



SANEAMENTO EM COMUNIDADES ISOLADAS: IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS EM UM ASSENTAMENTO RURAL

Letícia Beatriz de Lima

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEIS-Unesp). Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela mesma instituição. Doutorado em andamento em Engenharia Hidráulica e Saneamento na Universidade de São Paulo (EESC-USP). Trabalha com tecnologias de tratamento de água e esgoto de baixo custo para comunidades rurais.

Endereço: Rua Jacinto Favoretto, 301, apartamento 17 - Jardim Lutfalla - São Carlos - São Paulo - CEP: 13560-515 - Brasil - Tel: +55 (17) 99606-6015 - e-mail: leticia.b.lima@usp.br

RESUMO

Comunidades isoladas são as áreas que não são atendidas pelos serviços públicos de saneamento básico. Devido à falta de investimentos e dificuldades técnicas, a população dessas áreas depende de sistemas alternativos de abastecimento/tratamento de água e de coleta/tratamento de esgoto. Visando contribuir com a melhoria socioambiental dessas comunidades, a presente pesquisa fez uma implementação experimental de quatro sistemas alternativos para a indicação da tecnologia de melhor custo-benefício. Foram implementados dois sistemas de tratamento de água: clorador com filtro de carvão ativado (CF) e desinfecção solar (SODIS); e dois de tratamento de esgoto: fossa séptica biodigestora (FSB) e sistema alagado construído (SAC). A implementação foi feita em quatro domicílios de um assentamento rural do município de Ilha Solteira (SP). Avaliou-se a eficiência do tratamento e a viabilidade econômica. Entre os sistemas de tratamento de água, o SODIS apresentou o melhor custo-benefício, alcançando eficiências de remoção de CT, *E. coli* e turbidez de, respectivamente, 98,14%, 96,35% e 44,98%. Entre os sistemas de tratamento de esgoto, o de melhor custo-benefício foi o SAC, que alcançou eficiências de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST, NT e PT de, respectivamente, 48,79%, 78,04%, 81,14%, 53,27%, 44,87% e 73,73%. Os sistemas são economicamente acessíveis e podem ser implementados em maior escala em comunidades isoladas.

PALAVRAS-CHAVE: saneamento rural, tratamento de água, tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios do Brasil é a universalização do saneamento básico. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD-contínua), realizada em 2019 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 85,50% dos municípios contam com abastecimento de água por rede geral de distribuição, mas apenas 68,30% têm acesso ao esgotamento sanitário por rede coletora (IBGE, 2020). As áreas que não são atendidas por esses serviços públicos são chamadas de comunidades isoladas, que geralmente se localizam nas zonas periféricas das cidades ou em comunidades de difícil acesso, como áreas rurais, aglomerados subnormais, terras indígenas e territórios quilombolas (TONETTI *et al.*, 2018).

Segundo o Instituto Trata Brasil (2016), os principais obstáculos para a prestação dos serviços de saneamento básico nessas áreas são dificuldades técnicas e a ausência de incentivos do Poder Público. Em consequência do abastecimento de água deficiente e do esgotamento sanitário inadequado, a população dessas comunidades sofre com a incidência de doenças como febres entéricas, hepatite A, leptospirose, esquistossomose e doença diarreica aguda (BRASIL, 2010). Dessa maneira, as comunidades isoladas dependem de sistemas alternativos de saneamento básico, que possuem uma infraestrutura reduzida e são operados no próprio local (SUBTIL *et al.*, 2016).

Os sistemas alternativos de abastecimento de água mais utilizados são o poço profundo e o poço raso (IBGE, 2020). Com a possibilidade dessa água não ser potável, é necessário realizar seu tratamento para a inativação de microrganismos patogênicos. Um dos desinfetantes mais utilizados é o cloro, geralmente sob a forma de hipoclorito de cálcio. A concentração desse elemento pode ser dosada na água com um clorador, equipamento colocado entre o poço e a caixa d'água (EMBRAPA, 2014). Uma das desvantagens desse tratamento é a formação de subprodutos que podem ser prejudiciais à saúde (*e.g.*, trihalometanos e ácidos haloacéticos), devido à reação do cloro com a matéria orgânica da água bruta, o que ocorre principalmente em poços rasos. Para evitar esse problema,



podem ser utilizados métodos para remover a matéria orgânica, como a adsorção por carvão ativado, ou outros métodos de desinfecção, como a radiação ultravioleta (CHEN *et al.*; GOLEA *et al.*; MAZHAR *et al.*, 2020).

Outra alternativa para o tratamento de água em comunidades isoladas é a desinfecção solar (SODIS). A técnica consiste na exposição de garrafas de água à radiação do sol. Enquanto a radiação ultravioleta causa modificações no DNA dos microrganismos, a radiação infravermelha promove a pasteurização da água (EAWAG/SANDEC, 2016). Diversos estudos vêm mostrando que o SODIS é eficaz na diminuição da incidência das doenças transmitidas pela água, como a cólera e a doença diarreica aguda, além de atenuar a gravidade dos casos (ROSE *et al.*, 2006; GRAF *et al.*, 2010; PICHEL *et al.*, 2019).

Em relação ao esgotamento sanitário, uma opção de sistema alternativo é a fossa séptica biodigestora (FSB). Esse sistema é formado por caixas d'água conectadas por tubos de PVC, por onde o esgoto escoar por meio da gravidade. Predominado por processos biológicos anaeróbios, o tratamento realizado é do tipo secundário (VON SPERLING, 2011). Nas primeiras caixas ocorre a decomposição da matéria orgânica. Na última, é feito o armazenamento do efluente. Periodicamente, adiciona-se esterco bovino fresco na entrada do sistema. Por conter microrganismos anaeróbios, o material acelera o processo de biodigestão. Ademais, o líquido tratado é rico em nutrientes e pode ser utilizado como biofertilizante (EMBRAPA, 2014).

Outra alternativa para o tratamento de esgoto em comunidades isoladas é o sistema alagado construído (SAC). Esse sistema é composto por uma vala impermeabilizada e preenchida com brita, onde são plantadas macrófitas aquáticas. O esgoto é disposto na porção inicial do leito e flui horizontalmente através do meio filtrante e das raízes das plantas, onde microrganismos ficam aderidos. Os microrganismos promovem a degradação da matéria orgânica e, complementando o tratamento, as plantas absorvem o nitrogênio e o fósforo do esgoto, incorporando esses nutrientes em sua biomassa. Além disso, o efluente do sistema pode ser utilizado para irrigação e lavagem de quintais (DOTRO *et al.*, 2017; TONETTI *et al.*, 2018).

