

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ALTERNATIVAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS APÓS TRATAMENTO QUÍMICO

ALTERNATIVES FOR REUSING GRAY WATER AFTER CHEMICAL TREATMENT

Ranyere do Nascimento Lôbo¹
Rui Felipe de Miranda Rios²
Jéssica Paula Oliveira Rodrigues²
* Marcelo Mendes Pedroza³
Claudia da Silva Aguiar Rezende³
Elaine da Cunha Silva Paz³

Recibido el 7 de diciembre de 2024. Aceptado el 23 de agosto de 2025

Abstract

The scarcity of water resources is an issue that is becoming increasingly worrying over time, reflecting the significant reduction in the volumes of water stored in reservoirs in various regions. The reuse of gray water is widely adopted in several countries as a sustainable alternative to reduce the demand for drinking water. However, the lack of adequate water quality standards or guidelines hinders the appropriate reuse of graywater. This research aims to simulate a graywater reuse project, derived from domestic processes such as dishwashing, laundry and bathing - excluding toilet waste. This research was carried out at the Laboratory for Innovation in Waste Utilization and Energy Sustainability (LARSEN) at the Federal Institute of Tocantins (IFTO) - Palmas Campus. The treatment used in this research was structured in two stages: (1) Coagulation, Flocculation and Decantation and (2) Filtration of the effluent from the coagulation system in a sand filter, followed by adsorption on activated carbon. To this end, coagulation tests were carried out with aluminium plichloride at a concentration of 1% in order to optimize the removal of turbidity from the liquid, and factorial planning was carried out using the Fractional Factorial Design (FFD) to verify turbidity removal. The factors studied were pH of the grey water, coagulant dosage, slow mixing time and sedimentation time. The characterization of the raw and treated greywater was carried out, showing the efficiency of removal of parameters such as COD (from 259.1 to 26 mg/L), Volatile Solids (from 487 to 20.3 mg/L), Suspended Solids (from 120 to not detected), Turbidity (from 126 to 0.1 uT) and E. coli (from 9.2 to not detected). With the results obtained, and based on the 1997 NBR 13969 standard, the treated effluent can be used for washing cars, floors and sidewalks, flushing toilets, as well as irrigating gardens, orchards, cereals and pastures.

Keywords: reuse, greywaters, chemical treatment, residual waters, environment.

¹ Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), São Paulo, Brasil.

² Universidade Federal do Tocantins (UFT), Tocantins, Brasil.

³ Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética, Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Tocantins, Palmas – Tocantins, Brasil.

*Autor correspondente: Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) no Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Palmas – Tocantins, Brasil. 310 Sul, Av. LO 5, s/n - Plano Diretor Sul, Palmas – TO. CEP: 77021-090. Email: mendes@ifto.edu.br

Resumo

A escassez de recursos hídricos é uma questão que se torna cada vez mais preocupante com o passar do tempo, refletindo na redução significativa dos volumes de água armazenados em reservatórios de diversas regiões. O reaproveitamento de águas cinzas é amplamente adotado em diversos países como uma alternativa sustentável para diminuir a demanda por água potável. No entanto, a falta de padrões ou diretrizes de qualidade da água adequados dificulta a reutilização apropriada de águas cinzas. A presente pesquisa tem como objetivo simular um projeto de reúso de águas cinza, derivadas a partir de processos domésticos, como lavagem de louça, lavanderia e banho – excluindo resíduos de banheiros. Essa pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas. O tratamento utilizado nesta pesquisa foi estruturado em duas etapas: (1) Coagulação, Floculação e Decantação e (2) Filtração do efluente proveniente do sistema de coagulação em filtro de areia, seguida de adsorção em carvão ativado. Para isso, foram realizados ensaios de coagulação com plicloreto de alumínio a uma concentração de 1% visando otimizar a remoção de turbidez do líquido, sendo feito o planejamento fatorial usando o Delineamento Fatorial Fracionado (DFF) para verificar a remoção de turbidez. Os fatores estudados foram: pH das águas cinzas, dosagem do coagulante, tempo de mistura lenta e tempo de sedimentação. Realizou-se a caracterização das águas cinzas na amostra bruta e tratada, onde percebeu-se a eficiência de remoção de parâmetros como DQO (de 259.1 para 26 mg/L), Sólidos Voláteis (de 487 para 20.3 mg/L), Sólidos Suspensos (de 120 para não detectado), Turbidez (de 126 para 0.1 uT) e E. coli (de 9.2 para não detectado). Com os resultados obtidos, e com base na norma NBR 13969 de 1997, o efluente tratado pode ser utilizado para lavagem de carros, pisos e calçadas, descarga de vasos sanitários, além de irrigação de jardins, pomares, cereais e pastagem.

Palavras-chave: reúso, águas cinzas, tratamento químico, águas residuais, meio ambiente.

Introdução

O aumento da população tem gerado uma demanda crescente por água em quantidade e qualidade. Entretanto, muitos mananciais estão cada vez mais poluídos e degradados, seja pela ausência de controle, seja pela falta de investimentos em infraestrutura para coleta, tratamento e destinação adequada de esgotos, bem como no manejo correto de resíduos sólidos (Mancuso *et al.*, 2003).

Diante desse cenário, tornam-se indispensáveis ações voltadas para a redução do desperdício e das perdas de água potável. Entre essas iniciativas, destacam-se a mudança nos hábitos de consumo, a conscientização da população sobre a adoção de novas atitudes e comportamentos, além da implementação de práticas e tecnologias inovadoras para o reúso da água.

