

Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização

Gray water in rural households: source separation and characterization

- **Data de entrada:**
10/05/2019
- **Data de aprovação:**
20/08/2019

Isabel Campos Salles Figueiredo | Natália Cangussu Duarte | Raúl Lima Coasaca |
Taína Martins Magalhães | Ariane Corrêa Barbosa | Daniella Gonçalves Portela |
Francisco José Peña y Lillo Madrid | Luana Mattos de Oliveira Cruz | Adriano Luiz Tonetti*

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.061>

Resumo

Na perspectiva do saneamento ecológico, as águas cinzas representam um valioso recurso que pode ser aproveitado na agricultura. No Brasil, porém, ainda são incipientes os dados sobre a geração e características desse tipo de efluente. O presente estudo apresenta um diagnóstico sobre a segregação e a disposição do esgoto realizada em uma comunidade rural de Campinas (SP). Foi encontrado que em mais de 90% dos domicílios existia a separação das águas cinzas, sendo a aplicação no solo ou em áreas de plantação de frutíferas as formas de destinação em 87% dos casos. A fonte da água cinza influencia fortemente sua composição. O efluente da cozinha destacou-se pelos valores elevados de DQO, SST e turbidez, superando os valores médios típicos para esgoto sanitário. A água cinza proveniente do chuveiro apresentou alta concentração de NTK, devido ao hábito de urinar no banho. Aquelas provenientes da lavanderia possuíam maior pH e condutividade elétrica devido aos sabões e produtos de limpeza nela presentes.

Palavras-chave: Esgoto. Tratamento. Descentralizado. Rural. Reúso. Diagnóstico.

Abstract

From the perspective of ecological sanitation, graywater represents a valuable resource that can be harnessed in agriculture. However, data on its generation and characteristics are still incipient in Brazil. Thus, this study aims at presenting a diagnosis of sewage segregation and disposal carried out in a rural area of Campinas (SP). As a result, it was found that in over 90% of households the gray water was segregated. The application in the soil or fruit crop areas was the destination in 87% of the cases. The source of gray water generation had a great influence on its composition. The kitchen effluent stood out for its COD and TSS values, as well as turbidity, surpassing typical average values for sanitary sewage. Gray waters from showers presented higher NTK concentration, due to the habit of urinating in the shower. Those from laundries presented higher pH and electrical conductivity due to soaps and cleaning products in it.

Keywords: Wastewater. Treatment. Decentralized. Rural. Reuse. Diagnosis.

Isabel Campos Salles Figueiredo – Bióloga. Mestre em Ecologia. Doutora em Saneamento. Trabalha com permacultura, educação ambiental e saneamento ecológico.

Natália Cangussu Duarte – Engenheira civil e Mestre em Engenharia Civil pela FEC/Unicamp.

Raúl Lima Coasaca – Engenheiro químico. Mestre em Saneamento e Ambiente pela FEC/Unicamp. Especialista em bioprocessos. Possui experiência em análise de dados.

Taína Martins Magalhães – Engenheira Química pela Unicamp. Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.

Ariane Corrêa Barbosa – Química e Engenheira Química. Doutoranda em Saneamento e Ambiente pela FEC/Unicamp. Atua em tratamento de efluentes doméstico e industriais.

Daniella Gonçalves Portela – Engenheira Civil. Mestre em Engenharia Química pela FEQ/Unicamp. Doutoranda em Saneamento e Ambiente pela FEC/Unicamp.

Francisco José Peña y Lillo Madrid – Engenheiro Ambiental pela EESC-USP. Doutorando e mestre em Saneamento e Ambiente pela FEC/Unicamp.

Luana Mattos de Oliveira Cruz – Professora da FEC/Unicamp. Mestre e Doutora em Engenharia Civil pela FEC/Unicamp.

Adriano Luiz Tonetti – Professor da FEC/Unicamp. Atua na área de saneamento descentralizado e remoção e uso de nutrientes de águas residuais.

***Endereço para correspondência:** Rua Saturnino de Brito, 224. Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas - SP. CEP: 13083-889. Caixa Postal: 6143. Telefone: (19) 3521-2369. E-mail: tonetti@unicamp.br.

1 INTRODUÇÃO

Diferentes tipos de esgoto são gerados dentro de um domicílio e, para cada tipo, há uma denominação específica. Águas de vaso sanitário, por exemplo, também chamadas de águas negras, escuras (FUNASA, 2018) ou fecais (PNSR, 2018 a), contêm fezes, urina, produtos químicos oriundos da higienização do vaso e, eventualmente, papel higiênico (FUNASA, 2018).

As águas cinzas representam os demais efluentes da casa (FUNASA, 2018). Em geral, são produzidas na lavagem de alimentos, louças e roupas, além dos banhos e outras atividades de higiene pessoal (TILLEY et al., 2014). Em residências que usam vasos sanitários com descarga, sua produção representa 65% do total de esgoto gerado. (TILLEY et al., 2014; FRIEDLER et al., 2013). Segundo Cheung et al. (2009), o valor pode chegar a 85% do total da água consumida em casas brasileiras.

A composição e a produção das águas cinzas dependerão da fonte produtora e da forma com que a água potável é utilizada, sofrendo influência direta das características regionais e culturais (ALVES et al., 2009; BOYJOO, PAREEK e ANG, 2013). A geração de correntes de esgoto segregadas também é influenciada por fatores como hábitos de vida, faixa etária dos ocupantes, cultura, sazonalidade, renda, pressão nas redes de abastecimento, tarifas de consumo, presença de hidrômetros e outros aspectos (QUEIROZ et al., 2019).

De forma geral, elas contêm: matéria orgânica, produtos químicos, gordura, sabão, fibras e cabelos, havendo diferença na composição de acordo com a sua origem (FUNASA, 2018). Essa fração do esgoto também pode conter traços de excretas e patógenos (TILLEY et al., 2014), de poluentes persistentes (JEFFERSON e JEFFREY, 2013; BOYJOO, PAREEK E ANG, 2013) e até de

metais potencialmente tóxicos (BOYJOO, PAREEK e ANG, 2013). A maioria dos dados disponíveis sobre sua composição é proveniente de pesquisas com enfoque no reúso em contextos urbanos (ALVES et al., 2009; SANTOS, 2019) e em países da Europa e América do Norte (MOREL E DIENER, 2006). No entanto, a realidade nos domicílios rurais e na América Latina é bastante diferente e pouco estudada.

Apesar de os números variarem de acordo com a região e com as peculiaridades locais, a prática da segregação da água cinza em domicílios rurais é uma realidade comum no Brasil (TONETTI et al., 2018). Por isso, foi mencionada em algumas publicações importantes da área, como o “Manual de Saneamento” da Funasa (FUNASA, 2015) e o documento “Eixos Estratégicos do Programa Nacional de Saneamento Rural”, que elenca a separação e o reúso local de águas cinzas como estratégias para garantir a disposição adequada de águas residuárias no contexto do saneamento rural (PNSR, 2018).