Isso posto, a presente pesquisa buscou selecionar sistemas alternativos de tratamento de água e esgoto, implementar experimentalmente esses sistemas em uma comunidade rural do município de Ilha Solteira (SP), avaliar a eficiência do tratamento e seu custo de instalação. E, analisando essas informações, indicar os sistemas mais viáveis para uma implementação em maior escala, contribuindo assim com a melhoria socioambiental dessas comunidades e com a universalização do saneamento básico no Brasil.

OBJETIVOS

Implementar diferentes sistemas alternativos de tratamento de água e esgoto em uma comunidade isolada rural, analisar a eficiência e viabilidade econômica de cada sistema e indicar o de melhor custo-benefício.

METODOLOGIA UTILIZADA

Área de implementação

A área escolhida para a implementação dos sistemas de tratamento de água e esgoto foi o assentamento rural “Estrela da Ilha”, localizado no município de Ilha Solteira, a noroeste do estado de São Paulo. Segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2017), esse assentamento foi criado em 2005 a partir da desapropriação da fazenda São José da Barra. Com 28,56 km², a área foi dividida em 210 unidades agrícolas que foram distribuídas a famílias de trabalhadores rurais.

Escolha dos sistemas

A escolha dos sistemas alternativos de tratamento de água e esgoto foi feita levando-se em consideração o perfil socioeconômico e as condições sanitárias do assentamento “Estrela da Ilha”, estudados por Lima e Albertin (2021). Para guiar a seleção dos sistemas, foi consultado o livro “Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções”, elaborado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) em parceria com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) (TONETTI *et al.*, 2018). Também foi utilizado o livro “ABC da agricultura familiar: saneamento básico rural”,

elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014). Os critérios de seleção empregados foram a viabilidade econômica e a facilidade de operação e manutenção do sistema.

Os sistemas alternativos de tratamento de água escolhidos foram o clorador acoplado a um filtro de carvão ativado (CF) e o SODIS. Para o tratamento de esgoto, os sistemas alternativos escolhidos foram a FSB e o SAC.

Construção do CF

O clorador foi construído de acordo com a metodologia desenvolvida pela Embrapa (2014). No lote onde o sistema foi implementado, a água era captada em um poço raso e bombeada para uma caixa d'água de 1.000 L a uma vazão de 2.000 L/h. Na entrada do sistema, foi colocado um filtro de carvão ativado de 10" de altura para reduzir a formação dos subprodutos da cloração, uma vez que a água bruta de poços rasos é mais suscetível à ocorrência de matéria orgânica.

A manutenção do sistema era feita adicionando-se 1,50 g de hipoclorito de cálcio granulado (teor de cloro ativo de 65%) no dosador uma vez ao dia. Tal medida, correspondente a uma colher de café, era suficiente para a desinfecção da caixa d'água da residência (EMBRAPA, 2014). A Figura 1 mostra o sistema finalizado.



Figura 1: Sistema CF.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Construção do SODIS

O SODIS foi construído de acordo com as recomendações do Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (EAWAG/SANDEC, 2016). Para a base do sistema, apoiou-se um pedaço de telha metálica de 1x1 m em uma estrutura de aço. Foram utilizadas garrafas PET transparentes de dois litros cada, que eram preenchidas com a água de poço profundo e expostas à radiação solar por seis horas. Posteriormente, as garrafas eram armazenadas na geladeira. A Figura 2 mostra o sistema finalizado.



Figura 2: SODIS.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Construção da FSB

A FSB foi construída de acordo com a metodologia desenvolvida pela Embrapa (2017). No lote onde o sistema foi implementado, residiam três pessoas. Para esse número de habitantes, foram utilizadas três caixas d'água de 1.000 L, resultando em um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 20 dias. As caixas foram interligadas e enterradas. Para vedação das tampas, colou-se câmaras de ar de bicicleta nas bordas, como mostrado na Figura 3.



Figura 3: Construção da FSB.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A manutenção do sistema era feita adicionando-se de uma mistura de 5 L de esterco bovino fresco e 5 L de água na entrada da primeira caixa uma vez ao mês. A Figura 4 mostra o sistema finalizado.



Figura 4: FSB em operação.
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Construção do SAC

O SAC foi construído de acordo com as recomendações de dimensionamento de Sezerino *et al.* (2015) e Von Sperling e Sezerino (2018). No lote onde o sistema foi implementado, residiam quatro pessoas. Para esse número de habitantes, a área superficial útil requerida foi de 10 m². Escavou-se uma vala com 4,60 m de comprimento de fundo, 1,60 m de largura de fundo e 0,60 m de profundidade. A inclinação das paredes foi de 1:2. Para a impermeabilização do fundo, foi utilizada uma lona de polietileno protegida por duas camadas de manta geotêxtil. Para a entrada e saída do esgoto, foram utilizados tubos de PVC de 100 mm de diâmetro, perfurados a cada 10 cm. Preencheu-se 0,50 m da profundidade da vala com material filtrante: pedra portuguesa nas zonas de entrada e saída e brita n° 1 no restante do leito (Figura 5), onde plantou-se 40 mudas de taboa.

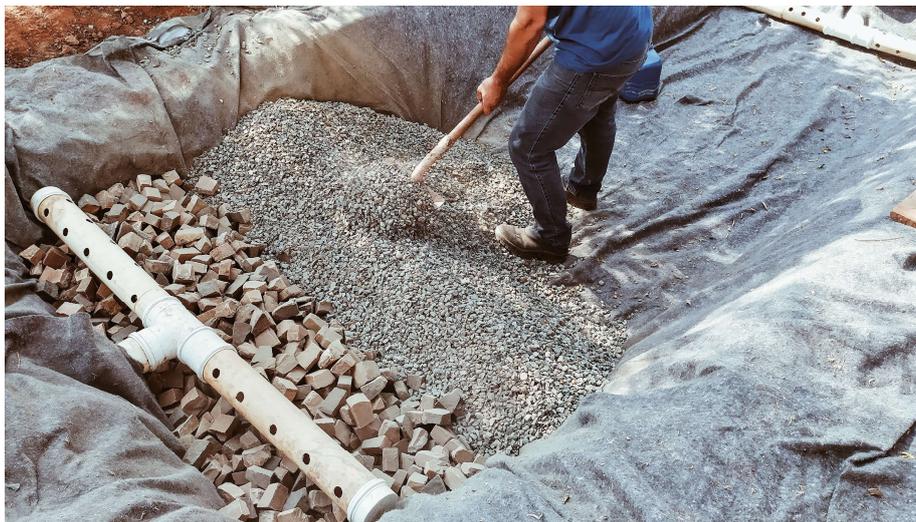


Figura 5: Construção do SAC.
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A vazão média de águas cinzas gerada pela residência era de 180,22 L/dia. Adotando-se uma altura da lâmina de esgoto de 0,40 m e considerando-se um índice de vazios do material filtrante de 30%, o TDH do sistema foi de 5,77 dias. Para evitar o entupimento das tubulações, adicionou-se uma caixa de sedimentação de sólidos e uma caixa de gordura na entrada do sistema. A manutenção requerida é a poda das taboas, quando necessário. A Figura 6 mostra o sistema finalizado.