O reúso permite, além de preservar a água potável para suprir as necessidades da população urbana e os usos industriais de maior relevância, promovendo uma melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis e ampliando a oferta de um recurso que se torna cada vez mais escasso (Semura *et al.*, 2005). O reaproveitamento consiste no processo de reutilização da água, tratada ou não, para o mesmo propósito ou para usos menos exigentes, como a lavagem de vias públicas e áreas industriais, irrigação de jardins e pomares, além do uso em descargas de sanitários, entre

outros (Minowa *et al.*, 2007). A segregação e reutilização de águas cinzas são algumas das abordagens para lidar com a sustentabilidade e gestão integral da água em diferentes partes do mundo onde a população enfrenta escassez aguda de água (Al-Jayyousi, 2003).

O termo "águas cinzas" refere-se à água utilizada em atividades domésticas que não apresenta contaminação por esgoto sanitário ou material fecal (Telles *et al.*, 2010). As águas cinzas são geradas a partir de processos domésticos, como lavagem de louça, lavanderia e banho – excluindo resíduos de banheiros (Eriksson *et al.* 2002).

Segundo Pangarkar *et al.* (2010), a reutilização de águas cinzas em uma residência representa a economia de até 50-80% do consumo total de água. Além disso, estima-se que aproximadamente 10% de toda a água consumida no meio urbano seja destinada à lavagem de roupas, destacando a relevância do estudo desse tipo de efluente. No caso específico das lavanderias industriais, embora o setor apresente um alto consumo de água, poucos estudos têm investigado a viabilidade de reciclagem. Pesquisas sobre o tratamento, reciclagem ou reúso desses efluentes têm sido realizadas, principalmente em países onde o custo da água, tanto para consumo quanto para descarte no meio ambiente, é mais elevado (Buss *et al.*, 2015).

Os efluentes de lavanderias contêm tanto as impurezas removidas das roupas quanto as substâncias utilizadas no processo de lavagem, como sabão, detergentes, produtos químicos, fragmentos de argila e pequenas partículas de fibras de tecido (Queiroga *et al.*, 2020).

O tratamento de águas cinzas segue um processo semelhante ao realizado nas estações de tratamento de esgoto. Ele tem como principais objetivos a remoção de sólidos presentes, como areia, óleos, graxas e sólidos sedimentáveis; a eliminação da matéria orgânica presente em sólidos particulados e dissolvidos; além da remoção de patógenos, nutrientes e fósforo. (Telles *et al.*, 2010).

O primeiro passo antes de considerar as possíveis aplicações de águas cinzas é caracterizar as propriedades físicas, químicas e microbianas das águas cinzas (Kimwaga, 2014).

A escolha da tecnologia mais adequada para o tratamento de águas cinzas se baseia na qualidade a ser alcançada. Reutilização de águas residuais domésticas para uso potável requer um maior grau de tratamento, incluindo o tratamento terciário. Mas a qualidade da água para vários usos não potáveis como, irrigação da paisagem, agricultura, descarga de banheiro e recarga de água subterrânea podem ser alcançados mais facilmente usando o tratamento convencional e técnicas econômicas como coagulação, filtração e biológica em sistemas de tratamento (Ajit, 2016).

Segundo Alexandre *et al.* (2013), as etapas de tratamento podem abranger diferentes etapas, a saber: (a) tratamento físico-químico (tratamentos preliminar e primário, com remoção de sólidos

em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes e uma parcela da matéria orgânica), (b) tratamento biológico (etapa constituída por processos bioquímicos, através de microrganismos, que podem ser aeróbicos ou anaeróbicos) e (c) tratamento terciário (remoção principalmente de nutrientes, organismos patogênicos, matéria orgânica remanescente, compostos não-biodegradáveis e os sólidos inorgânicos dissolvidos).

Atualmente, é viável reduzir os níveis de poluentes a patamares aceitáveis, tornando a água adequada para usos específicos por meio de operações e processos de tratamento. De forma geral, o reúso da água pode ser realizado de maneira direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não planejadas, e pode atender tanto a finalidades potáveis quanto não potáveis (Moruzzi, 2008).

Como a água usada para descarga do vaso sanitário, jardinagem e limpeza de pisos não requerem padrões de qualidade da água potável, até 46% da água doméstica pode ser economizada reutilizar águas cinzas para tais atividades (Boyjoo *et al.*, 2013).

No Brasil, destacam-se algumas ações. A lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997 estabelece, entre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a necessidade de garantir para as gerações atuais e futuras a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas aos seus respectivos usos (Fernandes, 2004).

A norma NBR 13969 de 1997 classifica as águas de reúso com base em seus principais usos e define critérios de qualidade específicos para cada finalidade pretendida. De acordo com esse documento, as águas de reúso são classificadas em quatro categorias: (a) Classe 1, destinada a usos que envolvem contato direto do usuário com a água, como lavagem de veículos; (b) Classe 2, para atividades como lavagem de pisos e calçadas, irrigação de jardins e manutenção de lagos e canais com finalidade paisagística; (c) Classe 3, utilizada em descargas de vasos sanitários; e (d) Classe 4, empregada em pomares, cultivos de cereais, forragens, pastagens para gado e irrigação realizada por escoamento superficial ou sistemas pontuais. A Resolução nº 54 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH – Estabelece as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água. A Resolução CNRH nº 121/2010 define as diretrizes e critérios específicos para o reúso direto não potável de água nas áreas agrícola e florestal.

Esse estudo tem como objetivo avaliar as alternativas de reúso de águas cinzas provenientes de lavanderia de roupas comercial após tratamento químico coagulação-floculação/decantação/filtração e adsorção em carvão ativado comercial, observando as legislações brasileiras relacionadas a esta prática.

Metodología

Local da pesquisa e obtenção da amostra

Esta pesquisa foi conduzida no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN), vinculado ao Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas. As amostras de águas cinzas foram coletadas em uma lavanderia comercial, utilizando um recipiente com capacidade de 50 litros, no qual foram armazenados os efluentes provenientes de todas as etapas do processo de lavagem. A Figura 1 apresenta as principais atividades experimentais desenvolvidas neste estudo.