Apesar de comuns, as práticas que envolvem a segregação, tratamento e disposição final de águas cinzas na área rural ainda são pouco documentadas e discutidas (GODFREY et al., 2010). Não existe uma estimativa confiável sobre seu uso formal ou informal, mas é evidente que a prática é significativa e crescente em nível global (WHO, 2016). A disposição direta no solo é descrita como uma prática comum nos países em desenvolvimento (OH et al., 2018), mas ainda faltam dados quanti e qualitativos para o contexto brasileiro, tanto na região urbana como na rural.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi realizar um diagnóstico da prática de segregação e tratamento de águas cinzas em uma comunidade rural de Campinas (SP), bem como caracterizar amostras dessa fração específica do esgoto.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi conduzida em uma área rural do município de Campinas (SP), onde prevalece a agricultura familiar em pequenas propriedades produtoras de frutas e legumes (Figueiredo, 2019). O estudo foi realizado em duas etapas, descritas a seguir.

2.1 Diagnóstico sobre a segregação e o tratamento das águas cinzas

Foi realizado um diagnóstico rural participativo (DRP) com metodologia proposta por Verdejo (2006). Essa etapa incluiu entrevistas semiestruturadas (VERDEJO, 2006; GIL, 2008) e visitas de campo apoiadas na observação participante (GIL, 2008). A descrição da metodologia completa pode ser encontrada em Figueiredo (2019).

As entrevistas abordavam a existência de segregação do esgoto nos domicílios (águas de vaso sanitário x águas cinzas), o destino e o tratamento dados para as águas cinzas e a opinião dos moradores sobre essa prática. As opiniões dos moradores foram registradas de forma fiel e se destacam em *itálico* ao longo do texto. Foram realizadas 33 entrevistas e avaliados 125 domicílios durante a pesquisa.

2.2 Caracterização das águas cinzas

Após a fase inicial de diagnóstico, foi realizada a caracterização de diferentes amostras de água cinza provenientes de dois domicílios rurais com quatro habitantes cada. As amostras foram coletadas em duas residências, que se voluntariaram para a participação na pesquisa realizada no contexto de um projeto de extensão universitária (MADRID et al., 2015; FIGUEIREDO, 2019).

Na primeira residência foram coletadas amostras de águas cinzas provenientes dos seguintes pontos: Banheiro (chuveiro e lavatório); Lavan-

deria (tanque e máquina de lavar roupa); Cozinha (pia). A água cinza da pia da cozinha era coletada após a passagem por uma caixa de gordura.

Na segunda residência foram coletadas amostras de água cinza denominada mista, composta pelo agrupamento da água usada no chuveiro, pia de banheiro e cozinha (sem passagem por caixa de gordura).

As coletas ocorreram quinzenalmente entre maio de 2017 e fevereiro de 2018, sempre no período da manhã. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P_{total}), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), sólidos suspensos totais (SST), Coliformes Totais e *Escherichia coli*. Em todas as análises foram seguidos os métodos descritos em APHA et al. (2012).

O número de amostras coletadas (Tabela 1) variou muito em função do acesso aos domicílios, da disponibilidade dos moradores e da organização do trabalho de campo e laboratório.

Tabela 1 - Número de amostras (n) para cada parâmetro avaliado nas águas cinzas.

Parâmetro	Chuveiro e Lavatório	Cozinha	Lavanderia	Mista
DQO	9	9	11	13
SST	5	9	9	12
NTK	7	8	9	11
P_{total}	3	4	2	6
Coliformes totais	4	3	3	6
<i>E. coli</i>	4	3	3	6
pH	9	9	11	13
CE	9	9	11	13
Turbidez	9	9	11	13

Os resultados obtidos foram comparados por meio do teste de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$), seguido do teste de Dunn. Para avaliar a influência da origem sobre a composição do efluente, foi utilizada uma análise multivariada de fatores com dados mistos (FAMD).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A separação das águas cinzas nos 125 domicílios rurais pesquisados se mostrou uma prática bastante comum (Figura 1). Na grande maioria dos domicílios havia a segregação de pelo menos parte das águas cinzas resultantes das atividades domésticas. Foi observada a separação dos efluentes da lavanderia (máquina de lavar,

tanquinho ou tanque) em 91,2% dos domicílios e dos provenientes da pia da cozinha em 83,2% dos casos. Entretanto, as águas cinzas oriundas do banheiro (pia e chuveiro) foram segregadas em menor número de residências (63,2%), provavelmente devido à facilidade de conexão do encanamento do vaso sanitário com o do lavatório e o do chuveiro.

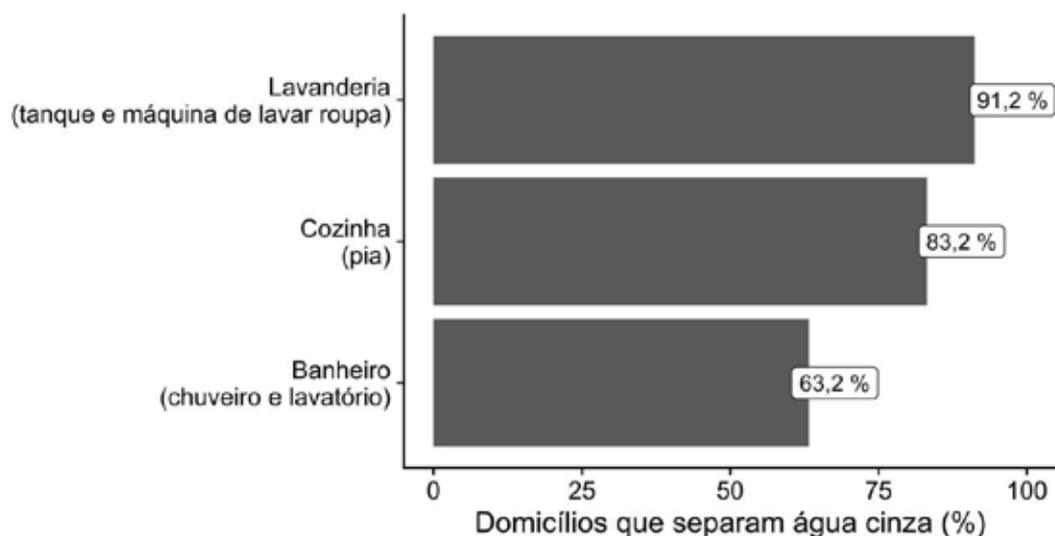


Figura 1 - Percentagem dos domicílios que faziam a separação das águas cinzas em uma comunidade rural de Campinas (SP).

Esses dados estão de acordo com o descrito sobre domicílios rurais de todo o Brasil, onde as águas cinzas são separadas e normalmente lançadas nos quintais (PNSR, 2018b). Martinetti (2009), por exemplo, observou a separação em todos os domicílios de um assentamento rural no interior paulista.

Apesar da sua disseminação, essa prática ainda é pouco documentada em estudos científicos. Também pouco é incluída nas normas técnicas que fornecem as diretrizes para o tratamento de efluentes em áreas que não são atendidas por redes coletoras. Não há qualquer menção a respeito desse tema nas normas NBR 7229 (ABNT, 1993) e NBR 13969 (ABNT, 1997).

A separação das águas cinzas é considerada um passo para o tratamento mais ecológico e eficiente do esgoto dentro de uma perspectiva mais susten-

tável (FUNASA, 2015). Ao segregar as águas cinzas é possível fazer seu reúso mesmo que de forma não planejada, em local próximo ao ponto de geração. A separação também beneficia indiretamente o tratamento das águas de vaso sanitário, parcela do esgoto que traz mais preocupações do ponto de vista sanitário, visto que essa segregação diminui a vazão produzida, bem como a carga poluidora.

