



STÉPHANI MOREIRA ALVES

**REMOÇÃO DE COLIFORMES EM SISTEMAS ALAGADOS
CONSTRUÍDOS DO TIPO BIO-RACK SUBMETIDOS A
DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO HIDRÁULICA**

**Lavras-MG
2021**

STÉPHANI MOREIRA ALVES

**REMOÇÃO DE COLIFORMES EM SISTEMAS ALAGADOS CONTRUÍDOS DO
TIPO BIO-RACK SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO
HIDRAÚLICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos Orientador

**Lavras-MG
2021**

STÉPHANI MOREIRA ALVES

**REMOÇÃO DE COLIFORMES EM SISTEMAS ALAGADOS CONTRUÍDOS DO
TIPO BIO-RACK SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO
HIDRAÚLICA**

**REMOVAL OF COLIFORMS IN CONSTRUCTED WETLANDS OF THE BIO-
RACK TYPE SUBMITTED TO DIFFERENT TIMES OF HYDRAULIC DETENTION**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos Orientador

**Lavras-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força, saúde e provisão para conclusão dessa graduação.

Agradeço a minha família, em especial, minha mãe Adriana, meu pai Reginaldo e meus irmãos Sarah e Pedro por me apoiarem em todo momento e me darem todo o suporte necessário para a realização desse sonho.

Agradeço os amigos Lara Mota, André Guimarães, Helena Carvalho, Isabella Rodrigues e Jean Santos pelo companheirismo e amizade desde o primeiro período desse curso.

Agradeço aos amigos Mihaila Guimarães, Marcel Henrique, Diego Araújo e Luiz Lacerda pelo incentivo e apoio desde o início da minha trajetória com a Engenharia.

Agradeço ao meu orientador Mateus Matos por toda a ajuda e ensino na confecção desse trabalho e que também juntamente com a Mestre Jaqueline Soares me acompanharam na iniciação científica, permitindo agregar conhecimento e experiência.

Agradeço a CNPq pela oportunidade de bolsa que proporcionou aprendizado no ramo da pesquisa, em especial o trabalho em laboratório.

Agradeço ao Nemasa, Núcleo de Microbiologia aplicado ao Saneamento Ambiental, pelas habilidades desenvolvidas, principalmente o trabalho em equipe.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras pelas disciplinas, pela infraestrutura e também pelos trabalhos extracurriculares como atividade vivencial, iniciação científica, palestras entre outros. Agradeço também pelos contatos culturais proporcionados pela intuição como aulas de dança e apresentações musicais.

E por fim agradeço à todas as pessoas que participaram dessa trajetória e optaram por acreditar nesse sonho também.

RESUMO

Visando reduzir o risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica, deve-se aumentar a cobertura e a eficiência de soluções de saneamento descentralizadas, como a implementação de diferentes configurações de sistemas alagados construídos (SACs) no tratamento de esgotos unifamiliares e de pequenas comunidades. O SAC do tipo Bio-rack (SACs-BR) é uma das mais novas concepções desenvolvidas para essa finalidade, que, no entanto, ainda carece de informações sobre as melhores condições de operação. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a capacidade de remoção de coliformes totais (CT) e termotolerantes (CTerm) em sistemas alagados construídos do tipo Bio-rack (SACs-BR) submetidos a diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH), tratando esgoto sanitário de uma instituição de ensino. Inferindo também sobre o efeito do pH, temperatura e da produtividade na redução da presença de indicadores de contaminação fecal. Os SACs-BR foram cultivados com *Chrysopogon zizanioides* (capim-vetiver), diferenciando-se quanto ao TDH, sendo os SAC A, B, C e D, respectivamente, submetidos a TDH de 6, 12, 24 e 48 h, com cargas aplicadas de 368 a 2775 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO. Amostragens do afluente e efluente às unidades foram realizadas quinzenalmente para análise de CT e CTerm. Tendo média geométrica no esgoto de 5,8 x 10⁷ e 5,4 x 10⁷ NMP por 100 mL, respectivamente, de CT e CTerm, as remoções foram de 0,12 a 0,88 e 0,0 a 0,78 unidades log, na mesma ordem, nos reatores. Não foi verificada diferença significativa de coliformes totais entre as unidades, indicando não haver efeito do TDH sobre esse grupo de microrganismos. As duas unidades de maior TDH (24 e 48 h) apresentaram desempenho significativamente maior na remoção de coliformes termotolerantes em relação ao SAC de menor tempo de permanência do esgoto no reator (6 h). No entanto, não foi possível visualizar efeito do pH, temperatura e produtividade na remoção de coliformes termotolerantes.

Palavras-chave: Capim-vetiver; Esgoto sanitário; patógenos; Tratamento de águas residuárias; Wetlands construídos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sistemas Alagados Construidos	18
Figura 2- <i>Box plot</i> : Logaritmo das contagens de coliformes totais na entrada e saída dos SACs-BR.....	22
Figura 3- <i>Box plot</i> : Logaritmo das contagens de coliformes termotolerantes na entrada e saída dos SACs-BR...	22
Figura 4- Relação entre o pH e a remoção de coliformes termotolerantes (em unidades log) no SAC-BR D (TDH = 48 h).	26
Figura 5- Gráfico de temperatura x remoção de coliformes no SAC-BR D.....	27
Figura 6- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC-BR A	29
Figura 7- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC B	29
Figura 8- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC-BR C.....	30
Figura 9- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC-BR D	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados de literatura de remoção de patógenos e tipos de tratamento descentralizados	14
Tabela 2- Condições de operação dos SACs-BR – Aclimação do capim-vetiver.....	19
Tabela 3-Média e mediana da contagem de coliformes totais e das eficiências de remoção.....	20
Tabela 4- Média geométrica e mediana da contagem de coliformes termotolerantes e das eficiências de remoção	21
Tabela 5-Valores de pH obtidos na entrada e saída dos SACs-BR	25
Tabela 6-Remoções por período (estação do ano) e temperaturas médias registradas no período	27
Tabela 7- Produtividade (Prod.) de matéria seca ($\text{g. d}^{-1}. \text{m}^{-2}$) da parte aérea do capim-vetiver cultivados em SACs-BR em cada corte e a associação com a eficiência (Ef.) de remoção de coliformes no período entre cortes.	31

LISTA DE SIGLAS

CT	Coliformes Totais
CTerm	Coliformes Termotolerantes
NMP	Número Mais Provável
SACs-	Sistema Alagado Construídos do
BR	tipo Bio-Rack
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MATERIAL E MÉTODOS	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1 Eficiências de Remoção	20
3.2 . Efeito do pH na remoção de coliformes.....	24
3.3 . Influência da temperatura	26
3.4. Influência da Produtividade	28
4 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

Águas residuárias de origem doméstica ou proveniente de instalações de criatórios de animais podem apresentar elevado risco à saúde humana, pela presença de contaminantes e de organismos patogênicos (YAN; WANG; LIU, 2020). As doenças de veiculação hídrica ainda permanecem como um grande desafio no século XXI, dado o grande número de pessoas sem acesso a serviços de saneamento e os baixos índices de tratamento de águas em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. No Brasil, mais de 30% dos domicílios não tem sequer coleta de esgotos, indicando que a universalização do saneamento ainda é uma realidade distante (IBGE, 2019).

Diversos organismos estão presentes nas águas residuárias, sendo alguns benéficos, possibilitando a remoção de poluentes, enquanto outros são nocivos, podendo causar doenças como diarreia, disenteria, ascaridíase e cisticercose (RAVINDRAN, 2019; FALKENBERG, 2018). Como é oneroso quantificar a presença de todos os patógenos, rotineiramente são utilizados indicadores, caracterizados por grupos de microrganismos de fácil detecção em laboratório; manipulação segura; presentes em vários ambientes incluindo águas contaminadas; e estejam em maior número que os organismos causadores de doenças em ambientes contaminados. Dentre os indicadores mais utilizados para avaliação do risco sanitário, cita-se os grupos Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (CTerm) sendo estes um subgrupo do item anterior e a *Escherichia coli* (E. coli) que ocorre naturalmente no intestino humano (DALLA et. al, 2015).

Segundo dados da literatura, os valores de contagem de coliformes termotolerantes no esgoto sanitário tipicamente estão na faixa de 10^6 à 10^9 Número Mais Provável (NMP) por 100 mL (VON SPERLING, 2017). Apesar de alguns problemas identificados na associação da presença de CTerm com a contaminação fecal, tais como a capacidade de crescimento em ambientes não contaminados e a de serem mais susceptíveis às variações de condições climáticas e ao tratamento do que os vírus, esses ainda são os mais utilizados na avaliação da qualidade microbiológica de águas residuárias e resíduos sólidos por serem de fácil detecção, tecnologia acessível e de manipulação segura (AGHALARI et al., 2013; VON SPERLING, 2017; LUGO; DE LA PUENTE, 2021).