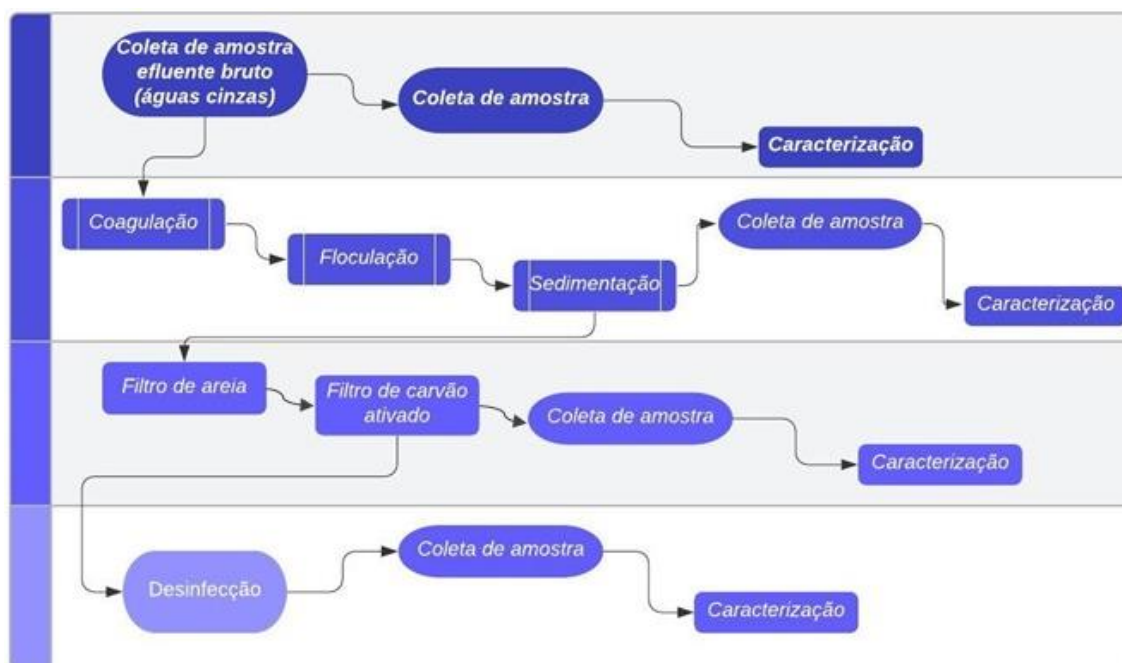


Figura 1. Desenho esquemático das atividades desenvolvidas durante a pesquisa

Realização do tratamento de águas cinzas através do processo Coagulação / Decantação / Filtração / Adsorção

Nesta etapa da pesquisa, foram conduzidos dois ensaios: (1) coagulação seguida de floculação e decantação, e (2) filtração do efluente em filtro de areia, seguida de adsorção com carvão ativado.

Os ensaios de coagulação/floculação/decantação foram realizados utilizando o aparelho *Jar Test*, marca Ethiktechnology, modelo 218-3LDB. Antes de iniciar os testes, foi feita a correção do pH das águas cinzas com solução de ácido clorídrico (1:9) para otimizar a ação do coagulante.

O coagulante utilizado nos ensaios foi o policloreto de alumínio a 1%. Em cada cuba do *Jar Test*, foram adicionados 2 litros de amostra.

Foi avaliado, por meio de planejamento multivariável, o efeito de quatro fatores nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, visando otimizar a remoção de turbidez. Para isso, foi utilizado um Delineamento Fatorial Fracionado 2^{4-1} , com 8 experimentos e sem repetições (Tabela 1). Os fatores analisados foram: pH das águas cinzas (fator 1), dosagem do coagulante (fator 2), tempo de mistura lenta (fator 3) e tempo de sedimentação (fator 4).

Tabela 1. Ordem dos experimentos empregados no planejamento

Experimentos	Fatores			
	pH (-)	Dosagem do Coagulante (mg/L)	Tempo de mistura lenta (min)	Tempo de sedimentação (min)
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1

Os intervalos dos parâmetros (valores mínimos e máximos para os fatores) estão conforme estabelecidos por Pedroza (2020) e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores e níveis empregados no planejamento experimental

Fatores	Níveis empregados	
	(-1)	(+1)
pH (-)	6	8
Dosagem do coagulante (mg/L)	150	350
Tempo de mistura lenta (min)	10	20
Tempo de sedimentação (min)	10	30

As velocidades de mistura rápida e lenta utilizadas nos testes foram de 160 e 30 RPM, respectivamente. O tempo de mistura rápida foi de 3 minutos. Após o período de sedimentação, amostras foram coletadas de cada cuba do *Jar Test* para a realização dos ensaios de pH, turbidez e sólidos.

Após a etapa de coagulação/sedimentação, o efluente foi direcionado para um filtro de areia e, em seguida, para uma coluna de adsorção com carvão ativado, ambos operados em série e em regime contínuo. Os filtros foram construídos com um tubo cilíndrico de plástico PVC, com as seguintes dimensões: altura total de 40 cm, altura do carvão na coluna de 11 cm e diâmetro de 2.0 cm, conforme as recomendações de Pedroza (2020). O sistema foi operado com uma vazão de 10 mL/min, conforme ilustrado na Figura 2.

Visando o reúso de forma segura do efluente produzido no processo aqui apresentado, foi adotada uma etapa de cloração do líquido empregando hipoclorito comercial a 2.5%, sendo adotada uma dosagem de 1.5 mg/L de cloro ativo.