Outro ponto observado no presente estudo diz respeito ao transporte das águas cinzas, o qual era feito por tubulação de PVC rígido branco (esgoto) ou azul (irrigação), além de mangueiras flexíveis de polietileno (Figura 2). O uso da tubulação flexível permitia que a posição da disposição no solo fosse alterada com frequência, evitando o “*empoçamento*”. Tal prática também foi descrita por Ludwig (2012).



Figura 2 - Exemplos da segregação do esgoto em domicílios de uma comunidade rural de Campinas (SP).

3.1 Tratamento e disposição das águas cinzas

Também foi possível perceber que, além de serem separadas, as águas cinzas eram tratadas de maneira diferente do restante do esgoto doméstico. Elas recebiam, quase sempre, um tratamento “intuitivo”, sendo aplicadas diretamente no solo (45%), como apresentado na Figura 3A, ou próximas a plantas como taiobas

(Figura 3B) e frutíferas (32%), especialmente bananeiras (Figura 3C). Esses dados corroboram o reportado no PNSR (2018b). Em apenas 12% dos casos, as águas cinzas eram encaminhadas para fossas absorventes ou tanques sépticos. Também foi observada sua disposição diretamente em corpos d’água (11%), configurando um tratamento inadequado.

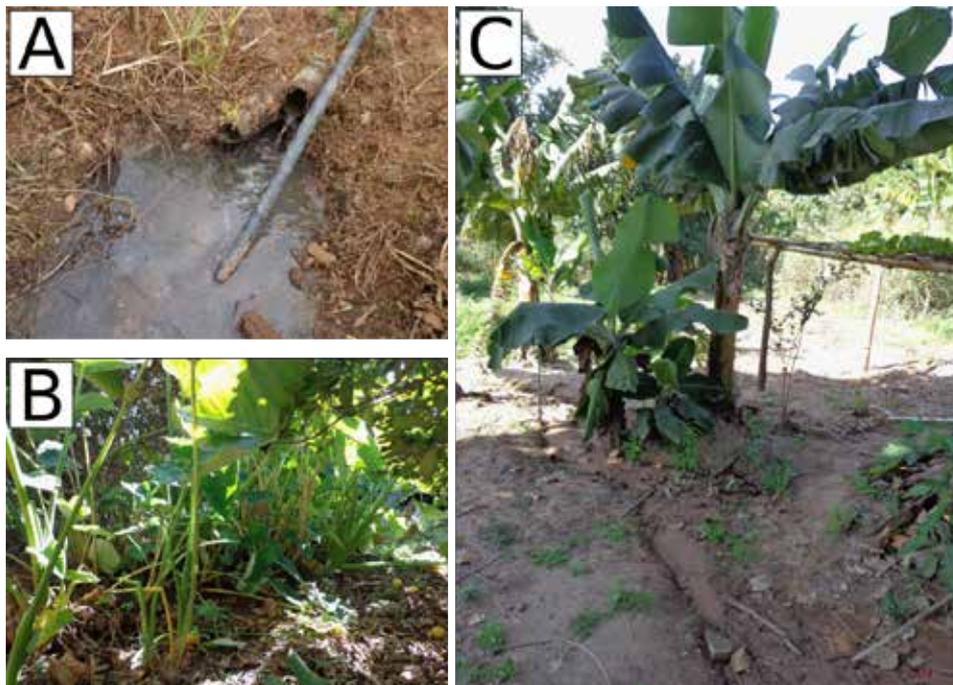


Figura 3 - Disposição de águas cinza em uma comunidade rural de Campinas (SP). A) No solo. B) Aplicadas em área com plantio de taiobas. C) Direcionadas para bananeiras.

Porto (2016) observou que em comunidades de Santa Catarina, Paraná e Minas Gerais havia o predomínio da disposição direta das águas cinzas da cozinha e da área de serviço no solo. Pesquisa realizada em 171 domicílios rurais de Quixadá (CE) apontou que em pelo menos 96,5% das casas as águas cinzas eram dispostas em locais próximos às moradias (MELLO et al., 1998). Outra investigação realizada com assentamentos rurais no estado do Ceará mostrou que 98% das águas geradas na cozinha e chuveiro eram dispostas no solo, assim como 99% daquelas provenientes do tanque ou máquina de lavar roupa (PINHEIRO, 2011). Em Itaiçaba (CE), 15 dos 16 domicílios avaliados lançavam as águas cinzas no próprio terreno (BOTTO et al., 2005).

Na presente pesquisa, além da bananeira e da taioba, outras plantas foram observadas nos locais de disposição final, tais como: capim, chuchu, manga, acerola, goiaba e jabuticaba. Para Jiménez e Asano (2008), essa prática é comum em países em desenvolvimento, sendo adotada na irrigação de flores, frutas e hortaliças. Em Gana é comum haver o plantio proposital de bananeiras, mangueiras, moringa e mamão em locais próximos à drenagem de chuveiros (FAGAN, 2015).

Quando há essa aplicação direta, parte do efluente evapora, o restante percola no solo ou é utilizado pelas plantas. Apesar de a produtividade não ser o objetivo principal da aplicação de esgoto no solo, a manutenção de plantas saudáveis é essencial ao bom funcionamento do sistema (WEF, 2010), sendo mais adequado o uso de espécies perenes e produtivas durante o ano todo. Esse tipo de prática possibilita o aumento da produção de alimentos e permite o desenvolvimento econômico local, embora também possa aumentar o risco de doenças (WHO, 2006). Também é recomendado que as áreas de aplicação de esgoto tenham solos com boa capacidade de drenagem e com águas subterrâneas em profundidades superiores a 1,5 m (VON SPERLING, 2014).

A percolação no solo é responsável por uma elevada remoção de patógenos do efluente (VON SPERLING, 2014), porém altas cargas de matéria orgânica, nutrientes e patógenos podem afetar negativamente o ambiente e oferecer risco à saúde humana (KATUKIZA et al., 2015). Segundo Boyjoo, Pareek e Ang (2013), não é esperado que o uso de águas cinzas para irrigação de quintais em nível domiciliar e em pequena escala seja impactante, mas é necessário tomar algumas precauções.

A fim de minimizar o risco ao ambiente e à saúde pública, tecnologias simples e desenvolvidas localmente têm surgido (JIMÉNEZ e ASANO, 2008). A irrigação com águas cinzas é incentivada há anos pela permacultura (LUDWIG, 2012; JENKINS, 2005 e MOLLISON, 1994) e vem ganhando força mesmo dentro de publicações mais conservadoras. No Brasil, a Funasa sugere o uso de círculo de bananeiras para o tratamento e disposição final desses efluentes e o plantio de bananeiras, mamoeiros e lírios para auxiliar no tratamento e reúso das águas (FUNASA, 2015). Em publicação mais recente, também é sugerido o filtro de mulche, uma solução simples e acessível para o tratamento de águas cinzas no solo (FUNASA, 2018). No entanto, é importante avaliar continuamente o possível impacto desta prática na qualidade do solo, das águas e na saúde humana (TONETTI et al., 2018).

Verificou-se no presente estudo que o uso de águas cinzas não é feito de modo planejado, mesmo em locais onde existe escassez hídrica (MOREL e DIENER, 2006; WHO, 2006; WHO, 2016). Por meio da observação participante e das entrevistas, ficou claro que, no contexto estudado, o objetivo da água cinza não é a irrigação, mas a disposição final de modo prático e simples, mesmo havendo a percepção de que “as plantas gostam” desse recurso.