Além dos aspectos relacionados ao baixo índice de cobertura dos serviços de saneamento, outro fator a ser ressaltado é em relação à ineficiência das unidades de tratamento convencionais na remoção de agentes causadores de doenças. As maiores eficiências de remoção de organismos patogênicos no tratamento de águas residuárias ocorrem por processos químicos (cloração e ozonização) e físicos (radiação UV e uso de membranas) (COLLIVIGNARELLI et al., 2018), técnicas que são inviáveis para a realidade de muitos dos municípios e comunidades, dificultando a mitigação dos impactos do lançamento do esgoto no curso d'água (MARCHAND et. al., 2014; SHUBIAO et. Al , 2015; LIU, HALL, CHAMPAGNE, 2018). Assim, torna-se importante a utilização de alternativas que sejam ao mesmo tempo econômicas e eficientes na desinfecção, como algumas soluções descentralizadas.

A disposição no solo, uso de lagoas de maturação e sistemas alagados construídos (SACs) são opções que têm se mostrado efetivas na redução da contagem do grupo coliformes e de *E. coli* (ABEL et al ,2014; DAHL et. al, 2017; AMORIM et al, 2019). Os SACs, por exemplo, são unidades de baixos custos, de fácil construção e manutenção e que têm baixa demanda energética, assim poderiam ser implementados em pequenas comunidades ou em agroindústrias, visando reduzir o aporte de poluentes e a contaminação com organismos patogênicos (DONDE; XIAO, 2017; SHINGARE, et al., 2017). Outras unidades são apresentadas na Tabela 1, para fins de comparação.

Tabela 1- Dados de literatura de remoção de patógenos e tipos de tratamento descentralizados

Tipo de Tratamento	TDH (h)	Indicador Microbiológico	Remoção (%)	Contagem Inicial NMP 100 mL ⁻¹	Fonte
Bio-Cache ¹	2	Coliformes Totais	93,0	-	Valipour et. al. (2012)
	24		90,0	4,38x10 ⁸	
Tanque Septico de duas bateladas	48		93,0	3,99x10 ⁸	
	72		95,0	1,08x10 ⁸	
	24	Coliformes Termotolerantes	83,0	7,60x10 ⁸	Nasr Mikhaeil(2013)
Tanque Séptico convencional	48		85,0	8,83x10 ⁸	
	72		86,0	3,12x10 ⁸	
Tanque Sépticos modificada + Filtro Anaeróbio	-	Coliformes Termotolerantes	99,0	-	Sharma, Karmi (2014)
		Coliformes Totais	99,2		
COR-FB ²	-	Coliformes Termotolerantes	99,9	7,8x10 ³	Zhenhua (2012)
HFBR ³	-	Coliformes Termotolerantes	99,0	-	Kamah (2015)
SAC híbrido		Coliformes totais, <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) e ovos de Helmintos	90,0%	-	Gárcia et. al. (2013)
SAC híbrido	112,8 ⁴	Coliformes Termotolerantes	95,4	10 ⁵ -10 ¹¹	Amorim et al. (2019)
SAC híbrido	55,2 ⁴	Coliformes Termotolerantes	98,1	10 ⁵ -10 ¹¹	Amorim et al. (2019)
SAC-EHSS	146,4	Coliformes Termotolerantes	73,0	10 ⁵ -10 ¹¹	Amorim et al. (2019)
SAC-EHSS	12	Coliformes Termotolerantes	0,0	10 ⁵ -10 ¹¹	Amorim et al. (2019)
SAC-BR plantado com taboa	27	Coliformes Totais	>99	5,3x10 ⁷	Jamshidi et al. (2014)
SAC-BR plantado com caniço	21	Coliformes Totais	>99	5,3x10 ⁷	Jamshidi et al. (2014)

1. Unidade de filme fixo de crescimento aeróbio compactado
2. Reator de oxidação de bio-contato integrado com leito filtrante
3. Reator de biofilme de escoamento horizontal em escala piloto
4. TDH do SAC-EHSS (localizado após SAC-EV).

Em que, SAC-BR – Biorack; SAC-EHSS – Escoamento horizontal subsuperficial; SAC-EV – escoamento vertical.

Fonte: Autor (2021).

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que a importância do TDH na remoção de organismos patogênicos, vide trabalho de Avelar et al. (2014), e da existência de condições aeróbias. No trabalho de Amorim et al. (2019), a presença de um SAC-EV (escoamento vertical) proporcionou melhores condições (unidade de maior potencial redox) para remoção de coliformes nos SACs.

Por mecanismos como filtração, adsorção, liberação de substâncias antimicrobianas pelas plantas; existência de microzonas aeróbias (na rizosfera); predação e competição com outros microrganismos, além de sedimentação e filtração, há um decaimento de até 3 a 4 unidades log para coliformes totais em SACs (KADLEC; WALLACE, 2009; RICHWELL, 2016; AVELAR et al., 2014; WU et al., 2016; VON SPERLING, 2017). Assim, fatores como tempo de detenção hidráulica (TDH), condições meteorológicas (temperatura, insolação e precipitação), pH, tipo e presença de vegetação, regime hidráulico, tipo de meio suporte, potencial redox, entre outros, podem influenciar na redução da contagem de organismos patogênicos viáveis (WU et al., 2016).

Desde o advento dos SACs, diversas pesquisas já foram realizadas com a avaliação do desempenho de distintas configurações e alterações. Como exemplos, cita-se trabalhos utilizando diferentes tipos de meio suporte (ou ausência de materiais porosos); com distintas condições de escoamento, tendo escoamento subsuperficial (horizontal ou vertical) e superficial; com a avaliação de espécies vegetais mais propícias (macrófitas, capins e espécies ornamentais); com o monitoramento do efeito da intensificação (introdução de chicanas, aeradores, etc), entre outras modificações, visando elevar as eficiências de remoção de poluentes e reduzir a demanda de área, uma das principais desvantagens dos reatores (ILYAS, MASIH, 2017; LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019).

Nos últimos anos, surgiu uma nova configuração denominada SACs do tipo Bio-rack (SAC-BR), que se caracteriza por uma unidade com presença de tubos perfurados dispostos na vertical, nos quais se desenvolve o sistema radicular das plantas e ocorre o crescimento microbiano, e por onde flui o líquido em tratamento em alternância de escoamento vertical e horizontal. Na configuração desenvolvida por Valipour et al. (2009), não há presença de brita ou outro meio suporte pedregulhoso, o que permite reduzir os gastos com aquisição e troca do substrato filtrante, e aumenta o tempo de vida útil do sistema (VALIPOUR et al., 2009; JAMSHIDI et al., 2014; MARCHAND et al., 2014; SHATE; MANAVALLI, 2019). Por se tratar de uma configuração ainda em desenvolvimento, é necessário avaliar a capacidade e os

fatores de influência, como o tempo de detenção hidráulica (TDH) mais adequado, na remoção dos poluentes e de coliformes.

Assim, com a realização do trabalho, objetivou-se avaliar a capacidade de remoção de coliformes totais e termotolerantes em Sistemas Alagados Construídos do tipo Bio-rack (SACs-BR) submetidos a diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH), tratando esgoto sanitário de uma instituição de ensino. Inferindo também sobre o efeito do pH, temperatura e produtividade na redução da presença de indicadores de contaminação fecal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA). Lavras um município brasileiro da região do Campo das Vertentes, pertencente ao estado de Minas Gerais, apresenta clima tipicamente tropical de altitude. A ETE-UFLA está inserida no campus universitário e é composta pelo tratamento preliminar de grades grossas e finas (constituído de placas perfuradas); reatores UASB, Filtros Biológicos Aerados Submersos (FBAS) e filtros de areia, além de desinfecção com cloro e lâmpadas UV e tratamento do lodo em filtros-prensa, havendo grande preocupação da instituição com a qualidade microbiológica do efluente. No entanto, para a avaliação do potencial de remoção de organismos patogênicos nas unidades em escala piloto, o esgoto utilizado foi proveniente da etapa preliminar, possuindo, portanto, maiores contagens de organismos patogênicos.