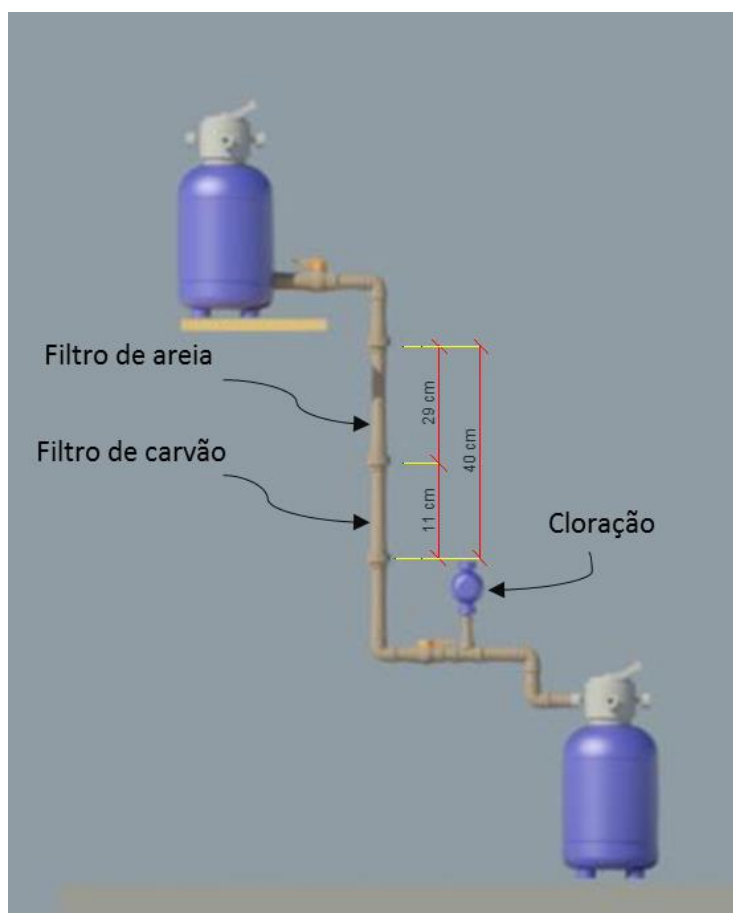


Figura 2. Desenho esquemático das atividades desenvolvidas durante a pesquisa. Fonte: Autores (2020)

Caraterização da amostra de águas cinzas e do efluente tratado

Foi realizado o monitoramento da qualidade do efluente tratado no sistema em estudo. Para atingir os objetivos deste trabalho experimental, foram coletadas amostras em três pontos distintos: P1 – reservatório de águas cinzas, P2 – efluente decantado do processo de coagulação/floculação e P3 – efluente final após o filtro de areia e a coluna de adsorção com carvão ativado. As metodologias utilizadas nos ensaios seguiram as recomendações da APHA (2005), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Metodologias aplicados na determinação das características de águas cinzas e efluente

Parâmetro analítico	Metodologia
Temperatura	Termômetro de mercúrio
pH	Eletrométrico
DBO ₅	Frascos Padrões
DQO	Frascos Padrões
Condutividade	Eletrométrico
Sólidos Totais	Gravimétrico
Sólidos Fixos	Gravimétrico
Sólidos Voláteis	Gravimétrico
Sólidos Sedimentáveis	Cone Imhoff
Sólidos Suspensos	Gravimétrico
Alcalinidade	Volumétrico
Turbidez	Nefelométrico
Cloro residual	Espectrofotométrico
Cloretos	Mohr
E. coli	Colilert

Resultados

A Tabela 4 apresenta os dados experimentais do planejamento multivariável empregado nessa pesquisa.

Com a execução desses experimentos, foram fornecidas respostas referentes aos fatores pré-estabelecidos. Foi mostrado que as combinações de fatores com menores dosagens do coagulante, e tempo de sedimentação maiores, tiveram uma maior redução na turbidez, enquanto as combinações de maior dosagem e menor tempo de sedimentação não tiveram redução satisfatória.

O tempo de mistura lenta tem pouca influência direta na redução da turbidez, o qual forneceu a informação de que esse tempo pode ser reduzido diminuindo o consumo de energia na operação do sistema.

Com base nos resultados alcançados da turbidez em função dos fatores, foram realizadas análises destes dados obtendo as características do efluente após os procedimentos e o Gráfico de Pareto, conforme a Figura 3, utilizando um nível de significância de 0.05.

Tabela 4. Valores de turbidez resultantes nos experimentos

Experimentos	Fatores				Turbidez (uT)
	pH (-)	Dosagem do Coagulante (mg/L)	Tempo de mistura lenta (min)	Tempo de sedimentação (min)	
1	-1	-1	-1	-1	18.0
2	+1	-1	-1	+1	9.0
3	-1	+1	-1	+1	15.4
4	+1	+1	-1	-1	31.0
5	-1	-1	+1	+1	6.2
6	+1	-1	+1	-1	15.3
7	-1	+1	+1	-1	25.0
8	+1	+1	+1	+1	13.0

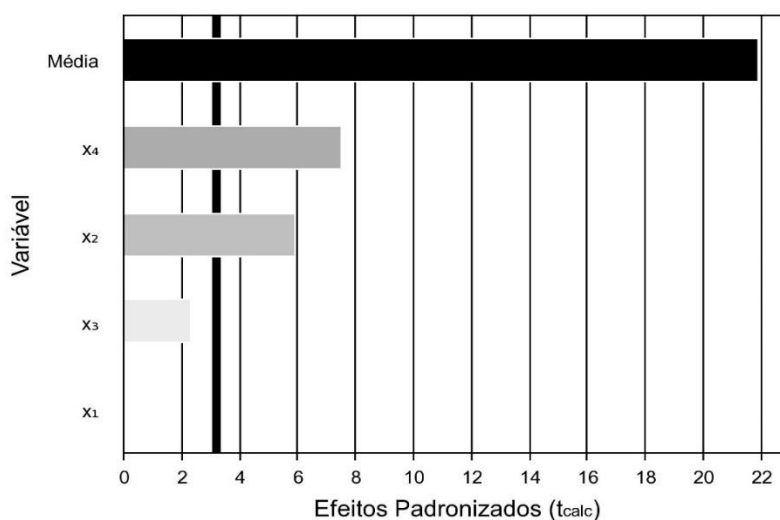


Figura 3. Efeitos da Variável

Os efeitos padronizados com maior nível de influência entre as variáveis, conforme ilustrado no gráfico de Pareto (Figura 3), foram x_2 - dosagem de coagulante e x_4 - tempo de sedimentação entre as variáveis. Já as demais variáveis não alcançaram valores que interferissem significativamente na turbidez.