Figura 6: SAC.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Monitoramento dos sistemas

Para avaliação da eficiência do tratamento, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas em amostras de água e esgoto coletadas semanalmente na entrada e saída dos sistemas. As coletas ocorreram ao longo de 16 semanas (logo, 16 amostras) e os parâmetros analisados foram: cloro residual livre (CRL), coliformes totais (CT), *Escherichia coli*, turbidez, temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT). A Tabela 1 apresenta os métodos utilizados para cada parâmetro e em quais sistemas a análise foi feita.

Tabela 1: Parâmetros analisados nos sistemas e métodos utilizados.

PARÂMETRO	MÉTODO	SISTEMA*
CRL (mg/L)	4500-C1 G (APHA, 2016)	1
CT (UFC/100mL)	9222 J (APHA, 2016)	1 e 2
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	9222 J (APHA, 2016)	1 e 2
Turbidez (uT)	2130 B (APHA, 2016)	1, 2, 3 e 4
T (°C)	2550 B (APHA, 2016)	1, 2, 3 e 4
pH	4500-H ⁺ B (APHA, 2016)	1, 2, 3 e 4
DBO (mg/L)	5210 B (APHA, 2016)	3 e 4
DQO (mg/L)	5220 D (APHA, 2016)	3 e 4
ST (mg/L)	2540 B (APHA, 2016)	3 e 4
NT (mg/L)	10071 (HACH, 2014)	3 e 4
PT (mg/L)	8190 (HACH, 2017)	3 e 4

* 1: CF; 2: SODIS; 3: FSB; 4: SAC

Fonte: Elaborado pela autora (2022).



Análises estatísticas

Os dados obtidos no monitoramento dos sistemas foram tabulados no software Microsoft Excel® 2019 e as análises descritivas foram realizadas no software SigmaPlot® 12.0. Por meio do teste de Shapiro-Wilk, fez-se a avaliação da normalidade dos dados. Constatada a distribuição normal, as análises paramétricas foram feitas por meio do cálculo das médias e desvios-padrão. A plotagem dos gráficos também foi feita no SigmaPlot® 12.0.

RESULTADOS OBTIDOS

Custos dos sistemas

Todos os materiais utilizados na construção dos sistemas de tratamento foram adquiridos em lojas físicas do município de Ilha Solteira (SP). Os valores, apresentados na Tabela 2, são referentes ao mês de Julho de 2021. A mão-de-obra foi proveniente de trabalho voluntário da autora e dos próprios moradores do assentamento rural.

Tabela 2: Custos dos sistemas de tratamento construídos.

SISTEMA	CUSTO (R\$)
CF	288,08
SODIS	50,00
FSB	1.998,76
SAC	1.909,28

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tratamento de água

A Tabela 3 apresenta os valores médios (n = 16) dos parâmetros analisados na entrada e saída CF e do SODIS, além das eficiências de remoção.

Tabela 3: Valores médios dos parâmetros analisados nos sistemas de tratamento de água.

PARÂMETRO	CF			SODIS		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
CRL (mg/L)	-	0,43 ± 0,14	-	-	-	-
CT (UFC/100mL)	487,00 ± 230,58	0,62 ± 0,81	99,91 ± 0,12	58,12 ± 22,28	1,31 ± 1,30	98,14 ± 1,75
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	35,00 ± 9,66	0,38 ± 0,72	99,22 ± 1,47	2,06 ± 0,93	0,13 ± 0,34	96,35 ± 10,08
Turbidez (uT)	5,76 ± 1,79	1,95 ± 0,69	66,32 ± 3,93	2,78 ± 0,57	1,53 ± 0,41	44,98 ± 8,30
T (°C)	24,80 ± 0,56	25,58 ± 0,55	-	24,82 ± 0,59	39,71 ± 1,32	-
pH	7,31 ± 0,62	7,66 ± 0,67	-	7,04 ± 0,26	7,12 ± 0,37	-

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Figura 7 mostra uma comparação gráfica entre as eficiências de remoção observadas no CF e no SODIS.

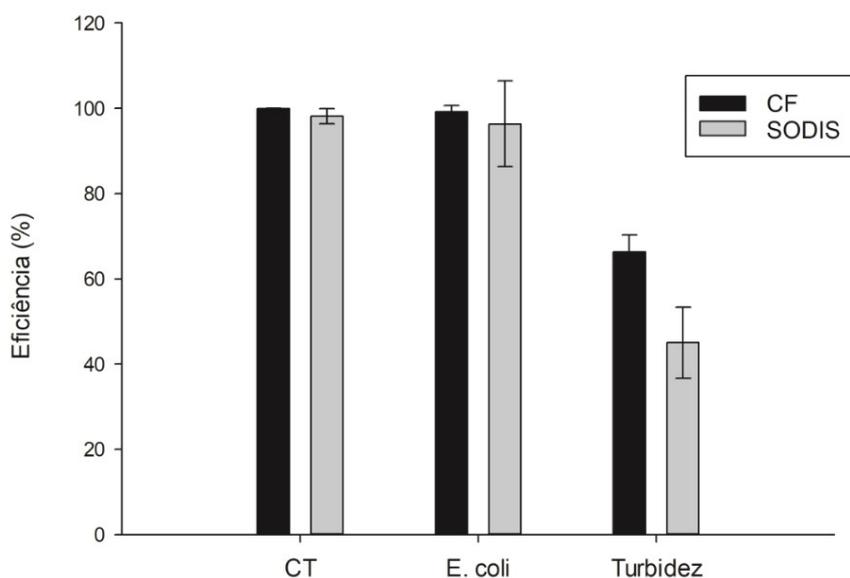


Figura 7: Comparação das eficiências dos sistemas de tratamento de água.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tratamento de esgoto

A Tabela 4 apresenta os valores médios (n = 16) dos parâmetros analisados na entrada e saída da FSB e do SAC, além das eficiências de remoção.