Na avaliação da redução da contagem dos organismos patogênicos, foram utilizados quatro SACs-BR, construídos com bombonas de 100 litros, com altura de 0,65 m, diâmetro interno de 0,45 m e área superficial de 0,16 m². Todos os reatores tiveram em seu interior 12 tubos PVC, de 100 mm de diâmetro e 0,60 m de altura, perfurados por toda superfície com orifícios de 20 mm com espaçamento de aproximadamente 10 cm entre um orifício e outro, perfazendo-se um total de aproximadamente 20 furos por tubo. As unidades se diferenciaram em relação ao tempo de detenção hidráulica (TDH), sendo o SAC A submetido ao TDH de 6 horas, o SAC B de 12 horas, o SAC C de 24 horas e SAC D submetido ao TDH de 48 horas. A Taxa de Carregamento Orgânico (TCO) durante o período de monitoramento foi, respectivamente, de 2775, 1394, 701 e 368 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO (SOARES, 2021). Ressalta-se que na concepção do sistema avaliado no presente trabalho, os SACs-BR estão substituindo os tanques sépticos, essa comparação é importante na análise da aplicabilidade dos reatores no

tratamento descentralizado, com a aplicação de um efluente que passou apenas por um tratamento preliminar as cargas orgânicas aplicadas foram elevadas.

Os SACs-BR foram cultivados com *Chrysopogon zizanioides* (capim-vetiver), que tem como característica sua resistência e fácil adaptação às situações ambientalmente desfavoráveis, com 24 indivíduos plantados por unidade, colocados dentro de 12 tubos perfurados (furos de diâmetro de 100 mm) (Figura 1). A parte aérea do capim-vetiver foi cortada a cada 45 dias, sendo a sua massa seca quantificada. A tubulação de entrada foi posicionada a 32,5 cm de altura e a saída à 5,0 cm da base. Os SACs-BR foram alimentados com esgoto com utilização de 4 bombas peristálticas dosadoras da marca Prominent® que bombearam o efluente armazenado no reservatório de distribuição com capacidade de 350 L.

Figura 1- Sistemas Alagados Construídos



Fonte: Soares (2021)

Na Tabela 1, estão descritas a aclimação do volume de esgoto pracionado aos SACs desde a fase de aclimação das culturas até o monitoramento. Para possibilitar melhor desenvolvimento do capim-vetiver ao esgoto bruto (passou apenas pelo tratamento preliminar), fez-se diluições maiores da água residuária no início, reduzindo progressivamente até que se utilizou 100% de esgoto no início do monitoramento.

Tabela 2- Condições de operação dos SACs-BR – Aclimação do capim-vetiver

Efluente de adaptação					
Dia	Água		Esgoto		
	%	Volume (L)	%	Volume (L)	
1	75%	67,5	25%	22,5	
10	50%	45,0	50%	45,0	
20	25%	22,5	75%	67,5	
30	0%	0,0	100%	90,0	

Fonte: Autor (2021)

Amostragens do afluente e efluente às unidades foram realizadas quinzenalmente para análise de Coliformes Termotolerantes (CTerm) e coliformes totais (CT) no Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM). Utilizou-se os procedimentos da metodologia de Tubos Múltiplos descrito em Standard Methods – 20ª edição (APHA et al., 2012) As avaliações foram realizadas durante 6 meses, totalizando 14 dados de CT e 14 dados de CTerm.

Os resultados obtidos foram comparados com a utilização de testes estatísticos de comparação de medianas pelo teste de Kruskal-Wallis para avaliação de possíveis diferenças entre grupos, com nível de significância de 5%, empregando o *software* Statistica 10. O objetivo foi identificar o TDH mais propício para remoção dos organismos patogênicos na operação de SACs-BR. Também foi realizado o teste de Wilcoxon, para avaliar se houve diferença entre a contagem antes e após o tratamento em casa SAC-BR. A utilização de testes estatísticos não paramétricos se justifica pelo fato de que dados ambientais frequentemente não seguem distribuição normal (SCHMIDT; NOBRE; FERREIRA, 2003).

De forma a inferir sobre o efeito de outros fatores, além do TDH, na remoção de coliformes, monitorou-se o pH do esgoto (com uso de peagâmetro de bancada), foi feita a compilação de dados meteorológicos (temperatura) a partir da base do INMET, e utilizou-se de dados de produtividade vegetal no período. Para obtenção da última variável, a parte aérea das plantas foi coletada a cada 45 dias, com cortes realizados a 0,10 m da parte superior dos tubos.

O material foi então seco em estufa e pesado em balança digital no laboratório do DAM. Em algumas das análises, foi feita a separação em estações do ano, havendo divisão do período em primavera (23/09/19 à 22/12/19), verão (22/12/20 à 20/03/21) e outono (20/03/20 à 20/06/20).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Eficiências de Remoção

Nas Tabelas 2 e 3, estão apresentados os valores de contagem de coliformes pela técnica fermentação por tubos múltiplos, além das médias e medianas das eficiências.

Tabela 3-Média e mediana da contagem de coliformes totais e das eficiências de remoção

Unidades	Média			Mediana		
	Contagem	Remoções		Contagem	Remoções	
	NMP 100 mL ⁻¹	%	Unidades Log	NMP 100 mL ⁻¹	%	Unidades Log
Entrada	5,8 x 10 ⁷	-	-	13,0 x 10 ⁷	-	-
SAC A	3,5 x 10 ⁷	33,2	0,27	3,3 x 10 ⁷ A*	23,5	0,12
SAC B	3,0 x 10 ⁷	39,4	0,29	4,6 x 10 ⁷ A*	42,5	0,24
SAC C	2,2 x 10 ⁷	49,7	0,43	1,7 x 10 ⁷ A*	55,7	0,35
SAC D	0,9 x 10 ⁷	68,4	0,88	1,1 x 10 ⁷ A*	86,9	0,88

* - Indica diferenças significativas entre a entrada e saída dos SACs-BR, pelo teste de Wilcoxon, ao nível de 5,0% de significância;

Medianas seguidas pelas mesmas letras não tiveram diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis em nível de 5,0% de significância;

A média das contagens é a média geométrica, enquanto das eficiências é a média aritmética.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 4- Média geométrica e mediana da contagem de coliformes termotolerantes e das eficiências de remoção

Unidades	Média			Mediana		
	Contagem		Remoções	Contagem		Remoções
	NMP 100 mL ⁻¹	%	Unidades Log	NMP 100 mL ⁻¹ x 10 ⁶	%	Unidades Log
Entrada	5,9 x 10 ⁶			11,0 x 10 ⁶		
SAC A	5,2 x 10 ⁶	16,5	0,10	11,0 x 10 ⁶ A*	0,0	0,00
SAC B	4,2 x 10 ⁶	33,7	0,21	7,9 x 10 ⁶ AB*	41,3	0,23
SAC C	3,0 x 10 ⁶	43,2	0,28	4,9 x 10 ⁶ B*	53,6	0,33
SAC D	0,9 x 10 ⁶	75,4	0,88	1,1 x 10 ⁶ B*	83,6	0,78

* - Indica diferenças significativas entre a entrada e saída dos SACs-BR, pelo teste de Wilcoxon, ao nível de 5,0% de significância;

Medianas seguidas pelas mesmas letras não tiveram diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis em nível de 5,0% de significância.

A média das contagens é a média geométrica, enquanto das eficiências é a média aritmética.

Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados, observou-se que houve redução significativa da contagem de coliformes totais e termotolerantes aos passar pelos SACs-BR. Também, foi possível verificar que não houve diferença significativa entre os tratamentos na remoção de coliformes totais (CT), porém houve dos SACs-BR de maior TDH (C e D) em relação à unidade de maior carga aplicada (e menor TDH) (A) na remoção da coliformes termotolerantes (CTerm). Os resultados corroboram Avelar et al. (2014), que também observaram haver efeito do tempo de detenção na remoção de *E. coli*.

Maiores diferenças poderiam ser observadas entre as unidades caso os dados não apresentassem grande dispersão. Soares (2021) citou em seu trabalho que o esgoto da ETE-UFLA apresenta grande variabilidade em função da contribuição de elevatórias com diferentes características e de haver diferenças com base no período de férias, isolamento social ou período letivo, como ocorreu no experimento realizado. Essa condição pode ser observada nas Figuras 2 e 3, em que há médias (aritméticas) acima do terceiro quartil do *Box plot*, demonstrando também que os dados não seguem distribuição normal, que se caracteriza por média = mediana. Da mesma forma, reforçam que a média geométrica melhor representa a tendência central da contagem de coliformes como constatou von Sperling (2001).