A Tabela 5 apresenta os resultados calculados da média da turbidez e dos fatores com base no efeito, erro padrão, teste t de *student* e probabilidade.

Tabela 5. Resultado das características de águas cinzas e efluente

Nome	Efeito	Erro Padrão	t Calculado	p-valor
Média	16.61	0.76	21.86	0.0002
pH (-)	0.93	1.52	0.61	0.5858
Dosagem do coagulante (mg/L)	8.98	1.52	5.90	0.0097
Tempo de mistura lenta (min)	-3.48	1.52	-2.29	0.1063
Tempo de sedimentação (min)	-11.42	1.52	-7.52	0.0049

Foram observados na Tabela 5 que os fatores com maiores efeitos na variável principal consistem na dosagem do coagulante (5.90) e tempo de sedimentação (-11.42). Os sinais informam o sentido do efeito que a variável secundária tem com a principal – turbidez. Ou seja, sinal positivo do fator 2 indica que quanto maior a dosagem do coagulante maior é a turbidez do efluente. Já o sinal negativo, sentido oposto – quanto maior o tempo de sedimentação menor é a turbidez.

A caracterização das águas cinzas, na amostra bruta e após os processos de coagulação/floculação/sedimentação e filtração no tratamento do efluente, procedeu com os seguintes resultados, conforme Tabela 6.

Todos os parâmetros analisados tiveram redução significativa já na primeira fase do tratamento (coagulação/floculação/sedimentação). O parâmetro da alcalinidade teve uma redução de 56.83% na primeira fase do tratamento, já na fase de filtração houve remoção de apenas 58.06% em relação a amostra bruta.

Após todos os procedimentos da pesquisa, foram calculados a eficiência de remoção dos parâmetros analisados das águas cinzas, conforme a Figura 4.

Dentre os parâmetros pode-se destacar turbidez, DQO, DBO₅, sólidos voláteis, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e *Escherichia coli* com resultados acima de 85% de remoção. A condutividade elétrica teve redução baixa, em torno de 18%.

Tabela 6. Resultados dos Parâmetros nos Pontos 1; 2 e 3.

PARÂMETRO ANALÍTICO	RESULTADOS		
	P1	P2	P3
Temperatura (°C)	26.0	25.5	25.9
pH (-)	7.3	6.2	6.3
DBO ₅ (mg/L)	69	22	10
DQO (mg/L)	259.1	145	26
Condutividade(uS/cm)	176	183	145
Sólidos Totais (mg/L)	1210	812	429
Sólidos Fixos (mg/L)	723	660	408.7
Sólidos Voláteis (mg/L)	487	152	20.3
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0.2	ND	ND
Sólidos Suspensos (mg/L)	120	11	ND
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	227	98	95.2
Turbidez (uT)	126	17	0.1
Cloretos (mg/L)	124	136	115
Cloro residual (mg/L)	0.45	0.4	1.5 *
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	9.2	1	ND

* Após o processo de adsorção foi realizada a cloração do efluente como forma de reduzir a população de organismos patogênicos do líquido.

ND = Não Detectado.

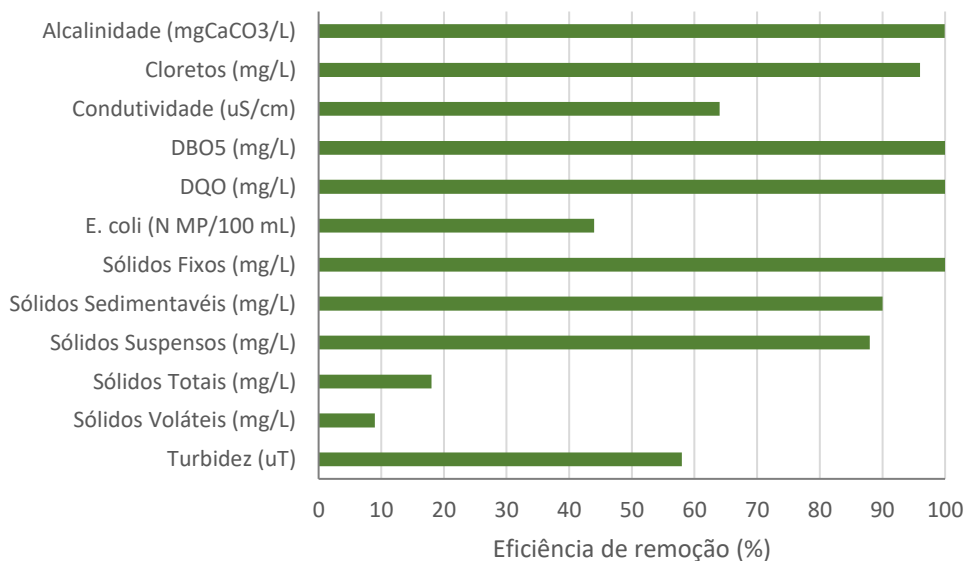


Figura 4. Eficiência de remoção no tratamento de águas cinzas.

