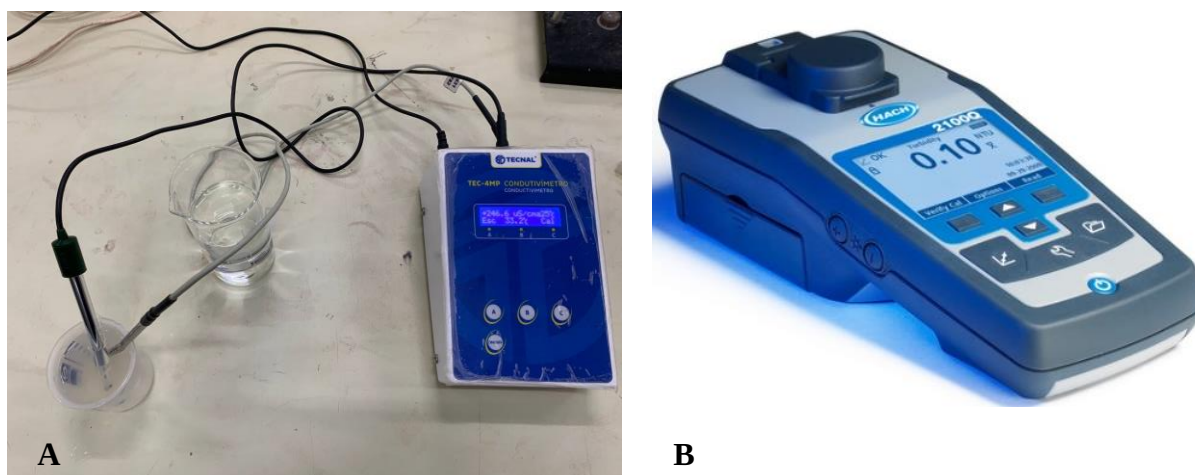


Figura 06 – Medição da condutividade em amostras de águas cinza (A); Aparelho turbidímetro modelo 2100q usado para determinação da turbidez nas amostras de águas cinzas (B).

6.5 Análise Dos Dados

Após os resultados obtidos, estes, foram tabulados no software MS Excel (Excel 2016, Microsoft, Redmond, WA, USA) e enquadrados de acordo às exigências da ANA e da ABNT. Para verificação dos reais efeitos do uso do PAC para remoção da turbidez, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e também a construção de uma curva de regressão linear com modelo matemático expressivo para tal situação e, os gráficos foram construídos através do software Protimiza Experimental Design. Todas as análises foram realizadas utilizando-se um nível de significância de 0,05 e 5.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais obtidos no estudo, estão apresentados na Tabela 05. Foram verificados efeitos significativos referentes aos fatores estabelecidos, dosagem do coagulante (mg/L) e tempo de sedimentação (min) para remoção da turbidez, através da adição do policloreto de alumínio (PAC).

Para os valores de turbidez, entende-se que quanto menor uT melhor o resultado. Nesse estudo, no ensaio 4 foi observado o menor valor de turbidez (7 uT), sendo adotado nesse ensaio uma dosagem do coagulante de 250 mg/L e tempo de sedimentação igual a 40 minutos e, o resultado com menor remoção de uT foi observado no ensaio 1, empregando uma dosagem do coagulante igual a 150 mg/L e tempo de sedimentação de 20 minutos. Os valores de pH observados após os testes de coagulação se situaram entre 5,8 e 6,5, não distantes da neutralidade. Os valores de condutividade elétrica se situaram entre 246,6 e 320 uS/cm.

Tabela 05 – Resultados dos parâmetros turbidez (uT), pH e Condutividade (μ S/cm) nos níveis estabelecidos para esse estudo de dosagem (mg/L) e tempo de sedimentação (min)

Ordem Experimental	FATORES				
	Dosagem (mg/L)	Tempo De Sedimentação (min)	Turbidez (uT)	pH	Condutividade (μ S/cm)
1	-1	-1	56	6	297
2	1	-1	47	5,8	327
3	-1	1	44	5,9	302
4	1	1	7	5,9	309
5	-1,41	0	54	6,2	289
6	+1,41	0	20	5,9	320
7	0	-1,41	48	6	318
8	0	+1,41	35	6,1	295
9	0	0	31	6	291
10	0	0	32	5,9	302
11	0	0	30,5	6	293
AB	-	-	82,4	6,5	246,6

De acordo com os resultados obtidos acima, em vista das variáveis avaliadas nesse experimento, foi possível a realização de uma análise estatística e construção de diagrama de Pareto (Figura 07). A linha média que delimita o espaço para um resultado significativo em sua sobreposição ou igualdade, demonstra que tanto a dosagem do coagulante (mg/L), representada pelo símbolo x_1 , quanto o tempo de sedimentação (min), representado por x_2 , além da interação entre esses dois fatores, favoreceram a remoção da turbidez nas amostras de águas cinza.