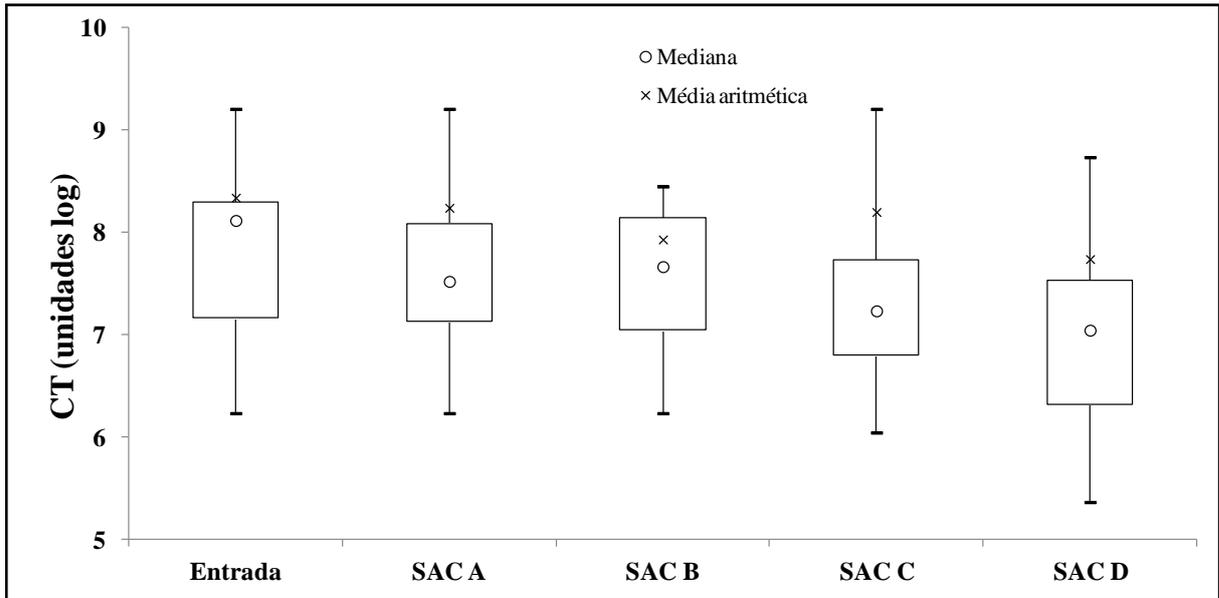


Figura 2-Box plot: Logaritmo das contagens de coliformes totais na entrada e saída dos SACs-BR.

Fonte: Autor (2021).

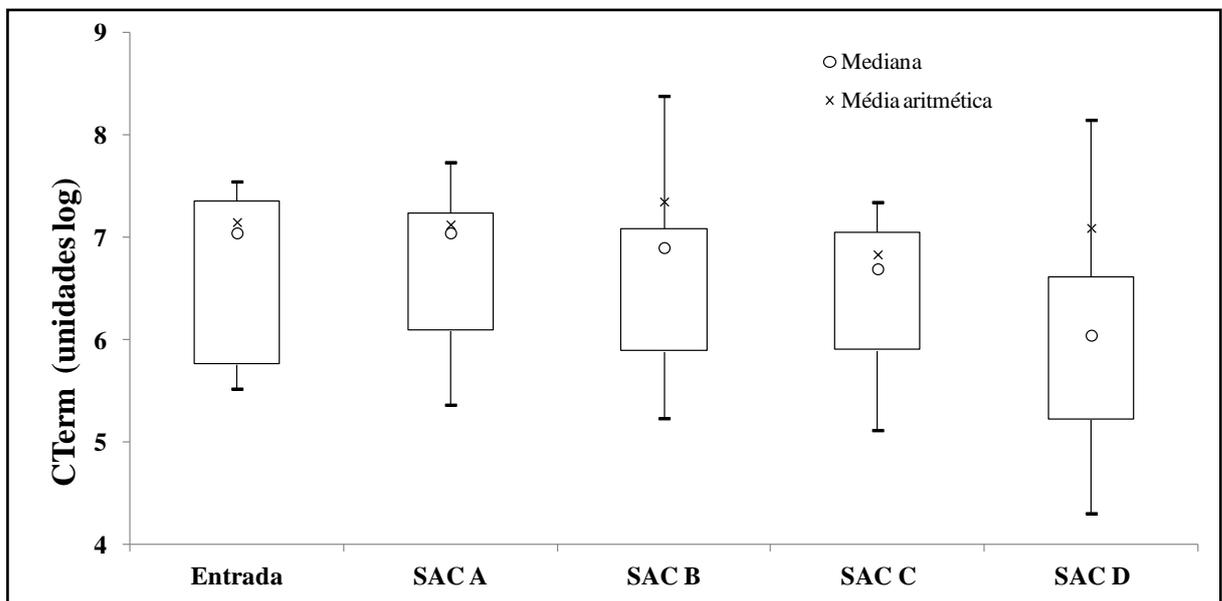


Figura 3- Box plot: Logaritmo das contagens de coliformes termotolerantes na entrada e saída dos SACs-BR.

Fonte: Autor (2021).

De acordo com Kadlec e Wallace (2009), as remoções de coliformes termotolerantes em SACs ficam em torno de 2 unidades log de remoção (99%), valores superiores aos encontrados no trabalho. Tanner et al. (1995) também obtiveram eficiências mais elevadas, tendo remoções de 1,3 a 2,6 unidades log em SACs de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS) com TDHs de 2 a 7 dias e cultivados com junco (*Schoenoplectus validus*). A capacidade de remoção aumentou com o tempo em que o líquido permaneceu no reator da mesma forma como discutido por Khatiwada e Polprasert (1999). Os autores encontraram remoções de 0,8 a 2,4 unidades log com TDHs de 1,5 a 6,0 dias, em SACs de escoamento superficial (SAC-ES) cultivados com taboa (*Typha angustifolia*).

Deve-se, no entanto, ponderar que além de diferentes tempos de permanência do líquido nos reatores, as condições de operação dos SACs-BR em relação aos referidos autores foram distintas. No trabalho de Tanner et al. (1995), os SACs-EHSS operaram como pós-tratamento do efluente de lagoas, enquanto em Khatiwada e Polprasert (1999), havia tratamento primário anterior, além das unidades serem de escoamento superficial (SAC-ES), o que proporcionaram às unidades maior potencial redox, podendo resultar em maiores eficiências de remoção (WU et al., 2016).

Também utilizando uma unidade de pré-tratamento (reator anaeróbio) Jamshidi et al. (2014), alcançaram eficiências de até 99% (2 unidades log) de coliformes totais em SACs-BR plantados com *Phragmites sp.* e *Typha sp.*, tendo TDH de 18 a 41 horas. Assim sendo, reforça-se a importância da existência do pré-tratamento para elevar a capacidade de remoção de organismos patogênicos. Por outro lado, essa condição pode encarecer e tornar mais complexa a operação do sistema de tratamento de pequenas comunidades e soluções unifamiliares.

Além do TDH e tipo de pré-tratamento, as cargas aplicadas também possuem grande efeito na remoção de coliformes como verificado por outros autores como por Hill e Sobsey (2001) e Chagas et al. (2012). Os últimos autores observaram que SACs submetidos a menores TCO (entre 44 e 98 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO), permitem proporcionar maiores remoções de coliformes, o que pode explicar o melhor resultado do SAC D e SAC C em relação ao SAC A. As cargas aplicadas nos SACs-BR foram superiores à faixa reportada, sendo um dos fatores que pode ter levado às menores eficiências em relações aos dados de literatura.

Comparando com outras unidades de tratamento descentralizado, Nasr e Mikhaeil (2013), por exemplo, constataram eficiências de remoção de aproximadamente 85% de coliformes termotolerantes, com TDH, em tanques sépticos. Ao utilizar chicanas, as eficiências se elevaram para aproximadamente 93 %, indicando que modificações com o escoamento mais próximo ao fluxo em pistão podem elevar a capacidade de depuração do reator.

Comparando os SACs-BR com os tanques sépticos, no TDH de 2 dias (SAC-D), as eficiências ficaram próximas aos de Nasr e Mikhaeil (2013), no entanto, considerando a unidade com 1 dia (SAC-C), as eficiências ficaram aquém. Ressalta-se, no entanto, que o esgoto sanitário avaliado pelos autores apresenta maior contagem de coliformes, da ordem de 10^9 , enquanto a água residuária da ETE-UFLA é de 10^6 NMP por 100 mL.

Em um compilado realizado por Bajpai et al. (2019), são apresentadas as eficiências de remoção de *E. coli* de alguns reatores de tratamento descentralizado, como reatores anaeróbios modificados (99,8% de remoção e TDH de 48 h), reatores de membranas (26,0% e TDH de 7 h), filtros aeróbios (93,0% e TDH de 2 h), entre outros. Algumas das referidas unidades não são conceitualmente de tratamento descentralizado, por apresentar maiores custos. No entanto, os autores apresentaram os reatores em função da sua compacidade e possível desenvolvimento futuro por pesquisadores para redução dos valores a serem investidos. .

Também observou-se que trabalhando como única etapa de tratamento, os SAC-BR com TDH de 48 h opera com desempenho semelhante a de fossas sépticas.