Alternativas de reúso de águas cinzas

Essa etapa da pesquisa mostra as alternativas de reúso de águas cinzas após tratamento constituído das etapas de coagulação/sedimentação/filtração/adsorção/cloração adotadas. Foram observados os critérios de reúso, conforme Quadro 1, segundo as legislações dos seguintes países Austrália, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Índia, Reino Unido e, também, da Organização Mundial de Saúde.

Para Nolde (2000), os 4 critérios importantes que devem ser atendidos para a reutilização de águas cinzas são segurança, higiene, estética e tolerância ambiental. O tipo de tratamento de águas cinzas a ser considerado depende da reutilização e seus requisitos específicos. Apenas poucas diretrizes foram estabelecidas para a reciclagem e reutilização de águas cinzas e eles se concentram principalmente em saúde e impactos ao meio ambiente (Li *et al.*, 2009).

Segundo Boyjoo (2013), as diretrizes de reutilização de águas cinzas devem incluir pelo menos parâmetros como pH, demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias (DBO₅), sólidos totais suspensos (STS), turbidez, coliformes fecais e coliformes totais. Outros parâmetros como N, NH₄⁻, P, Cl₂ residual, sólidos totais dissolvidos (STD) e o conteúdo de detergente também podem ser considerados. Cada país deve atender adequadamente diretrizes nacionais para reutilização de águas cinzas.

No que diz respeito à reciclagem e reutilização de águas cinzas, o Brasil ainda não possui uma normatização técnica específica para sistemas de reúso de água. De maneira geral, são utilizados padrões internacionais ou diretrizes técnicas elaboradas por instituições privadas. Esse fator tem dificultado a implementação dessa prática no país, uma vez que a ausência de legislação e normatização específicas torna o trabalho dos profissionais mais desafiador (Giacchini, 2011). A norma NBR 13969 de 1997 cita as classes de água para reúso e os critérios para sua qualidade conforme a Quadro 1.

Na Índia, o Conselho Central de Controle da Poluição (CPCB) é responsável por estabelecer diretrizes e restrições para a reutilização de águas cinzas em descargas no solo e para resfriamento industrial (Vuppaladadiyam, 2018). Quando comparadas as características das águas cinzas tratadas, obtidas nessa pesquisa, com os valores estabelecidos pela legislação indiana, observa-se que os valores dos parâmetros pH e cloretos não se encontram em conformidade com tal documento, o que compromete o reúso do líquido para essas finalidades informadas. No entanto, segundo a normativa da Austrália, este tipo de efluente citado nessa pesquisa pode ser destinado a irrigação do subsolo, superficial, subterrânea, por aspersão e por gotejamento.

Em se tratando de reuso industrial, conforme critérios requeridos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos, o efluente tratado dessa pesquisa atende os níveis propostos. Embora o valor do cloro residual se encontra superior a normativa norte americana, esse parâmetro revelou mais alto devido a adição do cloro para desinfecção do efluente, porém esse valor pode ser reduzido a 1 mg/L.

Uma outra alternativa de reutilização de águas cinzas tratadas é a lavagem de carros, pisos, ruas e calçadas. As referências propostas pela norma brasileira são atendidas pelo efluente tratado.

Quanto ao reuso predial destaca-se a reutilização de águas cinzas para descarga em vasos sanitário e para máquina de lavar roupa, conforme as diretrizes da Agência Ambiental do Canadá e Reino Unido respectivamente.

Quadro 1. Normas, guias e regulamentos de águas cinzas tratadas em diferentes países e suas aplicações

País	Instituição/ Legislação	Características das águas tratadas	Destinação da água tratada
Índia	Conselho Central de Controle da Poluição (CPCB, 2021)	pH (7.3 – 8.1); EC (489 – 550 uS cm); Turbidez (20.6 – 38.7 uT); SST (12 – 17.6 mg/L); NT (0.5 – 0.63 mg/L); Fosfato (1.52 – 3.36 mg/L); DBO ₅ (56 – 100 mg/L); DQO (244 – 284 mg/L); Cl ⁻ (7.4 – 12.9 mg/L).	Aplicação na agricultura e resfriamento industrial.
Austrália	<i>Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia</i> (Doh, 2010)	Águas cinzas tratadas e desinfetada: SST: 30 mg/L; Cter: 30 UFC/100 mL; DBO ₅ : 20 mg/L. Águas cinzas tratadas e desinfetada: SST: 30 mg/L; Cter: 10 UFC/100 mL; DBO ₅ : 20 mg/L. Águas cinzas com tratamento secundário: SST: 30 mg/L; DBO ₅ : 20mg/L e possível desinfecção.	Irrigação do subsolo; Irrigação superficial; Irrigação subterrânea. Irrigação superficial; Irrigação do subsolo; Irrigação subterrânea; Descarga em vasos ou mictórios; Uso na lavanderia. Irrigação por aspersão de superfície, irrigação por gotejamento de substratos, irrigação por gotejamento em valas de subsolo ou subsolo.