Tabela 4: Valores médios dos parâmetros analisados nos sistemas de tratamento de esgoto.

PARÂMETRO	FSB			SAC		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Turbidez (uT)	361,81 ± 54,60	206,75 ± 7,92	41,51 ± 9,76	220,94 ± 46,18	113,48 ± 27,78	48,79 ± 4,48
DBO (mg/L)	241,99 ± 38,20	111,54 ± 15,48	53,64 ± 4,28	174,50 ± 20,24	38,48 ± 6,69	78,04 ± 1,92
DQO (mg/L)	493,13 ± 69,31	255,77 ± 41,66	48,17 ± 3,84	316,95 ± 10,07	59,73 ± 2,40	81,14 ± 0,91
ST (mg/L)	1679,31 ± 401,54	869,81 ± 237,58	47,80 ± 11,08	1202,31 ± 450,29	538,25 ± 210,08	53,27 ± 19,25
NT (mg/L)	317,35 ± 25,54	207,12 ± 16,68	34,66 ± 3,09	35,05 ± 6,66	19,27 ± 3,75	44,87 ± 3,37
PT (mg/L)	37,34 ± 3,28	25,78 ± 1,81	30,77 ± 3,49	3,59 ± 0,72	0,94 ± 0,18	73,73 ± 2,48
T (°C)	28,81 ± 0,66	26,63 ± 0,91	-	27,14 ± 0,90	28,13 ± 0,94	-
pH	8,25 ± 0,38	9,19 ± 0,35	-	8,03 ± 0,59	7,85 ± 0,52	-

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Figura 8 mostra uma comparação gráfica entre as eficiências de remoção observadas na FSB e no SAC.

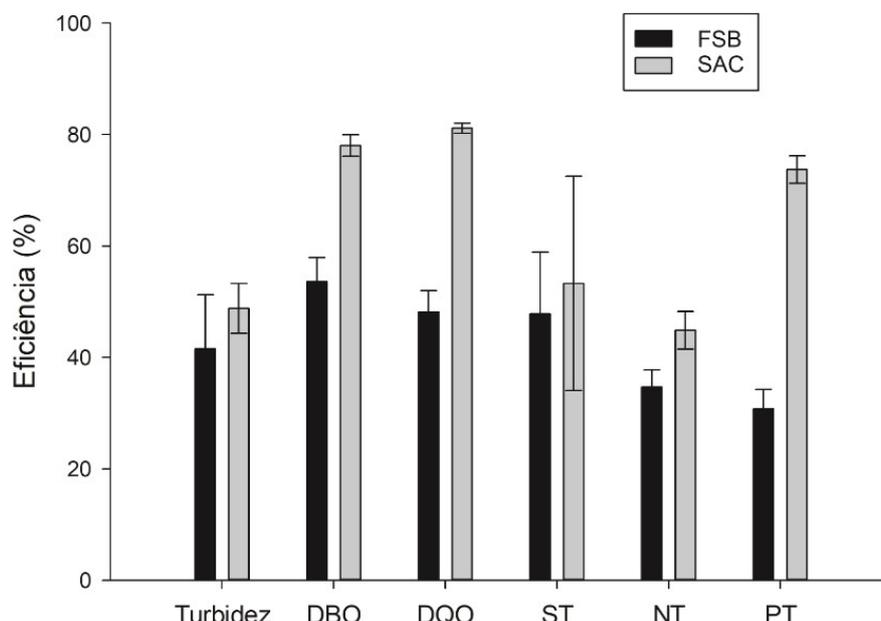


Figura 8: Comparação das eficiências dos sistemas de tratamento de esgoto.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Performance do CF

De acordo com o manual de cloração desenvolvido pela Funasa, após decorrido um tempo de contato de 30 minutos, uma dosagem inicial de 1,50 mg/L de hipoclorito de cálcio resulta em uma concentração de CRL de 0,50 mg/L (BRASIL, 2014). A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde recomenda a manutenção de uma concentração de CRL de pelo menos 0,20 mg/L na água de abastecimento (BRASIL, 2021). Sendo assim, o valor de CRL observado na saída do CF (0,43 mg/L) está dentro do esperado.

O padrão bacteriológico da água para consumo humano, estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, determina a ausência de CT em 100 mL de amostra na saída do tratamento (BRASIL, 2021). Apesar da concentração média observada na saída do CF não atender ao padrão de potabilidade, o sistema removeu totalmente os CT de 56,25% das amostras analisadas. Em relação à eficiência de remoção de CT, um estudo realizado por Ferreira *et al.* (2016) avaliou cloradores simplificados em águas subterrâneas e constatou uma remoção de 98,59%. Portanto, a eficiência obtida (99,91%) está de acordo com os relatos da literatura.

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde determina a ausência de *E. coli* em 100 mL de amostra nos pontos de consumo (BRASIL, 2021). A concentração média observada na saída do CF não atende ao padrão bacteriológico estabelecido. Apesar disso, foi observada a remoção total de *E. coli* em 75,00% das amostras analisadas. Em relação à eficiência de remoção de *E. coli*, Ferreira *et al.* (2016) observaram em seus estudos uma remoção de 99,70%. Sendo assim, a eficiência obtida (99,22%) está de acordo com os relatos da literatura.

O padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde determina um limite de turbidez de 1,00 uT em 95% das amostras analisadas de águas subterrâneas pós-desinfecção (BRASIL, 2021). Sendo assim, a água tratada pelo CF não atende ao padrão estipulado. Em relação à eficiência de remoção de turbidez, Prihandana *et al.* (2021) analisaram águas superficiais tratadas com discos de carvão ativado e constataram uma eficiência de 79,00%. Portanto, a eficiência obtida (66,32%) está um pouco abaixo dos relatos da literatura.

A temperatura é um parâmetro importante para o CF. A variação de T em um processo de cloração pode influenciar na formação de subprodutos prejudiciais à saúde. Um estudo desenvolvido por Hua e Reckhow (2008) concluiu que a concentração de trihalometanos e ácidos haloacéticos na água aumenta com o aumento de T, com efeito similar ao



de aumentar a dose de cloro. A medição da temperatura da água nos sistemas de tratamento sempre era feita no período da manhã (09h00).

Os valores de pH observados na saída do CF variaram de 6,08 a 8,27. O atual padrão de potabilidade não determina valores de pH para águas de consumo humano (BRASIL, 2021). Em sua versão anterior, estabelecida pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, a recomendação era manter o pH em uma faixa de 6,00 a 9,50 (BRASIL, 2017). Druzian *et al.* (2020) observaram uma faixa de pH de 6,24 a 7,00 em águas subterrâneas tratadas com clorador. Sendo assim, os valores obtidos estão dentro da faixa esperada.