Em comparação com a Deliberação Normativa COPAM nº 65 de 2020, legislação que trata sobre a aplicação de esgoto sanitário no solo no estado de Minas Gerais, e com base na média geométrica, o efluente do SAC-D poderia ser utilizado na modalidade ambiental (Recuperação florística; recuperação de áreas degradadas, desde que o acesso seja restrito) por ter contagem inferior a 10^6 NMP por 100 mL. Para usos mais nobres, é preciso aumentar o nível de tratamento, seja com o aumento do TDH ou com a utilização de um pré-tratamento.

3.2 . Efeito do pH na remoção de coliformes

Microrganismos patogênicos têm maior sobrevivência em valores de pH dentro da faixa de 5,5 e 7,5, sendo que a sobrevivência diminui rapidamente em pH acima e abaixo desta faixa (WU et al., 2016). Assim, com base no potencial hidrogeniônico, as condições presentes no SACs-BR não são muito adequadas para redução da contagem de coliformes (Tabela 4).

Tabela 5-Valores de pH obtidos na entrada e saída dos SACs-BR

pH	Amostra				
	Entrada	SAC A	SAC B	SAC C	SAC D
Média	7,21	7,35	7,37	7,45	7,52
Mediana	7,14	7,29A*	7,38A*	7,46A*	7,51A*

* - Indica diferenças significativas entre a entrada e saída dos SACs-BR, pelo teste de Wilcoxon, ao nível de 5,0% de significância;

Medianas seguidas pelas mesmas letras não tiveram diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis em nível de 5,0% de significância.

Fonte: Autor (2021).

Houve aumento significativo do pH após passagem pelos SACs, não sendo, no entanto, suficiente para superar a faixa ótima para microrganismos patogênicos. Além disso, os valores do potencial hidrogeniônico também não foram diferentes entre as unidades mesmo operando com distintos TDHs.

Maior elevação do pH pode ser alcançado com a utilização de meios suportes alcalinos, como é o caso dos resíduos industriais (HAYNES, 2015). A presença de meio suporte também proporciona a ocorrência de outros mecanismos de remoção de organismos patogênicos como filtração e sorção (WU et al., 2016), além de maior diversidade microbiana (RAJAN; SUDARSAN; NITHIYANANTHAM, 2019), aumentando a predação e competição. Pelos motivos descritos, os SACs de escoamento subsuperficial têm melhor desempenho em relação aos SACs-ES, ainda que possuam menor potencial redox (MAIGA; VON SPERLING; MIHELIC, 2017). Assim, a adição de substrato filtrante poderia elevar as eficiências dos SACs-BR, ainda que Soares (2021) não tenha obtido sucesso com o emprego de brita #1 (meio pouco reativo) nas mesmas unidades.

Para avaliação do efeito do pH na remoção de coliformes termotolerantes (CTerm), foi construído o gráfico da Figura 4 para o SAC-BR D, de maior TDH que, na teoria, poderia ter efeito mais pronunciado (e maiores médias pH – numericamente). Verifica-se pela análise do mesmo não haver tendência de aumento ou diminuição da redução da contagem de coliformes com o pH.

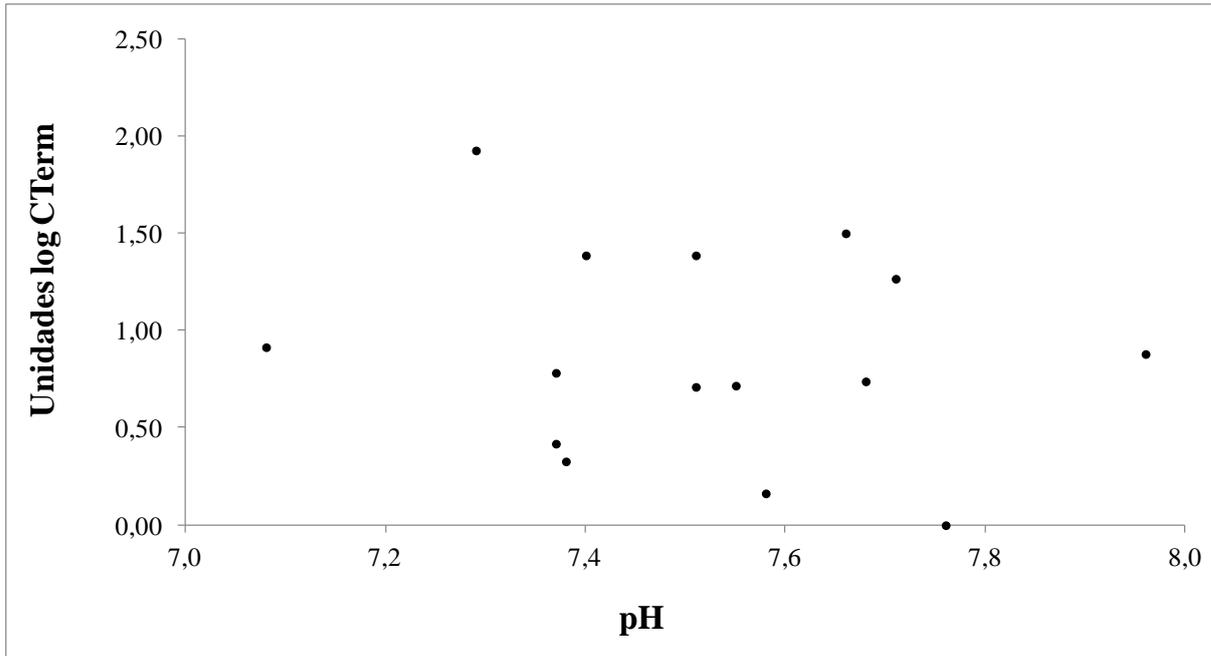


Figura 4- Relação entre o pH e a remoção de coliformes termotolerantes (em unidades log) no SAC-BR D (TDH = 48 h).

Fonte: Autor (2021).

3.3 . Influência da temperatura

A insolação, com ação da radiação ultravioleta (UV) sobre os microrganismos patogênicos é um dos principais fatores de influência na inativação dos vírus e bactérias no tratamento de águas residuárias. No entanto, esse mecanismo pode ser negligenciado em SACs de escoamento subsuperficial (vertical, horizontal e bio-racks) em função de não haver exposição do líquido (WU et al., 2016). Por outro lado, dias com maior insolação tendem a apresentar maiores temperaturas, o que pode resultar em maiores eficiências (ZHENG et al., 2016; DONDE, 2017).

Para avaliação do efeito da temperatura, construiu-se o gráfico da Figura 5, relacionando temperatura e remoção em unidades log do SAC-BR D. Novamente não se verificou tendência definida. No entanto, essa influência diária pode não ser perceptiva, fato pelo qual dividiu-se o monitoramento em estações do ano (Tabela 5).

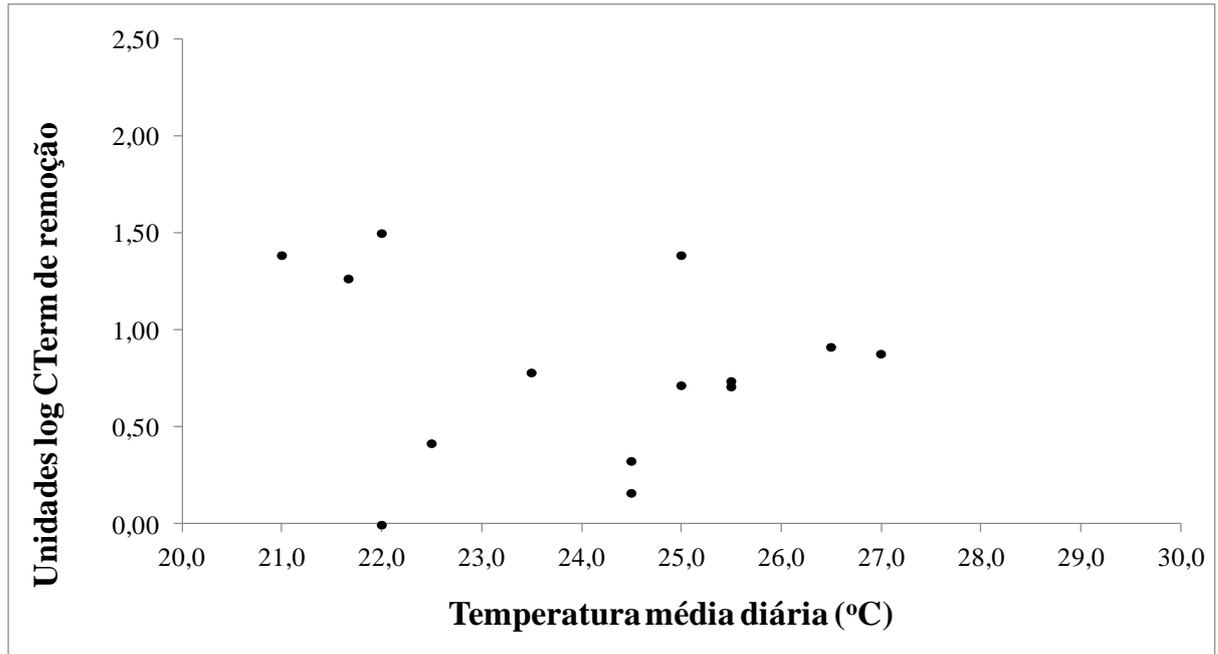


Figura 5- Gráfico de temperatura x remoção de coliformes no SAC-BR D

Fonte: Autor (2021).