País	Instituição/ Legislação	Características das águas tratadas	Destinação da água tratada
Brasil	Norma Brasileira - NBR 13969/97	<p>Águas cinzas tratadas e desinfetada: pH 6 – 8; Turbidez < 5 uT; CTer < 200 NML/100mL; SDT < 200; Cl₂: 0.5 a 1.5 mg/L.</p> <p>Águas cinzas tratadas e desinfetada: Turbidez < 5 uT; CTer < 500 NMP/100mL; Cl₂ > 0.5 mg/L.</p> <p>Águas cinzas tratada e desinfetada: Turbidez < 10 uT; CTer < 500 NML/100mL.</p> <p>Águas cinzas sem tratamento: CTer < 5000 NML/100mL; OD > 2 mg/L.</p>	<p>Lavagem de carros, chafarizes.</p> <p>Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins.</p> <p>Descarga em vaso sanitário.</p> <p>Irrigação de pomares, cereais, forragens e pastagem para gado. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.</p>
Estados Unidos – Agência de Proteção Ambiental	The Guidelines for water Reuse de (EPA, 2012; Kloss, 2008)	<p>Tratamento Secundário - Filtração – Desinfecção Cl₂: < 1 mg/L; pH: 6 – 9; DBO₅: 10 mg/L; Turbidez: ≤ 2 uT; Cter: Ausente em 100mL.</p> <p>Tratamento Secundário – Desinfecção Cl₂: < 1; pH: 6 – 9; DBO₅ ≤ 30 mg/L; SST: ≤ 30 uT; Cter: ≤ 200 NMP/100 mL.</p> <p>Tratamento Secundário - Filtração – Desinfecção Cl₂: < 1 mg/L; pH: 6 – 9; DBO₅: 10 mg/L; Turbidez: ≤ 2 uT; Cter: Ausente em 100mL.</p> <p>Tratamento Secundário – Desinfecção Cl₂: < 1 mg/L; pH: 6 – 9; DBO₅: 30 mg/L; Turbidez: ≤ 30 uT; Cter: ≤ 200 NMP/100 mL.</p>	<p>Reúso urbano - não restrito.</p> <p>Reúso urbano – restrito.</p> <p>Reúso agrícola - alimentos cultivados.</p> <p>Reúso agrícola - alimentos processados.</p>

País	Instituição/ Legislação	Características das águas tratadas	Destinação da água tratada
Estados Unidos – Agência de Proteção Ambiental	The Guidelines for water Reuse de (EPA, 2012; Kloss, 2008)	Tratamento Secundário - Desinfecção - Coagulação química e filtração química pode ser requerido Cl ₂ : < 1 mg/L; pH: 6 – 9; DBO ₅ : 30 mg/L; SST: ≤ 30 mg/L; Cter: ≤ 200 NMP/100 mL.	Reúso industrial.
		Tratamento Secundário – Desinfecção Cl ₂ : < 1 mg/L; DBO ₅ : 30 mg/L; SST: ≤ 30 mg/L; Cter: ≤ 200 NMP/100 mL.	Reúso ambiental.
Brasil	Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (Brasil, 2007)	Ovos de Helmintos <1; <i>Escherichia coli</i> <100.000; Ovos de Helmintos <1; <i>Escherichia coli</i> <1.000.	Irrigação restrita. Irrigação irrestrita das culturas (sendo <10.000 para cultivo de folhas ou irrigação por gotejamento).
Canadá - Departamento de Saúde Nova Gales do Sul	Guidelines for Household Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing (Beveridge, 2007)	DBO ₅ : 20 mg/L; SST: 20 mg/L; CF: <200 NMP/100 mL; Cl ₂ : <2 mg/L; Turbidez: <5 uT.	Descarga em vaso sanitário.
Reino Unido – Agência Ambiental	Greywater for Domestic Users: An Information Guide (Environment Agency, 2011)	pH: 5 – 9; Turbidez: <10; CF: <10 NMP/100mL; Cl ₂ : <2 mg/L.	Aplicação por pulverização: lavagem sob pressão, uso de aspersores de jardim e lavagem de carro.
		pH: 5 – 9; Turbidez: <10; CF: <1000 NMP/100mL; Cl ₂ : <2 mg/L.	Aplicação sem spray: Descarga em vaso sanitário.
		pH: 5 – 9; Turbidez: <10; CF: <1000 NMP/100mL; Cl ₂ : <0.5 mg/L.	Aplicação sem spray: Rega de jardim.
		pH: 5 – 9; Turbidez: <10; CF: <10 NMP/100mL; Cl ₂ : <2 mg/L.	Aplicação sem spray: Uso em máquina de lavar.

SST: Sólidos suspensos totais; DBO₅: Demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias; NT: Nitrogênio total; DQO: Demanda química de oxigênio; Cl₂: Cloreto; EC: Condutividade elétrica; Cter: Coliformes termotolerantes; Cl₂: Cloro residual; OD: Oxigênio dissolvido; NT: Nitrogênio total; CF: Coliformes totais.

Conclusão

As águas cinzas provenientes de lavanderias podem ser reutilizadas, mas precisam passar por tratamento antes do reuso, pois suas características em estado bruto não atendem às exigências das legislações ambientais.

As águas cinzas de lavanderia, quando tratadas por coagulação/floculação/sedimentação, apresentaram valores que as classificam como adequadas para o reuso agrícola em alimentos processados, de acordo com a legislação dos Estados Unidos.

As águas cinzas quando submetidas ao tratamento químico de coagulação/floculação/sedimentação e posterior filtragem em filtro de areia e desinfecção apresentaram índices que as enquadram nos critérios estabelecidos pela Austrália, Estados Unidos, Canadá, Reino Unido e na norma NBR 13969/97 do Brasil. Com base nisso esse efluente pode ser reutilizado para vários fins como, irrigação, descarga em vaso sanitário, lavagem de roupas, carros, ruas, pisos e calçadas, além de reuso industrial.