Performance do SODIS

De acordo com a Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, quando a desinfecção é feita com radiação ultravioleta, deve-se adicionar cloro na água para manter o residual mínimo no reservatório, rede e ponto de uso (BRASIL, 2021). No caso do SODIS, a água é desinfetada no próprio recipiente de consumo (garrafas). Para evitar o recrescimento de microrganismos, recomenda-se armazenar o recipiente na geladeira e consumir a água em até 24 horas (EAWAG/SANDEC, 2016).

O padrão bacteriológico da água para consumo humano, estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, determina a ausência de CT em 100 mL de amostra na saída do tratamento (BRASIL, 2021). Apesar da concentração média observada na saída do SODIS não atender ao padrão de potabilidade, o sistema alcançou a remoção total de CT em 37,50% das amostras analisadas. Em relação à eficiência de remoção de CT, Silva *et al.* (2021) desenvolveram um sistema de tratamento de água com filtração seguida de SODIS e observaram uma remoção de 99,90%. Portanto, a eficiência observada (98,14%) está de acordo com os relatos da literatura.

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde determina em a ausência de *E. coli* em 100 mL de amostra nos pontos de consumo (BRASIL, 2021). A concentração média observada na saída do SODIS não atende ao padrão bacteriológico estabelecido. Apesar disso, foi observada a remoção total de *E. coli* em 87,50% das amostras analisadas. Em relação à eficiência de remoção de *E. coli*, Silva *et al.* (2021) observaram em seus estudos uma remoção de 99,10%. Sendo assim, a eficiência obtida (96,35%) está de acordo com os relatos da literatura.

Segundo Von Sperling (2011), turbidez é o grau de impedimento da passagem da luz através da água devido à presença de sólidos suspensos. Dessa forma, uma turbidez elevada reduz a eficiência do processo de desinfecção realizado pelo SODIS. Portanto, para águas brutas com turbidez acima de 30 uT, um processo de pré-tratamento se faz necessário (EAWAG/SANDEC, 2016). Para a água bruta analisada, com turbidez de 2,78 uT, o SODIS não requer pré-tratamento para sua eficiente desinfecção. Apesar disso, em relação ao padrão de potabilidade da Portaria nº 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), a turbidez da água tratada pelo SODIS (1,53 uT) não está dentro do limite estabelecido (1,00 uT).

A temperatura é um parâmetro importante para o SODIS. Além da radiação UV, a inativação dos microrganismos também é feita pela pasteurização da água, que ocorre a partir de 45°C (EAWAG/SANDEC, 2016). No horário analisado (09h00), essa temperatura não foi observada no sistema. Entretanto, as garrafas PET ficaram expostas ao sol até 15h00, período no qual podem ter alcançado temperaturas mais elevadas.

Os valores de pH observados SODIS variaram de 6,50 a 7,89. O atual padrão de potabilidade não determina valores de pH para águas de consumo humano (BRASIL, 2021). Em sua versão anterior, estabelecida pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, a recomendação era manter o pH em uma faixa de 6,00 a 9,50 (BRASIL, 2017). Bianchi e Botto (2019), analisando a eficiência do tratamento de água com SODIS, constataram um valor médio de pH de 7,14. Portanto, os valores obtidos estão dentro da faixa esperada.

Performance da FSB

A turbidez observada na entrada da FSB variou de 241,00 a 423,00 uT. Analisando o desempenho de uma FSB na área rural de Campinas, Figueiredo *et al.* (2019) relataram valores similares de turbidez na entrada do sistema, com uma média de 364,00 uT. Entretanto, a eficiência de remoção observada pelos autores foi de 60,40%, valor acima do encontrado neste trabalho (41,51%). Por outro lado, Peres, Hussar e Beli (2010) relataram uma eficiência de remoção de turbidez de 36,20% e atribuíram a baixa eficiência ao arraste de sólidos suspensos ao longo do sistema.



Os valores de DBO observados no efluente tratado pela FSB variaram de 91,22 a 135,74 mg/L. Figueiredo *et al.* (2019) relataram valores um pouco superiores, entre 73,00 e 353,00 mg/L, com uma média de 213,00 mg/L. Entretanto, os autores constataram uma eficiência de remoção de 66,70%, enquanto que a do presente trabalho foi de 53,64%. Por outro lado, Oliveira (2018) relatou uma eficiência de 54,60%, semelhante à observada. A remoção de matéria orgânica relativamente baixa pode estar associada à manutenção do sistema pelos moradores, que não faziam adição de esterco bovino com a frequência recomendada.

A eficiência de remoção de DQO observada na FSB (48,17%) está abaixo do valor esperado. Figueiredo *et al.* (2019) constataram uma remoção de DQO de 58,60%. Assim como na DBO, esse fato pode estar associado com a frequência de manutenção do sistema. Barboni e Rochetto (2014) analisaram a eficiência de uma FSB com uma adição única de esterco bovino e relataram uma remoção de DQO de apenas 30,70%. Segundo Faustino (2007), a carga de matéria orgânica presente no efluente da FSB, quando este é utilizado em práticas agrícolas, propicia a formação de húmus, melhorando a aptidão do solo.

Quanto à concentração de ST, Lara, Marmo e Silva (2019), analisando uma FSB inoculada com bioaditivo comercial, constataram uma concentração média de 882,00 mg/L na saída do sistema. Em relação à eficiência, Oliveira (2018) relatou uma remoção de ST de 46,00%. Sendo assim, os valores observados na FSB estão de acordo com os relatos da literatura.

Os valores de NT observados na saída da FSB variaram de 186,21 a 256,33 mg/L. A concentração média observada (207,12 mg/L) é semelhante a obtida por Lotfi (2016): 195,17 mg/L. Entretanto, a eficiência de remoção de NT relatada pelo autor é de 43,00%, superior à do presente trabalho (34,65%). Freitas *et al.* (2015) também observaram uma eficiência maior, de 48,76%. Por ser projetada para realizar um tratamento anaeróbico, a FSB não possui um ambiente propício para a nitrificação da amônia no esgoto, processo realizado por bactérias aeróbias (LOTFI, 2016). Portanto, a baixa remoção de NT está relacionada com o bom funcionamento do sistema. Por esse motivo, o líquido efluente pode ser utilizado como biofertilizante, substituindo a adubação mineral nitrogenada (ABREU, 2019).