Tabela 6-Remoções por período (estação do ano) e temperaturas médias registradas no período

	Primavera	Verão	Outono	Primavera	Verão	Outono
Temperatura (°C)	22 ^a	24 ^a	23A	22A	24A	23A
N	2	9	4	2	9	4
	Coliformes Totais (unidades log)			Coliformes Termotolerantes (unidades log)		
SAC A	0,64 ^a	0,12 ^a	0,00A	0,23A	0,00A	0,00A
SAC B	0,49 ^a	0,47 ^a	0,00A	0,11A	0,31A	0,28 A
SAC C	0,51 ^a	0,47 ^a	0,29A	0,32A	0,39A	0,09A
SAC D	0,54 ^a	1,16 ^a	0,45A	0,63A	0,78A	0,90 A

Em que, N é o número de dados (dias) de monitoramento.

Medianas seguidas pelas mesmas letras não tiveram diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis em nível de 5,0% de significância.

Fonte: Autor (2021).

Com base na análise da Tabela 5, observou-se não haver diferença significativa das eficiências nas estações do ano, contrariando os resultados obtidos por Zheng et al. (2016) e Donde (2017), que verificaram maiores eficiências em temperaturas mais elevadas. Essa condição pode ter sido observada por não haver diferença entre as temperaturas nos períodos analisados.

De acordo com a revisão feita por Wu et al. (2016), a temperatura pode ter efeito tanto na inativação de organismos quanto no desenvolvimento das plantas. Por sua vez, o último fator pode ter efeito dúbio na eficiência do reator, tanto aumentando a remoção por haver predomínio de determinadas espécies e liberação de substâncias antimicrobianas (AVELAR et al., 2014), quanto por haver maior sombreamento (redução da incidência solar e da temperatura) e área de fixação de microrganismos, dentre os patogênicos (MACINTYRE et al., 2006). Estudos como o de Avelar et al. (2014) e Pereira et al. (2014) indicam que os primeiros mecanismos são mais importantes, havendo efeito positivo das plantas na remoção de coliformes. A possível influência das plantas nos SACs-BR avaliados será discutido no item a seguir.

3.4. Influência da Produtividade

Maior produtividade pode propiciar maior liberação de substâncias antimicrobianas, filtração e adsorção (MAIGA; VON SPERLING; MIHELICIC, 2017; PEREIRA et al., 2014). Assim, para analisar a possível influência, construiu-se as Figura 6, 7, 8 e 9, na qual está apresentada a remoção de coliformes totais e termotolerantes em relação à produtividade obtida nos SACs-BR A, B, C e D, respectivamente.

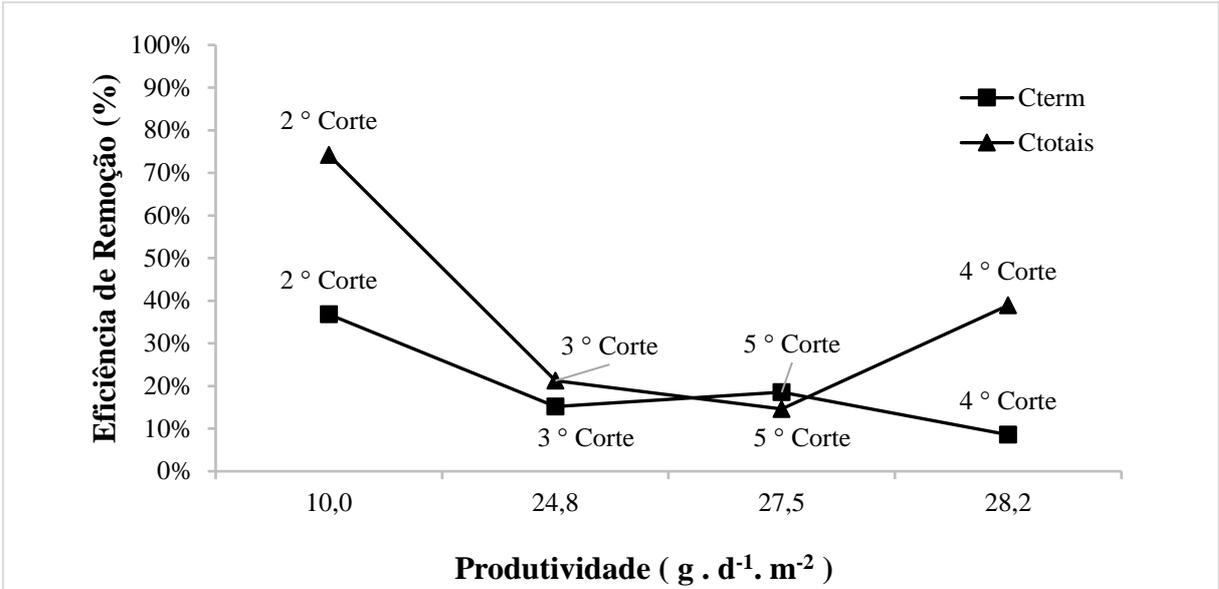


Figura 6- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC-BR A

Fonte: Autor (2021).

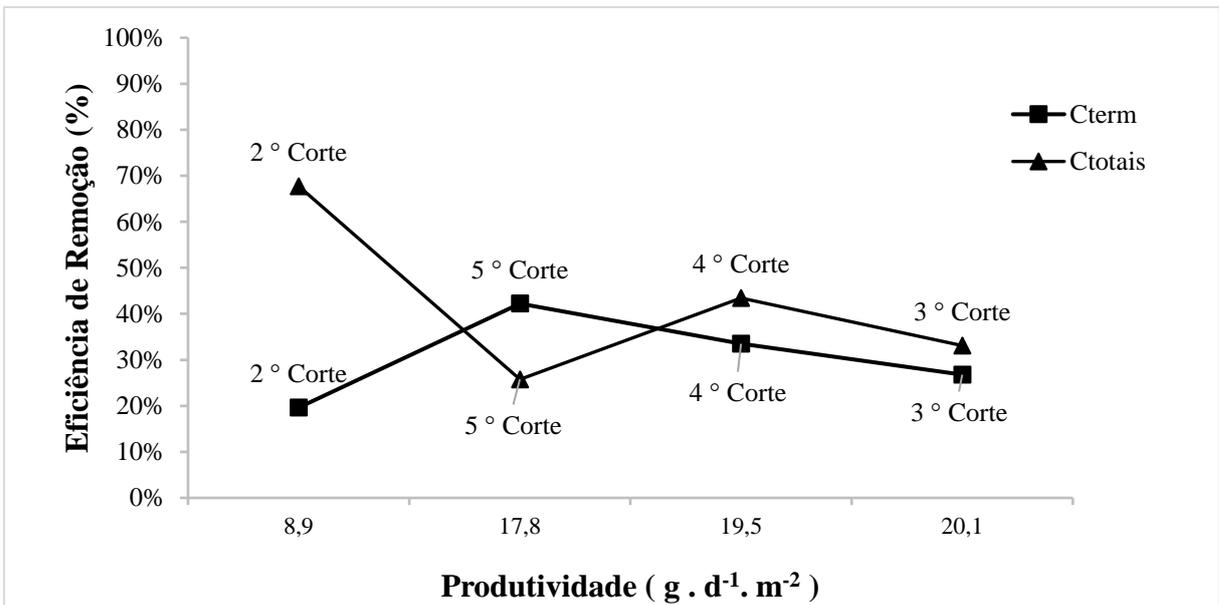


Figura 7- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC B

Fonte: Autor (2021).