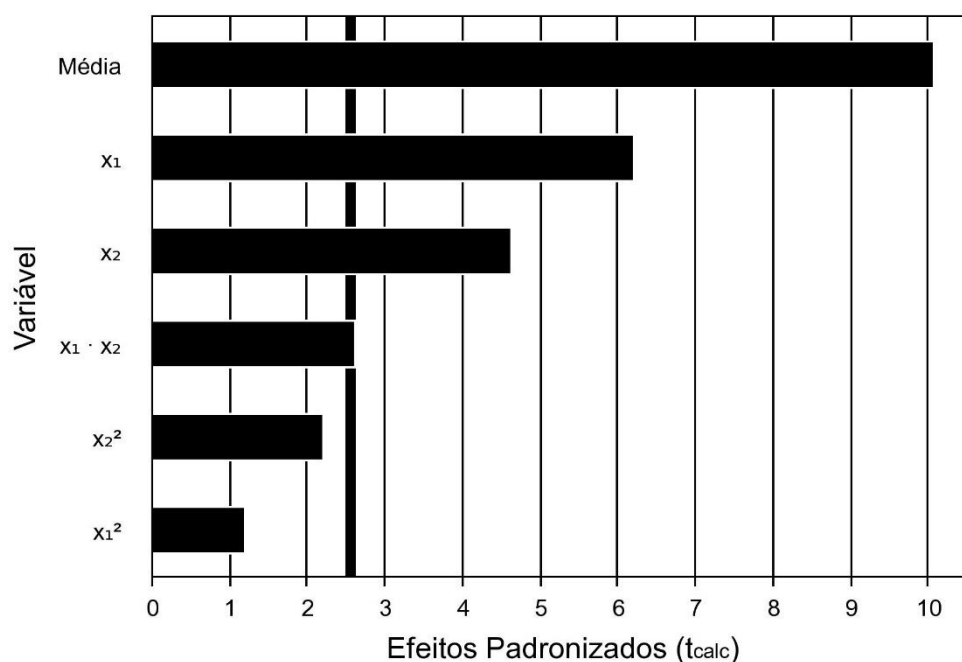


Figura 07 - Representação do Diagrama de Pareto para as variáveis dosagem do coagulante e tempo de sedimentação para remoção de turbidez em amostras de águas cinza

A Tabela 06 mostra os coeficientes de regressão e das variáveis dosagem do coagulante (mg/L) e tempo de sedimentação (min) para remoção da turbidez com adição do policloreto de alumínio. Os efeitos significativos podem ser observados para ambos os parâmetros e sua interação. Todas foram avaliadas com nível de 5% de significância.

Tabela 06 – Coeficientes de regressão das variáveis dosagem do coagulante (mg/L) e tempo de sedimentação (min)

Fatores	Coeficiente de Regressão Linear	Erro Padrão	t calculado	p-valor
Média	31,17	3,10	10,06	0,0002
X ₁	-11,76	1,90	-6,20	<u>0,0016</u>
X ₁ ²	2,73	2,26	1,21	0,2810
X ₂	-8,80	1,90	-4,64	<u>0,0057</u>
X ₂ ²	4,98	2,26	2,20	0,0787
X ₁ · X ₂	-7	2,68	-2,61	<u>0,0478</u>

A Tabela 06 traz informações sobre a análise de variância (ANOVA) de uma predição da regressão linear quanto aos parâmetros avaliados na eficiência da remoção da turbidez. É possível verificar que o coeficiente de determinação (R^2) obtido pela regressão é de 0,9350 (Figura 08). Ainda, esta apresenta uma comparação entre os valores obtidos experimentalmente e aqueles preditos pelo modelo ajustado.

Para confirmação da significância dos parâmetros do modelo pela análise da ANOVA (Tabela 07), foi realizado o teste F, onde para ser significativo estatisticamente, o valor de F obtido da regressão deve ser maior que o valor de F_{tabelado} . Comparando-se os valores citados, verifica-se uma regressão significativa. Portanto, os dados experimentais são bem representados pelo modelo obtido para as variáveis significativas e pode ser utilizado para fins preditivos dentro do domínio dos fatores estudados.