A concentração de PT observada na saída FSB variou de 22,41 a 28,97 mg/L. Oliveira (2018) relatou uma concentração média de PT de 34,60 mg/L no efluente final. Por outro lado, Figueiredo *et al.* (2019) observaram uma média de 20,00 mg/L de PT na saída do sistema. Os autores também verificaram uma eficiência de remoção de PT de 39,30%. Em seus estudos, Lotfi (2016) chegou em resultado semelhante: uma média de remoção de PT de 37,00%. Sendo assim, os valores observados estão de acordo com os relatos da literatura.

Os valores de T observados na primeira caixa da FSB (entrada), onde ocorre o processo de fermentação, variaram de 27,30 a 29,80°C. De acordo com a Embrapa (2019), a T interna do sistema varia de 20,00 a 30,00°C, dependendo da época do ano. Ainda segundo a empresa, as bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica presente no esgoto são mesófilas, cuja T ideal de crescimento situa-se entre 20 e 45°C. Ou seja, a T do sistema estava dentro da faixa esperada.

Em relação ao pH, observa-se na FSB a alcalinização dos efluentes. Segundo Silva *et al.* (2007), a degradação anaeróbia das proteínas e ureia presentes no esgoto gera amônia, que em meio aquoso passa para a forma de hidróxido de amônio, elevando o pH do efluente. Freitas *et al.* (2015), analisando a eficiência de uma FSB no Tocantins, observaram um aumento de 1,20 no pH. Figueiredo *et al.* (2019) também encontraram resultados similares, com valores de pH na faixa de 8,40 na saída do sistema.

Performance do SAC

Os valores de turbidez encontrados na saída do SAC variaram de 75,40 a 200,00 uT, muito acima do esperado. Silveira *et al.* (2020) observaram uma turbidez média de 31,00 uT no efluente de um SAC para águas cinzas de uma universidade. Patki, Babu e Palase (2021), analisando o tratamento de águas cinzas de um albergue, observaram uma remoção de turbidez de 81,87%, eficiência maior que a verificada no presente trabalho (48,79%). A elevada turbidez pode estar relacionada com as partículas de solo e rocha presentes na pedra portuguesa e na brita. Segundo Avery *et al.* (2007), partículas inorgânicas presentes meio filtrante do SAC podem ser arrastadas pelo efluente.

Segundo Benassi (2018), a eficiência média obtida para remoção de DBO em SACs de fluxo horizontal subsuperficial é de 81,50%, valor próximo ao observado (78,04%). Lakho *et al.* (2020), em testes iniciais com um SAC para tratamento de águas cinzas de festivais, obtiveram uma eficiência de remoção de DBO de 76,70%. Os



autores relataram ainda uma concentração média de 35,00 mg/L na saída do sistema. Tratando águas cinzas de residências com um SAC de fluxo horizontal, Raphael *et al.* (2019) chegaram em uma concentração de DBO de 47,25 mg/L no efluente do sistema. Sendo assim, os valores obtidos no presente trabalho estão de acordo com os relatos da literatura.

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018), a eficiência de remoção de DQO esperada em SACs de fluxo horizontal subsuperficial é de 80,00%. Benassi (2018) também afirma que a eficiência média de remoção é de 76,50%. Entretanto, há estudos que alcançam valores maiores. Lakho *et al.* (2020) observaram uma eficiência 89,00% em testes iniciais. Portanto, a eficiência de remoção de DQO verificada para o SAC (81,14%) está dentro da faixa esperada.

Segundo Cooper, Smith e Maynard (1996), em SACs de escoamento subsuperficial, a remoção de sólidos se dá por filtração e sedimentação. Analisando o tratamento de efluentes de parboilização de arroz, Bortoletto e Almeida (2020) observaram uma remoção de ST pelo SAC de 41,10%. Monteiro, Sezerino e Philippi (2015) chegaram a valores semelhantes com águas cinzas: 37,00%. Sendo assim, a eficiência de remoção de ST pelo SAC (53,27%) está dentro da faixa esperada.

As concentrações de NT na saída do SAC variaram de 11,52 a 28,69 mg/L. Em testes iniciais, Lakho *et al.* (2020) constataram uma concentração média de NT de 20,50 mg/L no efluente do sistema. Os autores observaram também uma eficiência de remoção de 49,00%. Segundo Von Sperling e Sezerino (2018), a remoção de NT esperada em SACs de fluxo horizontal subsuperficial é de 50,00%. Portanto, a eficiência de remoção de NT observada para o SAC (44,87%) está dentro da faixa esperada. De acordo com Calijuri *et al.* (2009), a remoção de NT por esse sistema se dá principalmente pelos processos de nitrificação e desnitrificação, sedimentação, assimilação pelas plantas e assimilação pelos microrganismos.

Na saída do SAC, os valores de PT observados variaram de 0,73 a 1,23 mg/L. Ramprasad *et al.* (2017), analisando a performance de um SAC de fluxo horizontal subsuperficial para águas cinzas de dormitórios estudantis, encontraram uma concentração média de PT de 0,41 mg/L na saída do sistema. Lakho *et al.* (2020) constataram uma remoção de PT de 76,00%, eficiência próxima à observada neste trabalho (73,73%). Segundo Calijuri *et al.* (2009), a remoção de PT pelo SAC se dá principalmente pela assimilação das plantas e microrganismos, precipitação dos compostos insolúveis e adsorção pelo substrato.

Por estar exposto à atmosfera, o SAC está sujeito às variações de temperatura do ambiente. Segundo Sezerino (2006), esse sistema atinge maiores eficiências nas épocas mais quentes do ano (primavera e verão), devido ao máximo desenvolvimento das plantas macrófitas e à maior atividade bacteriana. Os maiores valores de T observados na entrada e na saída do SAC foram, respectivamente, 29,10 e 30,00°C, registradas na primavera de 2021.

Em relação ao pH, nota-se uma leve acidificação do efluente na saída do SAC. De acordo com Monteiro (2009), essa diminuição do pH ocorre devido à formação de ácidos durante a fermentação da matéria orgânica presente no esgoto. Em seus estudos, Raphael *et al.* (2019) também observaram uma diminuição no pH do efluente do SAC, de 8,00 para 7,50.

CONCLUSÕES

O sistema CF apresentou um custo de R\$288,08. Quando a manutenção do sistema é realizada corretamente, o teor de CRL na água atende ao mínimo estabelecido pelo padrão de potabilidade brasileiro e atinge bom nível de desinfecção.