Referências bibliográficas

- Alexandre, E. C. F., Lemke de Castro, M. L., Pesquero, M. A. (2013) Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis. *Revista de Biotecnologia & Ciência*, **2**, 106-116. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/1614>
- Al-Jayyousi, O. R. (2003) Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, **156**, 181-192. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)
- APHA (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Minister of Health (2010) *Canadian Guidelines for Household Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-reclaimed-recycle-eau/alt/reclaimed-water-eaux-recyclees-eng.pdf>
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., Ang, M. (2013) A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology*, **67**, 1403-1424. <https://doi.org/10.2166/WST.2013.675>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *NBR 13969: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro.
- Brasil (1997) *Base Legislação da Presidência da República - Lei no 9.433 de 08 de janeiro de 1997*. Casa Civil. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9433&ano=1997&ato=a12ATVU90MjpwTbaf>
- Brasil (2007) *Aplicação Controlada de Água Residuária e Lodo de Esgoto no Solo, para Melhorar e Incrementar a Agricultura do Semi-Árido Nordeste*. Brasília: Funasa. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/635>
- Brasil, CNRH. (2010) *Resolução n. 121, de 16 de dezembro de 2010*. Diário Oficial da União, 2. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20121.pdf>

- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (2006) *Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 54*. Brasília, DF. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>
- Buss, M. V., Ribeiro, E. F., Schneider, I. A. H., Menezes, J. C. S. S. (2015) Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. *Revista de Engenharia Civil IMED*, **2**, 2-10. <https://doi.org/10.18256/2358-6508/REC-IMED.V2N1P2-10>
- CNRH (2010) *Resolução n. 121*, de 16 de dezembro de 2010. Diário Oficial da União, 2. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20121.pdf>
- CPCB, Central Pollution Control Board (2021) *Pollution Control Acts, Rules & Notifications Issued Thereunder*. Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://cpcb.nic.in/7thEditionPollutionControllawSeries2021.pdf>
- DOH, Department of Health (2010) *Grey water: Code of practice for the reuse of grey water in Western Australia*. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <http://www.public.health.wa.gov.au/3/667/2/greywater.pm>
- Environment Agency (2011) *Greywater for domestic users: an information guide*. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ENVIRONMENT%20AGENCY%202011%20Greywater%20for%20Domestic%20Users.pdf
- EPA, U. S. E. P. A. (2012) *Guidelines for water reuse*. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://www.epa.gov/waterreuse/guidelines-water-reuse>
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M. et Ledin, A. (2002) Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, **4**, 85-104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Fernandes, V. M. C. (2006) Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <https://enperspectiva.uy/wp-content/uploads/2023/02/Reuso-agua-cinzas-Prof.-Cartana.pdf>
- Giacchini, M. (2011) *Uso e Reúso da Água*. Série de Cadernos Técnicos, CREA-PR, 28. Acesso em 30 de novembro de 2025, disponível em: <http://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/uso-e-reuso-da-agua.pdf>
- Iniyam, M., Thayalnayaki, D., Santhosh, J. (2024) A Review on Grey Water Treatment. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, **11**, 2665-2668. <https://www.jetir.org/papers/JETIR2405F38.pdf>
- Kimwaga, R. J. (2014) Characterization of greywater and its implication for reuse: A case study of peri-urban and unplanned areas. *International Journal of Ecology*, **28**, 79–86. https://www.researchgate.net/publication/283251918_Characterization_of_greywater_and_its_implication_for_reuse_A_case_study_of_peri-urban_and_unplanned_areas
- Kloss, C. (2008) *Managing Wet Weather with Green Infrastructure*, U.S. Editora Environmental Protection Agency. 14 p.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. (2009) Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment*, **407**, 3439-3449. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2009.02.004>
- Lima, L. R. de, Sampaio, Y. de S. B., Souza, I. G. de M., Silva, J. A. G. da, Sousa, R. A. M. de, Santos, J. S. dos, Cordeiro, S. de L. et Silva, M. M. D. (2020) Custos Ambientais E a Externalidade Negativa Das Lavanderias Têxteis Do Polo De Confecções Do Agreste De Pernambuco / Environmental Costs and External a Negative of Laundry Textiles of Manufacture of Polo Agreste of Pernambuco. *Brazilian Journal of Development*, **6**, 89894-89913. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-415>
- Mancuso, P. C. S., Santos, H. F. dos. (2003) *Reúso de água*. Editora Manole Ltda. 579p. https://books.google.com/books/about/Reúso_de_água.html?hl=pt-BR&id=ATxDFRuxInUC

- Moruzzi, R. B. (2008) Reúso De Água No Contexto Da Gestão De Recursos Hídricos: Impacto, Tecnologias E Desafios. *OLAM - Ciência & Tecnologia*, **8**, 271-294.
<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/article/view/2094>
- Moura, P. G., Aranha, F. N., Handam, N. B., Martin, L. E., Salles, M. J., Carvajal, E., Jardim, R. et Sotero-Martins, A. (2020) Water reuse: A sustainable alternative for Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **25**, 791-808.
<https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180201>
- Nolde, E. (2000) Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, **1**, 275-284. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6)
- Pangarkar, B. L., Parjane, S. B. et Sane, M. G. (2010) Design and economical performance of gray water treatment plant in rural region. World Academy of Science, *Engineering and Technology*, **37**, 896-900.
https://www.researchgate.net/profile/Bhauasaheb-Pangarkar/publication/242542967_Design_and_Economical_Performance_of_Gray_Water_Treatment_Plant_in_Rural_Region/links/5877607708ae8fce492fb83a/Design-and-Economical-Performance-of-Gray-Water-Treatment-Plant-in-Rural-Region.pdf
- Pedroza, M. M., Junior, C. A. F., Rodrigues, C. R., Arruda, M. G., Paz, E. C. S. et Lôbo, R. N. (2020) Tratamento de águas cinzas pelo processo coagulação / decantação / filtração / adsorção. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, **12**, 139-148. <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/14878/209209213417>
- Semura, K. A., Riccitelli, M., Gonçalves, M. C. (2005) *Estudo para Implantação de Reúso e Proposição de Parâmetros de Qualidade para Usos Urbanos Não Potáveis a Partir das ETE's da RMSP*. In 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Campo Grande.
- Telles, D., Costa, R., Nuvolari, A., Teixeira, E., Ribeiro, F., Nascimento, J., Basso, L. (2010) Reúso da água: conceitos, teorias e práticas. Edgard Blucher. 29 pp.