Tabela 07 – Análise de Variância (ANOVA) dos parâmetros determinados para avaliar a remoção de turbidez de amostras de águas cinza

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	F_{calc}	p-valor
Regressão	2071,6	5	414,3	14,4	<u>0,00546</u>
Resíduos	144,1	5	28,8		
Falta de Ajuste	142,9	3	47,6	81,7	0,01212
Erro Puro	1,2	2	0,6		
Total	2215,7	10			

Após análise da Figura 08, afirma-se um modelo coeso, justificado pela proximidade dos dados experimentais à linha tangenciada representativa. Com os coeficientes de regressão, obtidos a partir da matriz codificada, foi possível escrever o modelo ajustado que descreve a remoção da turbidez com adição do policloreto de alumínio, a saber:

$$y = 31,17 - 11,76 x_1 + 2,73 x_1^2 - 8,80 x_2 + 4,98 x_2^2 - 7 x_1 x_2 \quad R^2 = 93,50\%$$

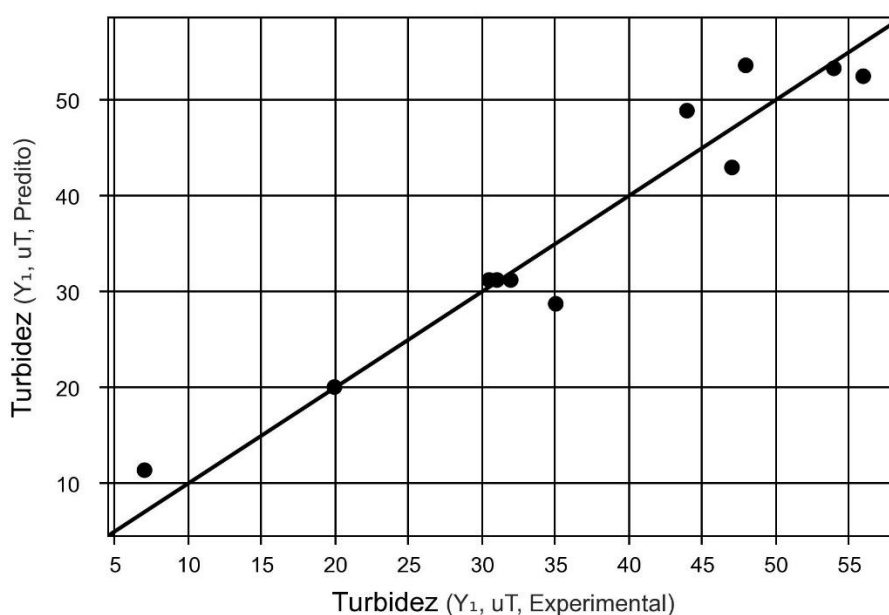


Figura 08 – Modelo de regressão linear para remoção de turbidez pelos parâmetros avaliados

Conforme observado pelo gráfico de superfície de resposta gerada pelo modelo de regressão linear (Figura 09), é possível observar que os melhores resultados foram aqueles que se aproximaram da tonalidade verde, na escala, quanto mais próximos do vermelho, menor eficiência na remoção da turbidez. Desse modo, afere-se que quanto maior a dosagem e o tempo, resultados mais satisfatórios, diretamente proporcionais.

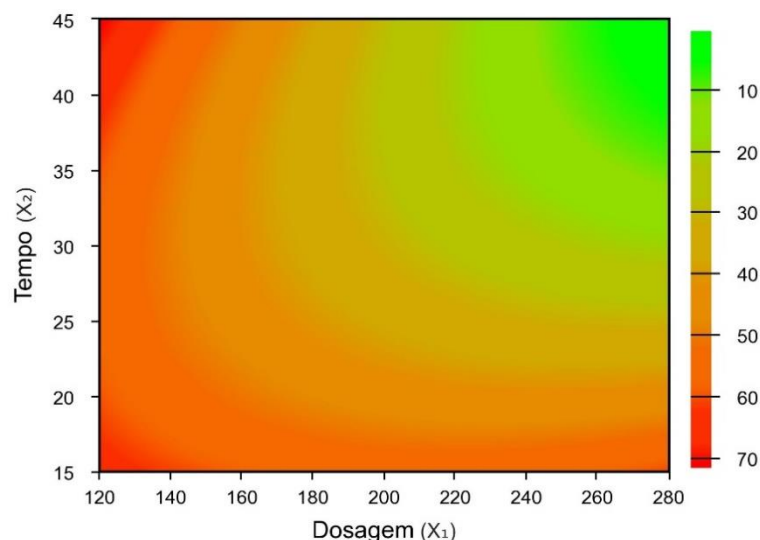


Figura 09 – Gráfico de superfície de resposta da gerada pelo método de regressão linear para remoção da turbidez