Essa forma de reúso não intencional na agricultura é comum em países em desenvolvimento, não apenas em áreas secas, mas também em regiões úmidas (JIMÉNEZ e ASANO, 2008; JIMÉNEZ, 2008). As águas residuais contêm nutrientes valiosos que podem aumentar a produtividade das culturas, proporcionando economia em fertilizantes artificiais (WHO, 2016). Na presente pesquisa, o reúso intencional das águas cinzas para o cultivo de alimentos foi observado em apenas uma propriedade, onde o efluente era armazenado para ser utilizado posteriormente, sempre que necessário.

3.2 Opinião dos moradores

Os produtores rurais da área pesquisada demonstraram ter pouca preocupação com o destino das águas cinzas. Isso também é observado em outras partes do mundo, apesar das diferenças culturais terem um grande impacto na aceitação do uso desse recurso (WHO, 2006).

A maioria dos entrevistados relatou que não observa problemas relacionados com a disposição simplificada das águas cinzas no solo. Foi mencionado que elas normalmente “*infiltram rápido*”, “*se dispersam na terra*” ou “*drenam bem*”. Além disso, “*as plantas gostam e dá muita minhoca*”. Os únicos problemas mencionados por cinco entrevistados foram a presença de “*moscas*”, “*mau cheiro*” ou “*fedor pouco*” ou a formação de uma “*crosta*”. Esses problemas, no entanto, são percebidos como de fácil resolução: “*quando empoça, aí drena*” ou “*cava uma valeta para água correr*”.

Para algumas populações, especialmente as que habitam regiões de pouca disponibilidade hídrica, a aceitação da água cinza como fonte de água para o cultivo de alimentos é grande, como demonstrado em estudo realizado com agricultores de Malawi, país da África subsaariana (NEWCOMER et al., 2017). No Brasil, essa aceitação também existe, mas tem sido pouco documentada.

Um bom exemplo vem do projeto “Bioágua Familiar”, realizado no semiárido do Rio Grande do Norte, onde mais de 200 sistemas de tratamento simplificado de águas cinzas por vermifiltração foram implantados. O efluente tratado é utilizado na irrigação de hortas e árvores frutíferas, com boa aceitação pelas famílias (SANTIAGO et al., 2015).

Um fator que contribui para essa aceitação é a percepção de que como as águas cinzas estiveram em contato com as pessoas antes de serem lançadas como esgoto, elas podem conter “*sujeiras*”, mas não fazem mal. Logo, podem ser lançadas no ambiente sem muita preocupação ou mesmo ser reutilizadas de forma direta para dar descarga em vasos sanitários ou molhar plantas no jardim (WHO, 2006), como é comum no Brasil.

Agricultores não apenas aceitam essa forma de reúso como fazem questão dela, já que aumenta a produtividade das suas culturas (JIMÉNEZ, 2008). A boa aceitação do reúso direto de água cinza se reflete no baixo coeficiente de retorno esgoto/água em comunidades onde é comum o reaproveitamento nos quintais (FUNASA, 2015). Para De Oliveira Cruz et al. (2018) e De Oliveira Cruz et al. (2019), coeficientes de retorno menores são comuns em áreas rurais devido ao uso de águas de máquina de lavar roupa na irrigação de plantas e limpeza de áreas internas e externas.

3.3 Caracterização das águas cinzas

3.3.1 DQO e SST e turbidez

Alguns autores (ZEEMAN e KUJAWA-ROELEVELD, 2013) acreditam que a concentração de matéria orgânica em águas cinzas seja muito menor do que nas de vaso sanitário. Porém isso não foi observado no presente estudo (Tabela 2). Os quatro tipos de águas cinzas analisadas possuíam médias de DQO acima de $600 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$, valor típico para esgoto doméstico (VON SPERLING, 2014).

Friedler (2004) também obteve altos valores de DQO para água de chuveiro ($645 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$) e superior a $1300 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ para água de cozinha e lavanderia. Para Morel e Diener (2006), em locais onde o gasto de água é pequeno, as águas cinzas

produzidas são mais concentradas e apresentam características similares às do esgoto doméstico comum. Portanto, a premissa de que as águas cinzas são sempre a fração mais “fraca” do esgoto não pode ser sempre aplicada.

Tabela 2 - Análise descritiva de diferentes tipos de águas cinzas produzidos em uma comunidade rural de Campinas (SP)*.

Parâmetro	Cozinha	Mista	Chuveiro e lavatório	Lavanderia
DQO ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$)	2331±308 a	1296±565 b	611±723 c	748±519 c
SST (mgL^{-1})	1109±706 a	318±283 ab	178 + 158 bc	93±78 c
NTK (mgN L^{-1})	9,5±4,9 a	24,5±15,1 ab	126,0±132,0 b	22,5±18,9 ab
P _{total} (mgL^{-1})	3,4±2,1 a	5,3±8,7 a	6,9±11,3 a	3,7±2,1 a
Col. totais (NMP 100 mL ⁻¹)	$2,4 \times 10^7 \pm 0,0 a$	$5,2 \times 10^7 \pm 9,3 \times 10^7 a$	$7,9 \times 10^5 \pm 1,1 \times 10^7 ab$	$1,3 \times 10^4 \pm 9,1 \times 10^3 b$
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	$2,1 \times 10^6 \pm 1,3 \times 10^6 a$	$3,1 \times 10^6 \pm 5,2 \times 10^6 a$	$2,3 \times 10^6 \pm 3,1 \times 10^6 a$	$5,6 \times 10^2 \pm 5,1 \times 10^2 a$
pH	5,5±0,5 a	6,0±0,6 ab	7,1±0,2 b	8,6±1,4 b
Condutividade (mS cm^{-1})	0,4±0,1 a	0,5±0,1 a	0,6±0,4 a	2,1±1,3 b
Turbidez (uT)	242±106 a	179±95 a	154±185 ab	66±42 b

*Letras minúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferenças significativas entre as médias apresentadas ($p \leq 0,05$).

As águas cinzas com menor DQO foram aquelas provenientes do chuveiro e lavatório ($611 \pm 723 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$) e da lavagem de roupas ($748 \pm 519 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$), enquanto as que se mostraram com valores significativamente maiores foram as provenientes da cozinha ($2331 \pm 308 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$), mesmo existindo uma caixa de gordura na residência. Para Birks e Hills (2007), o valor da DQO média sempre irá aumentar ao incorporar-se águas cinzas mais fortes provenientes de pias de cozinha e máquinas de lavar louça. Cheung et al. (2009) também constataram que, em geral, a DQO do efluente que engloba a água da cozinha é superior à daquela proveniente de chuveiros, lavatórios e lavanderias. Bakare et al. (2016) também avaliaram diferentes tipos de águas cinzas e concluíram que as com maiores DQO eram provenientes da cozinha (1200 a $3955 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$).

A matéria orgânica presente na água cinza da cozinha é proveniente de resíduos grosseiros de alimentos, óleos, gorduras, detergentes e outros produtos de limpeza, ocasionando uma carga poluente mais acentuada frente às originadas no chuveiro, lavanderia ou mista. Em função disso,

Friedler et al. (2013) e Ludwig (2012) classificam a água cinza da cozinha como “cinza-escura”. Para Bakare et al. (2016), essas águas possuem altas concentrações de matéria orgânica, mas uma baixa relação DBO/DQO, o que pode prejudicar sua degradação biológica.