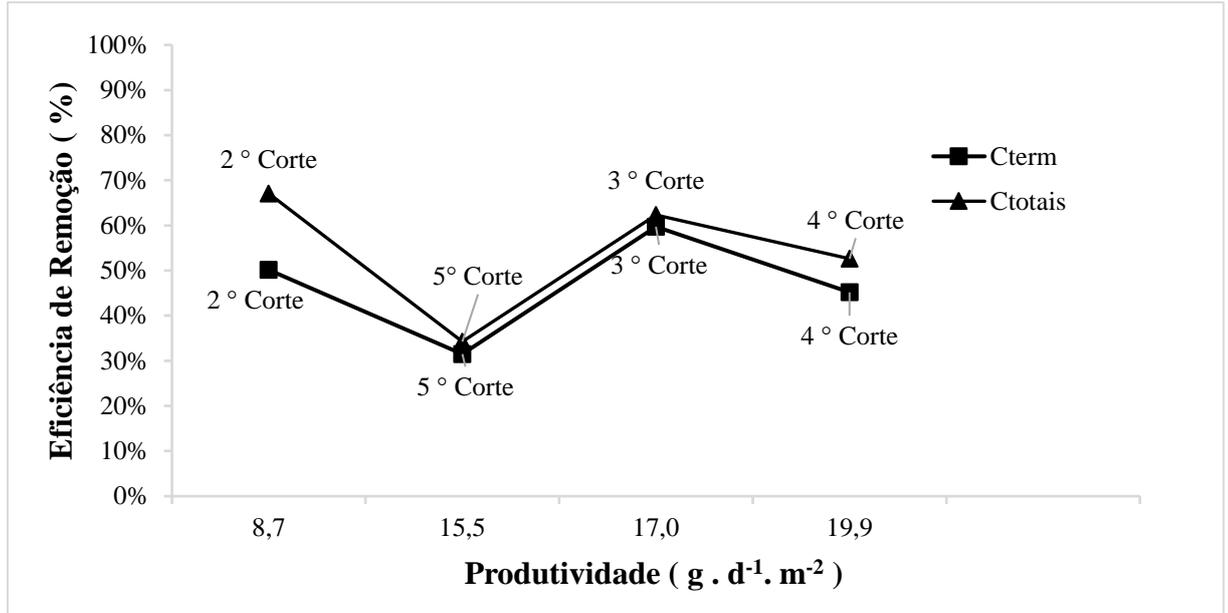


Figura 8- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC-BR C

Fonte: Autor (2021).

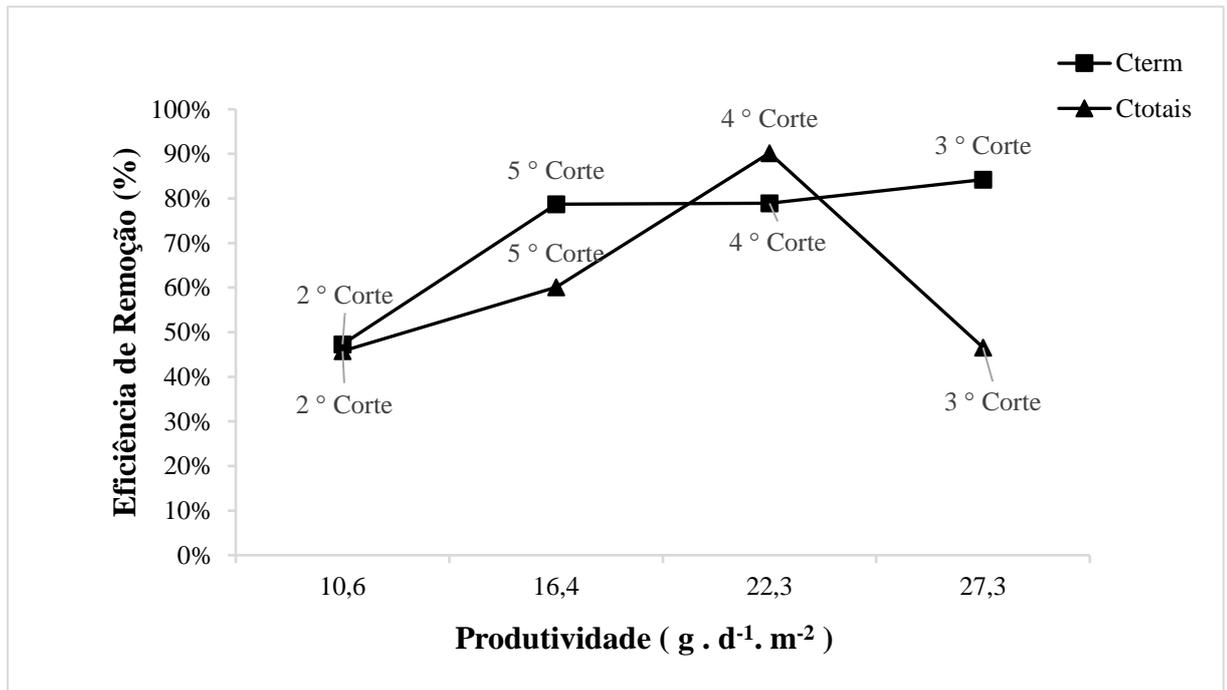


Figura 9- Produtividade e a eficiência de remoção no SAC-BR D

Fonte: Autor (2021).

Novamente, não foi observado nenhuma tendência em relação à produtividade e remoção de coliformes, corroborando Jamshidi et al. (2014), que não verificaram melhor desempenho da taboa em relação ao caniço, ainda que tenha produzido maior massa seca.

Na Tabela 7, estão apresentados os dados médios de produtividade gerados nos quatro cortes realizados no período de análise.

Tabela 7- Produtividade (Prod.) de matéria seca ($\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) da parte aérea do capim-vetiver cultivados em SACs-BR em cada corte e a associação com a eficiência (Ef.) de remoção de coliformes no período entre cortes.

Cortes	SAC A			SAC B			SAC C			SAC D		
	Ef. .CT	Ef. CTer	Prod.	Ef. .CT	Ef. CTer	Prod.	Ef. .CT	Ef. CTer	Prod.	Ef. .CT	Ef. CTer	Prod.
	%	%	$\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	%	%	$\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	%	%	$\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	%	%	$\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
2°	74,2	36,8	10,0	67,8	19,6	8,9	67,1	50,1	8,7	45,8	47,3	10,6
3°	21,3	15,2	24,8	33,1	26,8	20,1	62,3	59,7	17,0	46,6	84,2	27,3
4°	38,9	8,6	28,2	43,5	33,5	19,5	52,6	45,2	19,9	90,2	78,9	22,3
5°	14,6	18,5	27,5	25,8	42,2	17,8	34,3	31,5	15,5	60,1	78,7	16,4
Média			22,6			16,6			15,3			19,1
Median a			26,2A			18,6A			16,2^a			19,3A

Medianas seguidas pelas mesmas letras não tiveram diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis em nível de 5,0% de significância.

Com base na Tabela 7, verificou-se que como não há diferença significativa da produtividade entre os SACs, indicando que não é a massa vegetal que explicaria as diferenças entre o desempenho dos SACs C e D em relação ao SAC A na remoção de coliformes termotolerantes. De acordo com Chagas et al. (2012), o desenvolvimento da planta pode interferir sobre a remoção de coliformes totais, sendo que quanto maior o percentual de florescimento do lírio amarelo, menor foi a eficiência encontrada na remoção de CT. Como não houve diferença nem de produtividade, nem de remoção de coliformes totais nos SAC-BR, não se pode excluir a hipótese da influência vegetal sobre a presença desse grupo de microrganismos. A temperatura não diferiu significativamente no período e não influenciou na produtividade e ambos não tiveram interferência na remoção de coliformes nos SACs avaliados.

Sabe-se que o maior desenvolvimento vegetal pode implicar em uma comunidade microbiana mais diversa (WU et al., 2016), e que os CT englobam microrganismos de vida livre no solo. Assim, Pereira et al. (2014) especulam que cria-se assim uma condição mais propícia à sobrevivência de algumas das espécies, o que poderia explicar a redução da eficiência no trabalho de Chagas et al. (2012) e a não diferença entre os tratamentos dos SACs A, B, C e D.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que:

- As duas unidades de maior TDH (24 e 48 h) apresentaram desempenho significativamente maior na remoção de coliformes termotolerantes em relação ao SAC de menor tempo de permanência do esgoto (6 h);
- Não foi possível visualizar efeito do pH, temperatura e da produtividade na remoção de coliformes termotolerantes sendo necessário avaliar esses critérios em um cenário de aplicação de menores cargas orgânicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

YAN, Z., WANG, C. & LIU, T. An analysis of the environmental efficiency of pig farms and its determinants—a field study from China. **Environ Sci Pollut**, Res 27, 2020.

RAVINDRAN, V. B. et al. A modified approach to recover and enumerate *Ascaris* ova in wastewater and sludge. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 13, n. 2, p. e0007020, 2019.

FLKENBERG T, SAXENA D. Impact of Wastewater-Irrigated Urban Agriculture on Diarrhea Incidence in Ahmedabad, India. **Indian J Community Med**,2018.

DALLA VECCHIA, A., RIGOTTO, C., STAGGEMEIER, R. et al. Surface water quality in the Sinos River basin, in Southern Brazil: tracking microbiological contamination and correlation with physicochemical parameters. **Environ Sci Pollut**, Res 22, 9899–9911,2015.