Na Figura 10 representada abaixo, apresenta-se uma amostra de água cinza bruta coletada diretamente da Lavanderia Industrial Lavesin® com ausência de tratamento do coagulante policloreto de alumínio, alinhada à direita com elevada turbidez aparente. À esquerda, apresenta-se uma amostra de água cinza tratada com o coagulante na maior dosagem e tempo de sedimentação, tornando-se nítida a diferença em ambas.

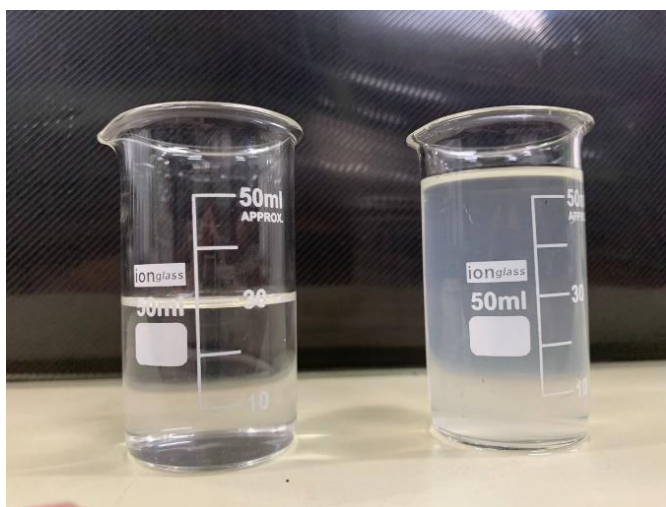


Figura 10 – Amostra de água cinza bruta à direita e amostra de água cinza tratada com policloreto de alumínio para remoção da turbidez

A ABNT NBR 13969/1997, apresenta uma tabela que classifica a água de reúso de acordo com os valores de turbidez obtidos após o tratamento. Como podemos observar na figura 11, para as classes 1 e 2, nenhum resultado apresentou valor satisfatório. Para a classe 3, reúso de água para descarga de vaso sanitário, apenas o resultado do ensaio 7 alcançou o valor de parâmetro. Já para a classe 4, como o valor de turbidez não é predito, todos os resultados dos ensaios são satisfatórios.

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água	Lavagem de pisos calçadas e irrigação de jardins e manutenção de canais e lagos.	Descargas dos vasos sanitários	Reuso nos pomares, pastagens para gado
Turbidez ≤ 5	Turbidez ≤ 5	Turbidez ≤ 10	Valor Não Predito
Os Resultados Obtidos Não Foram Satisfatórios	Os Resultados Obtidos Não Foram Satisfatórios	Ensaio 7	Todos Os Ensaios

Figura 11 – Tabela de reúso de águas cinza de acordo com a turbidez

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os melhores resultados na remoção de turbidez, através dos parâmetros dosagem do coagulante e tempo de sedimentação, através da adição do policloreto de alumínio, ocorreu no ensaio 04 com níveis de 1 e 1 (250 mg/L e 40 minutos), com 7 uT, condutividade de 309 μ S e pH de 5,9;
- O resultado menos satisfatório para remoção da turbidez foi do ensaio 01 com níveis de -1 e -1 para dosagem do coagulante e tempo de sedimentação (150 mg/L e 20 minutos), com 56 uT, condutividade de 297 μ S/cm e pH de 6.
- Pode-se concluir, portanto, que além da remoção da turbidez com eficiência, o maior tempo e a maior dosagem do coagulante proporcionaram maiores valores de pH e condutividade, tornando o inverso, também verdadeiro.
- Por fim, os resultados obtidos atendem os limites estabelecidos pelas referências internacionais e nacionais. Ainda, que o tratamento oferecido por ser utilizado no sistema de reuso menos exigentes, como por exemplo, em descargas de vasos sanitários, lavagens de carros, pisos e calçadas e fins paisagísticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEDIN, S. B.; RAKIB, Z. B. **Generation and Quality Analysis fo Greywater at Dhaka City**. Environmental Research, Engineering and Management, v. 64, n. 2, p. 29-41, 2013.
- 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.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: **Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: Março de 2021.
- ALLEN, L; SMITH, J. C. & PALANIAPPAN, M. **Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management**. Pacific Institute. Oakland, California, 2010.
- ANA; FIESP; SINDUSCON-SP. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.
- ANGELAKIS, A. N. & SNYDER, S. A. **Wastewater treatment and reuse: past, present, and future**. Water, v. 7, 2015. DOI:10.3390/w7094887.
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. Ed. Washington: APHA BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 20. Brasília,1976.
- BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de águas cinza para uso não potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2005.
- BRASIL - Ministério do Meio Ambiente (MMA) - Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água**. Brasília – DF, 2005.
- BRASIL, CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução no 274/2000
- CAMPOS, J. R. & DI BERNARDO, L. **Ensaio de floculação**. São Carlos-SP, SHS - EESC. In: 6º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Salvador-BA, 1975.
- CUNHA, M. E. **Monitoramento e avaliação socioambiental de sistema compacto para tratamento e uso agrícola de água cinza**. Dissertação Mestrado. Mossoró: UFERSA, 88p, 2018.
- DRISCOLL JR. C. T; LETTERMAN, R. D; FITCH, D. E. **Residual Aluminum in filtered water**. AWWA – American Water Works Association. Denver, 1987.