Por sua vez, Friedler et al. (2013) e Friedler (2004) consideram que o efluente gerado na lavanderia possui carga poluidora acentuada e que as águas cinzas geradas no chuveiro são mais fracas. Na presente pesquisa não foram observadas diferenças significativas entre as amostras coletadas no chuveiro e na lavanderia (Tabela 2). A matéria orgânica desses casos é proveniente, principalmente, de sabão e produtos de uso pessoal, os quais contribuem menos com a carga orgânica se comparados aos resíduos de alimentos, óleos e gorduras. No caso das águas mistas, é esperado que a concentração de matéria orgânica seja inferior à encontrada nas águas da cozinha, uma vez que há uma diluição por meio da mistura com o efluente dos demais locais da casa.

Assim como a DQO, os sólidos suspensos totais (SST) estão associados aos resíduos de alimen-

tos e sua concentração nas águas da cozinha se destacou ($1109 \pm 705 \text{ mgL}^{-1}$), sendo maior do que o valor típico (350 mgL^{-1}) para esgoto doméstico (VON SPERLING, 2014) e significativamente superior ao encontrado para a lavanderia (Tabela 2). Outros autores também reportaram maiores concentrações de SST em águas cinzas provenientes da cozinha, quando comparada com outras origens (NOUTSOPOULOS et al., 2018; KATUKIZA et al., 2015; BRIKS e HILLS, 2007; FRIEDLER, 2004). Morel e Diener (2006) indicam uma

faixa típica de 50 a 300 mgL^{-1} , mas apontam a existência de valores de até 1500 mgL^{-1} em casos isolados. Por sua vez, a turbidez seguiu a mesma tendência apresentada para os SST, mostrando a interrelação entre ambos.

A presença de caixa de gordura instalada após a pia da cozinha (Figura 4) certamente contribuiu para a retenção de sólidos sedimentáveis e espuma, mas mesmo com esse aparato as amostras tinham teor de SST cerca de 12 vezes maior que o das águas da lavanderia.



Figura 4 - Caixa de gordura instalada após a pia da cozinha. Na bacia ao lado encontram-se os sólidos retirados durante a limpeza semestral.

Para Morel e Diener (2006), Tonetti et al. (2018) e PNSR (2018 a), a caixa de gordura deve ser instalada em domicílios rurais como forma de pré-tratamento. Seu projeto, dimensionamento e operação estão detalhados na NBR 8160 (ABNT, 1999). Porém sua limpeza na prática é árdua, desagradável e normalmente feita em uma frequência inferior à recomendada. Como consequência há o acúmulo de sólidos em seu interior, tornando-a uma caixa de passagem, pouco eficiente.

A norma brasileira descreve como fazer sua limpeza e cita que esta deve ser feita periodicamente, porém não expõe qual seria o destino do resíduo removido. Na área urbana ele pode ser retirado por caminhão limpa fossa ou de forma manual, sendo direcionado para o descarte em conjunto com os resíduos sólidos. No entanto, na área rural a coleta desse material é praticamente inexistente, dificultando sua destinação adequada. Por isso, Tonetti et al. (2018) sugerem que seja enterrado.

Nos círculos ligados à permacultura questiona-se a real necessidade da instalação desse equipamento nos domicílios rurais. Há outras tecnologias simplificadas, como os filtros de palha ou serragem (MOREL e DIENER, 2006). Entretanto, ainda não há informações sobre seus aspectos construtivos e sua capacidade de tratamento.

3.3.2 Nutrientes

Jefferson e Jeffrey (2013), Alves et al. (2009) e Morel e Diener (2006) destacam que as águas cinzas são escassas em nutrientes, já que tais compostos estão presentes em maior parcela na água do vaso sanitário. Entretanto, no presente estudo (Tabela 2), a concentração de fósforo total (P_{total}) nas amostras de águas cinzas do chuveiro aproximou-se dos níveis do esgoto típico (7 mgL^{-1} ; VON SPERLING, 2014). Uma explicação para essa característica seria o uso de xampus, protetor solar e sabonete líquido que possuem fosfatos em sua composição para cumprir a função de estabilizadores de espuma. Outra hipótese seria a coleta da água residual após a limpeza do banheiro, na qual são utilizados detergentes e até mesmo sabão em pó oriundo do reúso da água da máquina de lavar roupa (ISENMANN, 2017).

Em outros locais foram encontrados valores discrepantes; por exemplo, Katukiza et al. (2015) realizaram um estudo em Uganda e reportaram concentrações elevadas de fósforo nas águas cinzas provenientes de lavanderia ($8,4 \text{ mgL}^{-1}$). Os autores pontuaram que os valores eram significativamente diferentes dos outros pontos de coleta avaliados.

Com relação ao nitrogênio, o efluente gerado no uso do chuveiro apresentou concentração média maior do que nos demais locais e com uma variação muito grande nos resultados obtidos ($126,0 \pm 132,0 \text{ mgN L}^{-1}$). Provavelmente este dado

pode ser resultante do hábito de urinar durante o banho. Cabe destacar o alto grau impactante da urina, visto que a concentração de nitrogênio em sua composição pode chegar a uma média de $3,07 \pm 1,15 \text{ gL}^{-1}$ (RANASINGHE et al., 2016).

Apesar disso, sua concentração não foi significativamente diferente daquela na água da lavanderia e na mista (Tabela 2). Isso ocorreu devido à grande variação na concentração de nitrogênio no efluente proveniente do chuveiro, possivelmente devido ao comportamento de urinar durante o banho não ser comum para todos os moradores de uma mesma residência. Com isso, os valores encontrados passavam a ser comparáveis aos dos outros pontos de geração, que recebiam contribuições de nitrogênio a partir do uso de desinfetantes e produtos de limpeza que possuem em sua composição compostos à base de amônia.

Esses resultados divergem de estudos encontrados na literatura, possivelmente devido aos hábitos culturais. Por exemplo, Pidou et al. (2008), ao realizarem uma pesquisa no Reino Unido, constataram que as amostras provenientes do chuveiro apresentavam apenas $16,4 \text{ mgL}^{-1}$ de nitrogênio. Esse resultado é oito vezes menor do que o obtido no presente estudo (Tabela 2). Em escolas rurais da Índia, o NTK médio encontrado foi de $12,0 \text{ mgN L}^{-1}$. No estudo de Bazzarella (2005) e na revisão feita por Morel e Diener (2006), a concentração de NTK se destacava somente nas amostras da cozinha.

3.3.3 pH e condutividade elétrica

O pH médio do efluente da cozinha ($5,5 \pm 0,5$) foi significativamente mais ácido que o proveniente do chuveiro e lavanderia (Tabela 2). Essa tendência provavelmente sofreu influência do uso de sabões com base de hidróxido de sódio e do uso

de água sanitária na lavanderia, substâncias que elevam o pH da água (MOREL e DIENER, 2006).