O SODIS apresentou um custo de R\$50,00. Quando operado corretamente, atinge bom nível de desinfecção.

A FSB apresentou um custo de R\$1.998,76. Com um TDH de 20 dias e manutenção adequada, possui boa remoção de sólidos e matéria orgânica. O efluente do sistema pode ser utilizado como biofertilizante em substituição à adubação mineral nitrogenada.

O SAC apresentou um custo de R\$1.909,28. Com um TDH de 5,77 dias, possui boa remoção de sólidos, matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. O efluente do sistema pode ser utilizado para irrigação.



Custando cerca de seis vezes menos que o CF, o SODIS é o sistema alternativo de tratamento de água com o melhor custo-benefício.

Com custo semelhante ao da FSB e tratamento mais eficiente, o SAC é o sistema alternativo de tratamento de esgoto com o melhor custo-benefício.

Os sistemas analisados são economicamente acessíveis e apresentam boa eficiência de tratamento. Sendo assim, sua implementação em comunidades isoladas de baixa renda pode ser feita em maior escala, contribuindo com a universalização do saneamento básico.

ADRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – Projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, P.A.S. Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestora como fonte de nitrogênio na cultura do milho. 2019. 126 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 23 ed. Washington DC: APHA, 2016. 1540 p.
3. AVERY, L.M., FRAZER-WILLIAMS, R.A.D., WINWARD, G., SHIRLEY-SMITH, C., LIU, S., MEMON, F.A., JEFFERSON, B. *Constructed wetlands for grey water treatment. Ecohydrology & Hydrobiology*, Warsaw, v. 7, n. 3-4, p. 191-200, jan. 2007.
4. BARBONI, J.T., ROCHETTO, U.L. Análise Da Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora Para Tratamento de Esgotos Domésticos Em Área Rural. In: Congresso Nacional De Meio Ambiente De Poços De Caldas, 11, 2014, Poços de Caldas. Anais [...]. Poços de Caldas: IF Sul de Minas, 2014. p. 1-8.
5. BENASSI, R.F. (org.). Manual de sistemas de *wetlands* construídas para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção. Santo André: UFABC, 2018. 52 p.
6. BIANCHI, R., BOTTO, M.P. Análise de parâmetros físico-químicos de águas submetidas ao método SODIS de desinfecção. *Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia*, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 54-61, jan. 2019.
7. BORTOLETTO, E.C., ALMEIDA, J.V.C. Avaliação do uso de *wetland* no tratamento do efluente de parboilização de arroz. *Brazilian Journal Of Development*, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1395-1412, jan. 2020.
8. BRASIL. Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, 2010. 246 p.
9. BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, 2014. 36 p.
10. BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX: controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília: Ministério da Saúde, out. 2017.



11. BRASIL. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. 85 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 7 mai. 2021. Seção 1, p. 126-136.
12. CALIJURI, M.L., BASTOS, R.K.X., MAGALHÃES, T.B., CAPELETE, B.C., DIAS, E.H.O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 421-430, set. 2009.
13. CHEN, H., LIN, T., ZHANG, S., CHEN, W., XU, H., TAO, H. *Covalent organic frameworks as an efficient adsorbent for controlling the formation of disinfection by-products (DBPs) in chlorinated drinking water. Science Of The Total Environment*, Amsterdam, v. 746, p. 141138, dez. 2020.
14. COOPER, P., SMITH, M., MAYNARD, H. *The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system. Water Science and Technology*, London, v. 35, n. 5, p. 215-221, 1996.
15. DOTRO, G., LANGERGRABER, G., MOLLE, P., NIVALA, J., PUIGAGUT, J., STEIN, O., VON SPERLING, M. *Treatment Wetlands. Biological Wastewater Treatment Series*. Londres: IWA Publishing, 2017. 154 p.
16. DRUZIAN, M., DRUZIAN, F.B., SILVA, F.O., CALIMAN, M.V., CASA NOVA, G.P., SILVA, M.G. A eficiência do uso de um clorador para descontaminação de água de poço. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 11, n. 2, mar. 2020.
17. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). ABC da agricultura familiar: saneamento básico rural. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2014. 68 p.
18. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Memorial descritivo: montagem e operação da fossa séptica biodigestora. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. 27 p.
19. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Perguntas e respostas - Fossa Séptica Biodigestora: edição revisada e ampliada. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019. 34 p.
20. FAUSTINO, A.S. Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo. 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
21. FERREIRA, D.C., LUZ, S.L.B., BUSS, D.F. Avaliação de cloradores simplificados por difusão para descontaminação de água de poços em assentamento rural na Amazônia, Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 767-776, mar. 2016.
22. FIGUEIREDO, I.C.S., COASACA, R.L., DUARTE, N.C., MIYAZAKI, C.K., LEONEL, L.P., SCHNEIDER, J., TONETTI, A.L. Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. Revista DAE, [S.L.], v. 67, n. 220, p. 100-114, nov. 2019.
23. FREITAS, G.A., PEREIRA, M.A.B., BESSA, N.G.F., CARNEIRO, J.S.S., CONCEIÇÃO, R.C.N., CERQUEIRA, F.B. Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde, Gurupi-TO. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais [...]. Natal: SBSC, 2015.
24. GOLEA, D.M., JARVIS, P., JEFFERSON, B., MOORE, G., SUTHERLAND, S., PARSONS, S., JUDD, S. *Influence of granular activated carbon media properties on natural organic matter and disinfection by-product precursor removal from drinking water. Water Research*, Oxford, v. 174, p. 115613, maio 2020.