LIU, L.; HALL, G.; CHAMPAGNE, P. Disinfection processes and mechanisms in wastewater stabilization ponds: a review. **Environmental Reviews**, v. 26, n. 4, p. 417–429, 2018.

WU S, CARVALHO PN, MÜLLER JA, MANOJ VR, DONG R. Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. **Sci Total Environ**,2016.

MARCHAND L., NSANGANWIMANA F., OUSTRIÈRE N., GREBENSHCHYKOVA Z., LIZAMA-ALLENDE K., et al. Copper removal from water using a bio-rack system either unplanted or planted with *Phragmites australis*, *Juncus articulatus* and *Phalaris arundinacea*. **Ecological Engineering**, Elsevier, 64, pp.291-300,2014.

CHOL D.T. ABEL, SAROJ K. SHARMA, SELAMWIT A. MERSHA, MARIA D. KENNEDY. Influence of intermittent infiltration of primary effluent on removal of suspended solids, bulk organic matter, nitrogen and pathogens indicators in a simulated managed aquifer recharge system, **Ecological Engineering**, Volume 64, Pages 100-107,2014.

DAHL NW, WOODFIELD PL, LEMCKERT CJ, STRATTON H, ROIKO A. A practical model for sunlight disinfection of a subtropical maturation pond. **Water, Res.** Jan 1;108:151-159,2017.

AMORIM, Fabiana de et al. Coliform removal in a constructed wetland system used in post-swine effluent treatment. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 14, n. 5, e2402, 2019

SHINGARE, R. P. et al. Comparative study on removal of enteric pathogens from domestic wastewater using *Typha latifolia* and *Cyperus rotundus* along with different substrates. **International Journal of Phytoremediation**, [s. l.], v. 19, n. 10, p. 899–908, 2017.

DONDE O. O. and XIAO B. Understanding wastewater treatment mechanisms: a review on detection, removal, and purification efficiencies of faecal bacteria indicators across constructed wetlands. **Environmental Reviews**, 2017.

ALUFASI R., GERE J., CHAKAUUY E., LEBEA P., PARAWIRA W. CHINGWARU W. Mechanisms of pathogen removal by macrophytes in constructed wetlands. **Environmental Technology Reviews**,2017.

LUCKE T, WALKER A.C, BEECHAM S. Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. **Sci Total Environ**, 2019.

AGHALARI, Z., DAHMS, HU., SILLANPÄÄ, M. et al. Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review. **Global Health** ,2020.

SILVA, Maria Cristina de Almeida et al. Avaliação da viabilidade de utilização de colifagos como indicadores de poluição fecal: suas relações com parâmetros físicos e químicos e indicadores bacterianos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]**, 2015.

KADLEC, R.H.; WALLACE, R. D, Coliform removal in a constructed wetland system used in post-swine effluent treatment. **Treatment Wetlands**. 2a. ed. Florida: CRC Press, 1016p., 2009.

SCHMIDT, A. M.; NOBRE, A. A.; FERREIRA, G. S. Alguns Aspectos da Modelagem de Dados Espacialmente Referenciados. **Revista brasileira de estatística**, Brasil, v. 63, n. 220, p. 59-88, 2003.

SOARES, J. S., SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DO TIPO BIO-RACK COMO TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ESGOTOS SANITÁRIOS PARA SOLUÇÕES INDIVIDUAIS. Dissertação de Mestrado em Saneamento e Geotecnia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, MG, 107 p., 2021.

VON SPERLING, M.. Coliformes e pH - **médias aritméticas, médias geométricas e medianas**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 2001 (Capítulo de coletânea).

TANNER CC, CLAYTON JS, UPSDELL MP. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters – I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms. **Water, Res.** 29:17–26,1995.

SATHE, S. M.; MUNAVALLI, G. R. Domestic wastewater treatment by modified bio-rack wetland system. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 240-249, 2019.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA CERH-MG N° 65, DE 18 DE JUNHO DE 2020

LUGO J., ELKYN R.L.A., PUENTE M. A systematic review of microorganisms as indicators of recreational water quality in natural and drinking water systems. **Journal of Water and Health**,10.2166/wh.2020.179, 2020.

AVELAR FF, de MATOS AT, de MATOS MP, BORGES AC. Coliform bacteria removal from sewage in constructed wetlands planted with *Mentha aquatica*. **Environ Technol**,2014.

KHATIWADA NR, POLPRASERT C. Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands. **Water Sci Technol**, 40(3):109–116,1999.

EL-KAMAH, Hala M.; DOMA, Hala S.; EL-SHAFI, Saber A. Horizontal flow biofilm reactor for carbon and nitrogen removal from municipal wastewater. **Advances in Environmental Biology**, v. 9, n. 24, p. 222-228, 2015.

HARRISON, R.B., TURNER, N.S., HOYLE, J.A. et al. Treatment of Septic Effluent for Fecal Coliform and Nitrogen in Coarse-textured Soils: Use of Soil-only and Sand Filter Systems. **Water, Air & Soil Pollution** ,124, 205–215,2000.

VALIPOUR, A., et al. An approach on attached growth process for domestic wastewater treatment. **Environmental engineering and management jornal**,13. 145-152, 2014.

NASR, FAYZA, HAROUN B., Treatment of domestic wastewater using conventional and baffled septic tanks. **Environmental technology**,34,2337-43, 2013.

RICHARDS S., PATERSON E, WITHERS PJ, STUTTER.Septic tank discharges as multi-pollutant hotspots in catchments. **Sci Total Environ**, 542(Pt A):854-63,2016.

HILL, V. R.; SOBSEY, M. D. Removal of Salmonella and microbial indicators in constructed wetlands treating swine wastewater. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 11-12, p. 215-222, 2001.

CHAGAS, R. C., MATOS, A. T. de CECON, P. R., Lo MONACO, P. A. V., ZAPAROLLI, B. R. Remoção de coliformes em sistemas alagados construídos com Lírio Amarelo (*Hemerocallis flava*). **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, 20(2), 142-150, 2012.

JAMSHIDI, S., AKBARZADEH, A., WOO, K. S. *et al.* Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with *Phragmites* sp. and *Typha* sp. **J Environ Health Sci Engineer** 12, 131 ,2014.

HAYNES, R. Use of Industrial Wastes as Media in Constructed Wetlands and Filter Beds – Prospects for Removal of Phosphate and Metals from Wastewater Streams. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 2014.

BAJPAI, M., KATOCH, S. S.; CHATURVEDI, N. K. Comparative study on decentralized treatment technologies for sewage and graywater reuse—a review. **Water Science and Technology**, v. 80, n. 11, p. 2091-2106, 2019.

RAJAN, R., SUDARSAN, J. S.; NITHIYANANTHAM, S. Microbial population dynamics in constructed wetlands: Review of recent advancements for wastewater treatment. **Environmental Engineering Research**, v. 24, n. 2, p. 181-190, 2019.

MAIGA, Y., VON SPERLING, M. and MIHELICIH, J.R. Constructed Wetlands. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds), *Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project)*. (J.R. Mihelcic and M.E. Verbyla (eds), Part 4: Management Of Risk from Excreta and Wastewater - Section: Sanitation System Technologies, Pathogen Reduction in Sewered System Technologies), Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO, 2017.

MACLINTYRE M. E., WARNER B. G., SLAWSON R. M. Escherichia coli control in a surface flow treatment wetland. **J Water Health**,4(2):211-4,2006.

PEREIRA, M. dos S., MATOS, A. T. de, MATOS, M. P. de, & AGUIAR, P. L. de. Decaimentos de bactérias do grupo de coliformes em solos com cobertura vegetal e nu. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, 22(6), 575-582, 2014.

SHARNA M. K., KAZMI A. A., Anaerobic onsite treatment of black water using filter-based packaged system as an alternative of conventional septic tank, **Ecological Engineering**, Volume 75, Pages 457-461,2015.

TAKAL J. K., QUAYE-BALLARD J. A., EYVAZ M. (Reviewing editor) Bacteriological contamination of groundwater in relation to septic tanks location in Ashanti Region, Ghana, **Cogent Environmental Science**, 4:1, 2018.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22a. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1496p, 2012

COLLIVIGNARELLI, M.C. et al. Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. **Sustainability**, 10, 86, 2018.

VYMAZAL Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. **Proceedings of Taal**, 965-980, 2008.

ILYAS H, MASIH I. The performance of the intensified constructed wetlands for organic matter and nitrogen removal: A review. **J Environ Manage**, 198(Pt 1):372-383,2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de saneamento, Rio de Janeiro. 2011.

OMS-Organização Mundial de saúde, 2013.

WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater / World Health Organization. v. 1. Policy and regulatory aspects, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses. 2. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2016.