Em relação à condutividade elétrica (CE), ela se destacou na amostra proveniente da lavanderia ($2,1 \pm 1,3 \text{ mS cm}^{-1}$), possivelmente devido ao uso de sabão em pó, cuja composição apresenta sais que se dissolvem no processo de lavagem (MOREL e DIENER, 2006). Bazzarella (2005) e Friedler (2004) obtiveram resultados semelhantes ao analisar amostras de águas cinzas em residências urbanas. Para Morel e Diener (2006), valores típicos de CE em águas cinzas de países em desenvolvimento variam entre 0,3 e $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$. Logo, excetuando-se o efluente produzido na lavanderia, as outras amostras analisadas no presente estudo estavam de acordo com os resultados expostos por esses autores.

A condutividade elétrica deve ser levada em consideração ao utilizar o efluente para fertirrigação. A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) recomenda que efluentes com CE superior a $3,0 \text{ mS cm}^{-1}$ tenham restrições quanto ao uso na irrigação. Embora a média encontrada para o efluente proveniente da lavanderia seja inferior ao recomendado, 40% das amostras apresentaram valores superiores, indicando que seu uso direto na irrigação deve ser realizado de forma cautelosa.

3.3.4 Organismos indicadores

Foram encontradas elevadas concentrações, maiores do que $105 \text{ NMP}100 \text{ mL}^{-1}$, de coliformes totais e *E. coli* nas amostras de água do chuveiro, da cozinha e mista (Tabela 2).

Apesar de existirem poucas informações sobre esse tema no contexto rural, Jefferson e Jeffrey (2013) acreditam que as concentrações de organismos indicadores em amostras de águas cinzas podem variar muito, com valores oscilando entre <1 e $107 \text{ UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$, com média de 103. A população de microrganismos nesse tipo de

efluente inclui bactérias provenientes de nariz, ânus e boca, além daquelas advindas da lavagem de vegetais e carnes cruas e da higienização das mãos após o uso do banheiro. A lavagem de fraldas também pode ser uma fonte de geração (MOREL e DIENER, 2006).

Níveis altos de *E. coli* também foram reportados em amostras de águas cinzas por Friedler (2004) e Bazzarella (2005), especialmente nas águas do chuveiro e águas mistas. Nas amostras de água cinza proveniente da lavagem de roupas, entretanto, foram observadas concentrações mais baixas de coliformes totais ($1,37 \times 10^4 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$). Uma explicação para esse comportamento seria a maior diluição e uso de produtos de limpeza (desinfetantes, água sanitária e sabões), os quais contribuiriam para diminuir ou eliminar a presença de microrganismos. O estudo de Newcomer et al. (2017) realizado em domicílios rurais de Malawi também encontrou as menores concentrações de bactérias nas amostras de água da lavagem de roupas e de mãos.

Segundo as recomendações da WHO (2006), o número máximo de *E. coli* em águas empregadas na irrigação de culturas onde o agricultor tem muito contato com o solo irrigado é de $1,0 \times 10^4 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. No presente estudo, todas as amostras avaliadas superaram esse padrão e foram somente ligeiramente inferiores ao normalmente encontrado em esgotos brutos ou em rios com alto grau de contaminação. Logo, é necessário cautela quanto ao seu uso direto em alguma atividade agrícola.

3.4 Avaliação global das águas cinzas

Foi utilizada uma Análise de Componente Principal para simplificar as tendências e observar melhor as características das águas cinzas estudadas em apenas dois componentes (dimensões) que resumem todas as variáveis avaliadas (LEVER

et al., 2017). A dimensão 1 (Dim1) engloba as variáveis Coliformes Totais, *E. coli*, pH e condutividade elétrica. A dimensão 2 (dim2) considera fósforo total, NTK, DQO e sólidos suspensos Totais (SST).

Com isso, foi aplicado o método de análise de fatores para dados mistos (PAGÈS, 2014). Pelos resultados, foi possível observar que cada uma das amostras apresentou características diferentes dependendo da origem (Figura 5).

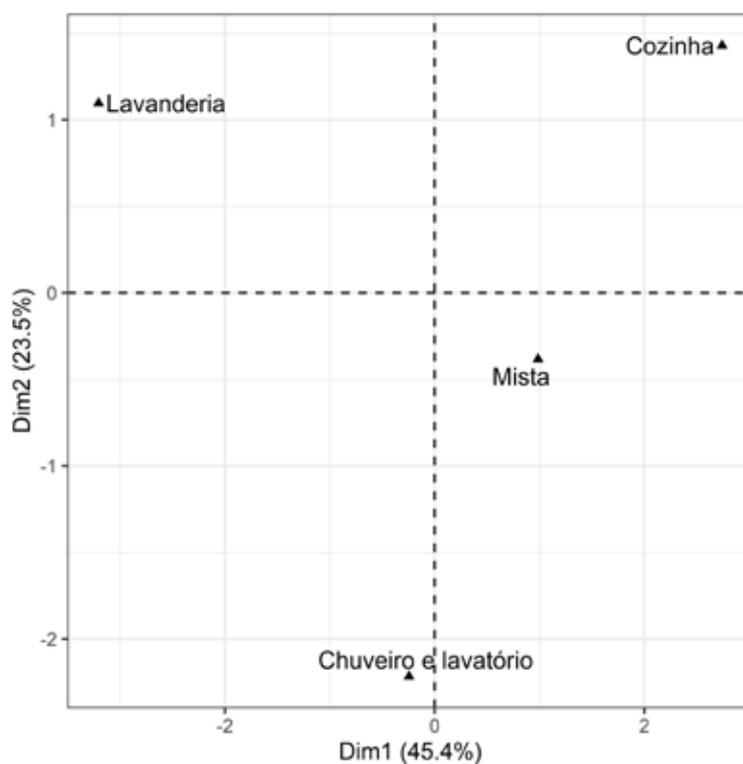


Figura 5 - Análise multivariada de fatores com dados mistos para as águas cinzas coletadas. Dim 1 (Coliformes Totais, *E. coli*, pH, condutividade elétrica) e Dim 2 (fósforo total, NTK, DQO e SST). O valor entre parênteses representa a porcentagem de variância retida para cada dimensão.

Esse estudo estatístico indica que as origens das amostras não apresentaram uma relação entre si. Como consequência, houve a produção de efluentes com características distintas, mesmo tendo a mesma denominação (águas cinzas). O mesmo resultado foi encontrado por Bakare et al. (2016), que avaliaram amostras de águas cinzas de 75 domicílios na África do Sul. Jefferson e Jeffrey (2013) também constataram que a variabilidade de águas cinzas reflete as ações das pessoas que as produzem e é consequência de fatores geográficos, econômicos e sociais.

3.5 Águas cinzas: como fazer o reúso?

A grande variação da composição das águas cinzas representa um desafio para o tratamento e a disposição final dessa fração do esgoto. Com seu uso frequente, o solo e as águas subterrâneas podem ser contaminados por altas concentrações de sódio, surfactantes ou microrganismos patogênicos (KATUKIZA et al., 2015). Portanto, seu reúso e disposição final devem ser realizados de forma segura e cautelosa.

Um aspecto fundamental no seu manejo correto seria impedir o escoamento de forma ex-

posta sobre a superfície do solo (Figura 3A). Isso evitaria o contato de pessoas, animais e vetores com essas águas e amenizaria a transmissão de doenças. Haveria a criação de barreiras físicas entre os usuários e o efluente e seria evitada a geração de águas paradas e odores, além da procriação de larvas. Nesse ponto é importante ressaltar as altas concentrações de organismos indicadores de contaminação fecal em todas as águas avaliadas (Tabela 2).