25. GRAF, J., TOGOUE, S.Z., KEMKA, N., NIYITEGEKA, D., MEIERHOFER, R., PIEBOJI, J.G. *Health gains from solar water disinfection (SODIS): evaluation of a water quality intervention in Yaoundé, Cameroon. Journal Of Water And Health*, Londres, v. 8, n. 4, p. 779-796, maio 2010.
26. HACH COMPANY. *Method 10071: Nitrogen, Total*. 10 ed. Loveland: Hach Company, 2014. 8 p.
27. HACH COMPANY. *Method 8190: Phosphorus, Total*. 10 ed. Loveland: Hach Company, 2017. 7 p.
28. HUA, G., RECKHOW, D. *DBP formation during chlorination and chloramination: effect of reaction time, pH, dosage, and temperature. Journal American Water Works Association*, [S.L.], v. 100, n. 8, p. 82-95, ago. 2008.
29. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: características gerais dos domicílios e dos moradores 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 9 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707_informativo.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.
30. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Informações gerais sobre os assentamentos da Reforma Agrária. 2017. Disponível em: <https://painel.incra.gov.br>. Acesso em: 22 ago. 2021.
31. INSTITUTO TRATA BRASIL. Pesquisa saneamento básico em áreas irregulares: Relatório Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2016. 118 p.
32. LAKHO, F.H., LE, H.Q., VAN KERKHOVE, F., IGODT, W., DEPUYDT, V., DESLOOVER, J., ROUSSEAU, DP.L., VAN HULLE, S.W.H. *Water treatment and re-use at temporary events using a mobile constructed wetland and drinking water production system. Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 737, p. 139630, out. 2020.
33. LARA, P.A., MARMO, C.R., SILVA, W.T.L. Avaliação da qualidade do efluente de esgoto tratado em fossas sépticas biodigestoras inoculadas com substitutos ao esterco bovino fresco. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2019. Livro de resumos. São Carlos: Siagro, 2019. p. 295-299.
34. LIMA, L.B., ALBERTIN, L.L. Caracterização das condições socioeconômicas e sanitárias de um assentamento rural do município de Ilha Solteira – SP e proposta de intervenção. In: 32. CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 2021, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: AESabesp, 2021. p. 1-10. Disponível em: http://evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-4586_caracterizacao-das-condicoes-socioeconomicas-e-sanitarias-de-um-assentamento-rural-do-municipio-de-ilha-solteira-sp-e-proposta-de-intervencao. Acesso em: 15 fev. 2022.
35. LOTFI, P.C.S. Avaliação preliminar da eficiência de fossas biodigestoras no tratamento de esgoto unidomiciliar: assentamentos Nova São Carlos e Santa Helena, São Carlos (SP). 2016. 67 f. TCC (Graduação), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
36. MAZHAR, M.A., KHAN, N.A., AHMED, S., KHAN, A.H., HUSSAIN, A., UDDIN, R., CHANGANI, F., YOUSEFI, M., AHMADI, S., VAMBOL, V. *Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. Journal Of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 273, p. 123159, nov. 2020.
37. MONTEIRO, R.C.M. Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza visando o reúso não potável. 2009. 84 f. TCC (Graduação), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
38. MONTEIRO, V.R.C., SEZERINO, P.H., PHILIPPI, L.S. Caracterização e tratamento de água cinza residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 12, n. 2, p. 93-109, jul. 2015.



39. OLIVEIRA, T.J.J. Fossa séptica biodigestora: limitações e potencialidades de sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018b.
40. PATKI, V.K., BABU, P.V.V., PALASE, A. *On-site grey water treatment integrated with constructed wetland for household appliance. Lecture Notes In Civil Engineering*, [S.L.], v. 178, p. 401-422, nov. 2021.
41. PERES, L.J.S., HUSSAR, G.J., BELI, E. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora. *Engenharia Ambiental*, [s. l], v. 7, n. 1, p. 20-36, jan. 2010.
42. PICHEL, N., VIVAR, M., FUENTES, M. *The problem of drinking water access: a review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. Chemosphere*, [S.L.], v. 218, p. 1014-1030, mar. 2019.
43. PRIHANDANA, G.S., SURURI, A., SRIANI, T., YUSOF, F., JAMALUDIN, M.F., MAHARDIKA, M. *Facile fabrication of low-cost activated carbon bonded polyethersulfone membrane for efficient bacteria and turbidity removal. Water Practice And Technology*, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 102-111, dez. 2021.
44. RAMPRASAD, C., SMITH, C.S., MEMON, F.A., PHILIP, L. *Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. Ecological Engineering*, [S.L.], v. 106, p. 55-65, set. 2017.
45. RAPHAEL, O.D., OJO, S.I.A., OGEDENGBE, K., EGHOBAMIEN, C., MORAKINYO, A.O. *Comparison of the performance of horizontal and vertical flow constructed wetland planted with Rhynchospora corymbosa. International Journal Of Phytoremediation*, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 152-159, jan. 2019.
46. ROSE, A., ROY, S., ABRAHAM, V., HOLMGREN, G., GEORGE, K., BALRAJ, V., ABRAHAM, S., MULIYIL, J., JOSEPH, A., KANG, G. *Solar disinfection of water for diarrheal prevention in southern India. Archives Of Disease In Childhood*, [S.L.], v. 91, n. 2, p. 139-141, fev. 2006.
47. SEZERINO, P.H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. 2006. 171 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
48. SEZERINO, P.H., BENTO, A.P., DECEZARO, S.T., MAGRI, M.E., PHILIPPI, L.S. Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 151-158, mar. 2015.
49. SILVA, W.T.L., FAUSTINO, A.S., NOVAES, A.P. Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2007. 20 p
50. SILVA, G.O.R., LOUREIRO, H.O., SOARES, L.G., ANDRADE, L.H., SANTOS, R.G.L. *Evaluation of an alternative household water treatment system based on slow filtration and solar disinfection. Journal Of Water And Health*, London, v. 20, n. 1, p. 157-166, nov. 2021.
51. SILVEIRA, J.R., NEVES, J.P., VIEIRA, B.H.R., SANTOS, M.S.C., PITALUGA, D.P.S. Tratamento de efluentes por sistema *wetland* construído de uma unidade universitária. *Tecnia*, Lima, v. 5, n. 1, p. 136-152, jul. 2020.
52. SUBTIL, E.L., SANCHEZ, A.A., CAVALHERO, A. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reúso de água. In: MANTOVANI, Waldir; CARDOSO, Andrea; BENASSI, Roseli Frederigi; SUBTIL, Eduardo Lucas (org.). *Ciência e Tecnologia Ambiental: conceitos e perspectivas*. São Paulo: Editora UFABC, 2016. p. 201-220.
53. SWISS FEDERAL INSTITUTE OF AQUATIC SCIENCE AND TECHNOLOGY (EAWAG). DEPARTMENT OF SANITATION, WATER AND SOLID WASTE FOR DEVELOPMENT

- (SANDEC). *SODIS manual: guidance on solar water disinfection*. Dübendorf: EAWAG/SANDEC, 2016. 56 p.
54. TONETTI, A.L., BRASIL, A.L., MADRID, F.J.P.L., FIGUEIREDO, I.C.S., SCHNEIDER, J., CRUZ, L.M.O., DUARTE, N.C., COASACA, R.L., GARCIA, R.S., MAGALHÃES, T.M. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 153 p.
55. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 452 p.
56. VON SPERLING, M., SEZERINO, P.H. Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil. Florianópolis: Wetlands Brasil, 2018. 65 p. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/boletins>. Acesso em: 21 out. 2020.