ERIKSSON, E; AUFFARTH, K; MOGENS, H; LEDIN, A. **Characteristics of grey wastewater**. Urban Water. v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

Feitosa, A. P. Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro. Mossoró: UFERSA, Tese de Doutorado, 94p, 2016.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C; PIZZO, H. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinza em edificações**. Ambiente Construído, v. 6, n. 1, p. 19-30. Porto Alegre-RS, 2006.

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.

HENZE, M.; LEDIN, A. **Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters**. New York: IWA Published, 2001.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: Março de 2021.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGGER, E. **Ecological Sanitation - a way to solve global sanitation problems? Environment International**. v. 31, n. 3. p. 433- 444. 2005.

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**. 3a ed., Campinas-SP: Editora Átomo, 2010.

LÔBO, R. N. **Degradação térmica de podas de árvores visando a obtenção de carvão para utilização como leito filtrante no tratamento de águas cinza**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, IFTO, Palmas-TO, 2019.

MAY, S., HESPAÑHOL, I. **Tratamento de águas cinzas claras para reúso não potável em edificações**. Artigo publicado na revista REGA, vol. 5, nº 2, p. 15-24, 2008.

METCALF & EDDY. **Waste water Engineering – Treatment and Reuse**. 4 ed. New York: Mc Graw Hill, 2003.

MIERZWA, J.C & HESPAÑHOL, I. **Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, visando ao uso racional e à reutilização**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Vol. 4, nº 1 e 2 Jan/Mar. e Abr/Jun, pag, 11-15, 2000.

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

OTTERPOHL, R. **Black, brown, yellow, grey – the new colours of sanitation**. Water 21, p. 37- 41, 2001.

PAULA, H. M. **Uso de suspensões preparadas com sementes de moringa oleífera associada a coagulantes químicos no tratamento da água residuária de usinas de concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2014.

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: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6133124/>. Acesso: Março 2021.

PHILIPPI, J. A. **Introdução ao reúso de águas**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de águas**. São Paulo: Manole, p. 6, 2007.

PIDOU, M.; MEMON, F. A.; STEPHENSON, T.; JEFFERSON, B.; JEFFREY, P. **Greywater recycling: treatment options and applications**. In: **Proceedings of institution of civil engineers-engineering sustainability**, vol 160, pp 119–131, 2007.

RAMPELOTTO, G. **Caracterização e Tratamento de Águas cinza visando reúso doméstico**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFSM – Universidade Federal de Santa Maria). Santa Maria – RS, 2014.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. São Paulo-SP: Editora Blucher, 2003.

RODRIGUES, C. R. **Degradação térmica da casca de arroz e utilização do carvão obtido no processo para polimento de águas cinza**. Dissertação de Mestrado (Programa de PósGraduação em Engenharia Ambiental), UFT, Palmas-TO, 2019.

SIDIBE, M. **Comparative study of bark, bio-char, activated charcoal filters for upgrading grey-water: from a hygiene aspect**. **Soil and Water Management** – Master's Program. Sweden, Europe: SLU/Dept. of Energy and Technology, 2014.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse** 26:642. EPA16251R-921004, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v. 1, 3 ed. Belo Horizonte-MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- DESA. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p., 2005.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). The United Nations World Water Development Report 2015: **Water and Sustainable World**. Paris, UNESCO, 2015.