Logo, é preciso buscar sistemas de tratamento ou de disposição final que minimizem o contato entre as águas cinzas, os vetores e a população. Há diversas tecnologias que atendem a esses requisitos, tanto expostas em normas (NBR 7229, ABNT 1993 e NBR 13969, ABNT, 1997) como praticadas em algumas comunidades (TONETTI et al., 2018).

Porém as normas brasileiras apresentam aspectos de dimensionamento direcionados ao tratamento de efluentes provenientes do conjunto de uma residência, não daqueles frutos da segregação das águas cinzas e águas do vaso sanitário. Como visto no presente texto, na área rural brasileira é predominante essa separação (Figura 1), logo, cabe às universidades buscar o desenvolvimento de pesquisas que atendam a essa demanda.

O uso desse tipo de efluente sem tratamento para a irrigação de culturas também deve ser questionado. Normalmente as águas cinzas são separadas em domicílios unifamiliares e há a geração de uma vazão que não justificaria o emprego de sistemas complexos de tratamento, desinfecção, bombeamento e irrigação. Ou seja, o reúso ocorreria nas proximidades da própria residência.

Nas redondezas do domicílio normalmente são plantadas culturas empregadas na subsistência (alface, repolho, couve, espinafre, rúcula, cenoura e outras) e, caso houvesse o reúso, as águas cinzas seriam aplicadas nessas plantas que são comidas cruas. Isso aumentaria o risco da transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Uma forma de viabilizar o reúso seria agregar as tecnologias de infiltração no solo de maneira subsuperficial e o plantio dessas culturas sobre o terreno irrigado. Desse modo, haveria o uso da água e de nutrientes pelas plantas e o solo cumpriria a função de uma barreira sanitária. Mesmo quando há o desejo da irrigação de plantas frutíferas, seria necessário adotar essa prática.

Finalmente, um ponto que ainda deve ser esclarecido diz respeito ao uso da água proveniente de lavanderias para lavagem de pisos internos e para a irrigação de culturas de subsistência. Especificamente, a água da máquina de lavar roupa.

Foi constatado no presente estudo que essa água residual tem sido empregada na lavagem de pisos e em descarga de vasos sanitários. Isso propicia um contato direto entre as pessoas e a água residual. Sendo essa prática comum no meio rural e ainda inexistindo pesquisas nesse tema, seria importante o envolvimento de grupos de pesquisa na avaliação desse tipo de reúso. Levando em conta não somente parâmetros físicos, químicos e biológicos, mas também uma análise guiada por evidências científicas de risco à saúde humana.

Do mesmo modo, o emprego dessa água residual na irrigação deve ser cuidadosamente avaliado. Os altos valores de condutividade elétrica (Tabela 2) foram preocupantes. Logo, em um primeiro momento seu emprego poderá ser benéfico para a planta, mas a longo prazo poderá criar problemas de salinização do solo. No entanto, mais uma vez há a necessidade de aprofundamentos dos estudos sobre este tema.

4 CONCLUSÕES

Foi observada a prática de separação entre as águas de vaso sanitário e as águas cinzas na comunidade rural estudada, especialmente aquelas geradas na lavanderia e na cozinha. As principais destinações das águas cinzas após a segregação

foram a aplicação direta no solo ou em área de plantação de frutíferas. Esse uso não é realizado de modo planejado e tem como objetivo uma disposição final prática e simples e que é percebida de maneira muito positiva pelos moradores.

A fonte geradora influenciou a composição das águas cinzas, existindo uma grande variabilidade de acordo com sua origem. O efluente oriundo da cozinha apresenta valores elevados de DQO ($2331 \pm 308 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$) e SST ($1109 \pm 705,9 \text{ mgL}^{-1}$), se comparados aos da lavanderia e do chuveiro. Por sua vez, a água cinza gerada no uso do chuveiro se destaca pela concentração de NTK ($125,8 \pm 131,9 \text{ mgL}^{-1}$), possivelmente devido ao hábito de urinar durante o banho.

As águas cinzas da lavanderia apresentam pH e condutividade elétrica superiores aos das demais fontes de geração, devido ao uso dos produtos para a higienização das roupas. Como consequência, isso causa preocupação quanto à salinização do solo caso ela seja usada de forma frequente em alguma atividade agrícola.

Com relação aos organismos indicadores de contaminação fecal, as águas cinzas apresentaram valores elevados, exceto as da lavanderia. Logo, torna-se primordial impedir seu escoamento de forma exposta na superfície de terrenos, tendo-se em vista impedir o contato de vetores de doenças de veiculação hídrica com essa água residual.

O reúso pode ser encorajado, desde que seja buscado seu adequado tratamento ou infiltração no solo na qual haja a possibilidade do desenvolvimento de plantas a partir do consumo da água e dos nutrientes presentes nas águas cinzas.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES e ao CNPq (311275/2015-0) pelas bolsas de mestrado e doutorado recebidas e à Fapesp (Processo 2017/07490-4) pelo

Auxílio à Pesquisa. Também agradecemos à Pró Reitoria de Extensão e Cultura (ProEC) da Unicamp pelos recursos financeiros destinados ao Projeto Saneamento Rural.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15 p.

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: ABNT, 1997. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 74 p.

ALVES, W. C. et al. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional de água e energia**: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 5. p. 219-294. (PROSAB).

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22^a ed. Washington: American Public Health Association. 2012.

BAKARE, B. F.; MTSWENI, S.; RATHILAL, S. Characteristics of greywater from different sources within households in a community in Durban, South Africa. **Journal of Water Reuse and Desalination**. 7 (4): 520-528. 2016

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Poluição do Ar, Recursos Hídricos, Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BIRKS, R.; HILLS, S. Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 129, n 1-3, p 61-69, 2007.

BOTTO, M. P. et al. Estudo quanti- qualitativo da precariedade das condições de saneamento ambiental em comunidades do estado do Ceará. In: 23^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL- ABES, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande, MS. 2005.

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology** v. 67, n. 7, p 1403-24, 2013.

CHEUNG, P. B. et al. Capítulo 2: Consumo de água. In: GONÇALVES, R. F. (coord.). **Uso racional de água e energia** - conservação de

água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES. 2009. (PROSAB)

DE OLIVEIRA CRUZ, L. M.; TONETTI, A. L.; GOMES, B. G. L. A. Association of septic tank and sand filter for wastewater treatment: full-scale feasibility for decentralized sanitation. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development** v. 8, n. 2, p 268-277, 2018. Disponível em <<https://doi.org/10.2166/wash-dev.2018.094>>

DE OLIVEIRA CRUZ, L. M.; GOMES, B. G. L. A.; TONETTI, A. L.; FIGUEIREDO, I. C. S. Using coconut husks in a full-scale decentralized wastewater treatment system: The influence of an anaerobic filter on maintenance and operational conditions of a sand filter. **Ecological engineering**, v. 127, p. 454-459, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.021>

FAGAN, C. L. **Evaluating the potential for passive greywater irrigation in northjern Ghana** .2015. 73 f. Thesis. Michigan Technological University, 2015.

FIGUEIREDO, I. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. 2019. 315f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp. Campinas, São Paulo, 2019. <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/334429>

FRIEDLER, E.; BUTLER, D.; ALFIYA, Y. Wastewater composition. In: Larsen, T.A., Udert, K. M., Lienert J (orgs.). **Source separation and decentralization for wastewater management**. Londres: IWA Publishing 2013.cap17, p. 241-257.

FRIEDLER, E. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. **Environmental Technology**, v. 25, n. 9, p. 997-1008, 2004.

FUNASA. 2015. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 4ª edição. Brasília: Funasa.

FUNASA. 2018. Ministério de Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **CataloSan: Catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos**. Eds: Paulo, P.L.; Galbiati, A.F.; Magalhães, F.J.C.Brasília: Funasa. 50 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. - São Paulo: Atlas. 2008.

GODFREY, S.; LABHASETWAR, P.; WATE, S. JIMENEZ, B. Safe greywater reuse to augment water supply and provide sanitation in semi-arid areas of rural India. **Water Science & Technology**. 62.6. 2010.

ISENMANNM, A.F. **Princípios Químicos em Produtos Cosméticos e Sanitários**. 3ª Ed. Timóteo, MG, 2017.

JEFFERSON, B.; JEFFREY, P. Aerobic elimination of organics and pathogens: greywater treatment. In: LARSEN, T. A.; UDERT, K. M.; LIENERT, J. (Ed.). **Source Separation and Decentralization for Wastewater Management**. London: IWA Publishing, 2013. Cap. 19. p. 275-290.

JENKINS, Joseph. **The Humanure Handbook: a guide to composting human manure**. 3º edition. Grove City, PA: Chelsea Green Publishing. 2005.

JIMÉNEZ, B. Water reuse in Latin America and the Caribbean. In: JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. (org). **Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. IWA Publishing, 2008. cap. 9, p 177 - 195.

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. 2008. Water reclamation and reuse around the world. In: JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. (org). **Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. IWA Publishing, 2008. cap 1, p3 - 28.

KATUKIZA, A. Y.; RONTELTAP, M.; NIWAGABA, C.B.; KANSIIME, F.; LENS, P.N.L. Grey water characterization and pollutant loads in an urban slum. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, p 423-436, 2015.

LEVER, J.; KRZYWINSKI, M.; ALTMAN, N. Principal component analysis. **Nature Methods**, v. 14, n. 7, p. 641-642, 2017.

LUDWIG, A. **Create an Oasis with Greywater: Choosing, Building, and Using Greywater Systems**. 5 ed. Oasis Design, 2012. 144 p.

MADRID, F. J. P Y L, FIGUEIREDO, I; C. S., FERRÃO, A. M. DE A., TONETTI, A. L. 2015. Metodologia de desenvolvimento eco-sistêmico aplicado ao paradigma do saneamento descentralizado. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 14, n. 1, p. 101-105, 2015. <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/16771>

MARTINETTI, T. H. **Análise de estratégias, condições e obstáculos para implantação de técnicas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. Caso: assentamento rural Sepé-Tiaraju, Serra Azul/SP**. 2009. 228 f. Dissertação de mestrado. São Carlos: UFSCAR. 2009.

MELLO, Dalva A; et al. Promoção à saúde e educação: diagnóstico de saneamento através da pesquisa participante articulada à educação popular (Distrito São João dos Queiróz, Quixadá, Ceará, Brasil). **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 583-595, jul-set. 1998.

MOLLISON, Bill. **Introdução à Permacultura**. Tagari Publication. 2ª edição. 1994. 204 p.

MOREL A.; DIENER, S. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods**. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dubendorf, Switzerland. 2006.

NEWCOMER, E. et al. Reducing the burden of rural water supply through greywater reuse: a case study from northern Malawi. **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 17, n. 4, p. 1088-1096, 2017.

NOUTSOPOULOS, C., ANDREADAKIS, A., KOURIS, N., CHARCHOUSTI, D., MENDRINO, P., GALANI, A., MANTZIARAS, I., KOUMAKI, E. Greywater characterization and loadings e Physicochemical

treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 216, p. 337-346, 2018.

OH, K. S., LEONG, J. Y. C., POH, P. E., CHONG, M. N., LAU, E. V. A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, n. 10, p. 17-29, 2018.

PAGÈS, J. **Multiple Factor Analysis by Example Using R**. 1. ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2014.

PIDOU, M., AVERY, L., STEPHENSON, T., JEFFREY, P., PARSONS, S. A., LIU, S., MEMON, F. A. JEFFERSON, B. Chemical solutions for grey-water recycling. **Chemosphere**, v. 71, p. 147-155, 2008.

PINHEIRO, L. S. **Proposta de índice de priorização de áreas para saneamento rural: estudo de caso assentamento rural 25 de maio, CE** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. 2011.

PNSR. **Capítulo 5: Eixos estratégicos**. Consulta pública Programa Nacional de Saneamento Rural. Disponível em: <http://pnsr.desa.ufmg.br/consulta/>. 2018 a. 49 p.

PNSR. **Capítulo 4: Análise Situacional**. Consulta pública Programa Nacional de Saneamento Rural. Disponível em: <http://pnsr.desa.ufmg.br/consulta/>. 2018 b. 35 p.

PORTO, B. B. **Práticas em saneamento rural: um estudo no contexto da agricultura familiar**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado). UFMG. 2016.

QUEIROZ, L. M. et al. Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas. In: SANTOS, A. B. (Org.) **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Imprece. 2019. Cap. 2, p. 48-117.

RANASINGHE, E.S.S.; KARUNARATHNE, C.L.S.M.; BENERAGAMA, C.K.; WIJESORIYA, B.G.G. Human urine as a low cost and effective nitrogen fertilizer for bean production. **Procedia Food Science** v. 6, p. 279-282, 2016.

SANTOS, A. B. et al. Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos não segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais. In: SANTOS, A. B. (Org.) **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Imprece. 2019. Cap. 4, p. 219-391.

SANTIAGO, F. et al. **Manual de implantação e manejo do sistema bioágua familiar: reúso de água cinza doméstica para a produção de alimentos na agricultura familiar do semiárido brasileiro**. Caraubas: ATOS. 194 p. 2015.

TILLEY, E., ULRICH, L., LÜTHI, C., REYMOND, PH. AND ZURBRÜGG, C. **Compendium of Sanitation Systems and Technologies**. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland, 2014.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo, 2018. 153 p. <http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/>

VERDEJO, M. E. **Diagnóstico rural participativo: guia prático DRP**. Brasília: MDA / Secretaria da Agricultura Familiar. 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 4ª Edição. Editora UFMG, Belo Horizonte. 2014. 470 p.

WEF. Water Environment Federation. **Natural Systems for Wastewater Treatment: WEF Manual of Practice No. FD-16**. 3ª Ed. 2010.

WHO. World Health Organization. **WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater/ v. 4. Excreta and greywater use in agriculture**. World Health Organization. 2006. 182 p.

WHO. World Health Organization. **Planejamento da segurança do saneamento: manual para o uso e eliminação segura de águas residuais, águas cinzentas e dejetos**. 2016. 160 p.

ZEEMAN, G.; KUJAWA-ROELEVELD, K. Anaerobic treatment of source-separated domestic wastewater. In: LARSEN, T. A.; UDERT K. M.; LIENERT, J., **Source separation and decentralization for wastewater management**. London: IWA Publishing. 2013. p 307-319.