ESTUDO DE CASO EM ALAGOAS: DESEMPENHO DO EFLUENTE TRATADO EM ETE COMPACTA COM MANTAS NANOCERÂMICAS E VIABILIDADE DE REUSO EM IRRIGAÇÃO PAISAGÍSTICA

MARCIUS OMENA BOMFIM DE LIMA[1], DAYANA DE GUSMÃO COÊLHO[2]

[1]Doutorando do Programa de Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Maceió-AL, marciusomenabomfim@gmail.com;
[2]Drª. Dayana de Gusmão Coêlho, Prof. Titular do Programa de Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Maceió-AL, dayana.coelho@ctec.ufal.br.

RESUMO: Este estudo avaliou o efluente tratado por uma ETE compacta de esgoto doméstico em Alagoas. O foco foi verificar a viabilidade de reuso não potável para irrigação paisagística. A unidade opera em um condomínio resort litorâneo, em condições reais de aplicação. O sistema utiliza tratamento preliminar/primário, etapa biológica com reatores BioGill de mantas nanocerâmicas e desinfecção final com hipoclorito de sódio. Foram analisadas 20 campanhas de monitoramento do esgoto bruto e tratado. Os parâmetros incluíram DBO, DQO, coliformes termotolerantes, pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais, condutividade, óleos e graxas, temperatura, fósforo total e nitrogênio amoniacal. Os resultados foram comparados com CONAMA nº 430/2011, PROSAB (2003) COEMA/CE nº 2/2017 e Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017. Houve atendimento integral aos padrões de lançamento da CONAMA nº 430/2011. Também houve conformidade com PROSAB e COEMA/CE para fins urbanos. Para a norma Paulista, verificou-se conformidade parcial conforme a categoria de uso. Conclui-se que a tecnologia é viável para irrigação paisagística menos restritiva.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso de Água; Tratamento de Esgoto Sanitário; Sistemas Descentralizados; Irrigação Paisagística; Qualidade do Efluente Tratado.

CASE STUDY IN ALAGOAS: PERFORMANCE OF TREATED EFFLUENT IN A COMPACT WASTEWATER TREATMENT PLANT WITH NANOCERAMIC MEDIA AND FEASIBILITY OF REUSE FOR LANDSCAPE IRRIGATION

ABSTRACT: This study evaluated the treated effluent from a compact domestic wastewater treatment plant in Alagoas, Brazil. The focus was to assess the feasibility of non-potable reuse for landscape irrigation. The unit operates in a coastal resort condominium under real application conditions. The system uses preliminary/primary treatment, a biological stage with BioGill reactors equipped with nanoceramic media, and final disinfection with sodium hypochlorite. Twenty monitoring campaigns of raw and treated wastewater were analyzed. The parameters included BOD, COD, thermotolerant coliforms, pH, turbidity, total dissolved solids, conductivity, oils and grease, temperature, total phosphorus, and ammoniacal nitrogen.The results were compared with CONAMA Resolution No. 430/2011, PROSAB (2003), COEMA/CE Resolution No. 2/2017, and Joint Resolution SES/SMA/SSRH No. 1/2017. Full compliance with CONAMA Resolution No. 430/2011 discharge standards was observed. Compliance with PROSAB and COEMA/CE criteria for urban purposes was also observed. For the São Paulo state regulation, partial compliance was verified depending on the use category. It is concluded that the technology is feasible for less restrictive landscape irrigation reuse.

KEYWORDS: Water Reuse; Domestic Wastewater Treatment; Decentralized Systems; Landscape Irrigation; Treated Effluent Quality.

INTRODUÇÃO

Segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011, esgoto sanitário compreende despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração e parcela de efluentes não domésticos. A Lei nº

14.026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, reforça a coleta e o tratamento de esgoto como parte essencial da infraestrutura sanitária brasileira (BRASIL, 2011; BRASIL, 2020).

O Censo Demográfico 2022 do IBGE indica que 62,5% dos domicílios brasileiros possuíam acesso à rede de coleta de esgoto, mas 49 milhões de pessoas ainda utilizavam soluções precárias de esgotamento sanitário. Esse dado justifica a análise de alternativas compactas e descentralizadas, especialmente em locais onde a rede pública não atende adequadamente à demanda (IBGE, 2022).

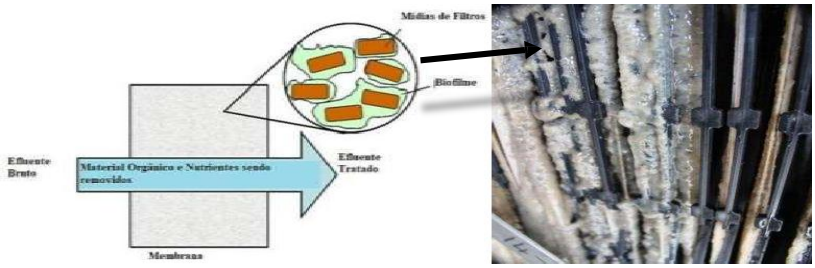
O reuso de efluente tratado aparece como alternativa para reduzir pressão sobre fontes de água potável, sobretudo em usos não potáveis. Experiências internacionais mostram essa tendência: em Israel, parcela expressiva das águas residuárias tratadas é reutilizada, inclusive na agricultura, com apoio de tratamento terciário e controle sanitário (ENVIRONMENT AND HEALTH FUND; MINISTRY OF HEALTH, 2017).

O reuso, entretanto, não pode ser tratado como solução automática. A literatura técnica aponta risco sanitário associado a bactérias, protozoários e helmintos quando o tratamento e o monitoramento não são suficientes. Assim, a confiabilidade do reuso depende da remoção de patógenos, da desinfecção, do controle operacional e da compatibilidade entre qualidade do efluente e finalidade de uso (LEONEL, 2014; WHO, 2006).

A regulamentação também é decisiva. Minegatti (2018) destaca que o reúso exige arcabouço legal claro, factível e seguro do ponto de vista ambiental, sanitário e jurídico. No Brasil, diferentes normas e referências são usadas para comparação, incluindo CONAMA 430/2011 para lançamento, PROSAB (2003) como referência técnica, COEMA/CE 2/2017 e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH 1/2017 para modalidades de reuso.

A tecnologia BioGill utiliza mantas nanocerâmicas verticais, não submersas e não pressurizadas, que funcionam como meio suporte para biofilme fixo. Segundo BioGill (2015, 2017), o efluente é recirculado sobre as mantas, aumentando o contato com comunidades microbianas em zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias. O conceito de biofilme como comunidade microbiana aderida a uma superfície é descrito por Sehar e Naz (2016).

Figura 1: Processo de formação de biofilme fixo



Fonte: Adaptado de Ikuma, 2013; BioGill, 2015

O objetivo deste estudo é avaliar a qualidade do efluente tratado por uma ETE compacta com mantas nanocerâmicas localizada em Alagoas e verificar sua viabilidade para reuso não potável em irrigação paisagística. Para isso, os dados primários de monitoramento foram comparados com os limites e critérios das referências normativas citadas no próprio estudo

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da unidade e do sistema de tratamento

O estudo foi conduzido em uma estação compacta instalada em condomínio resort à beira-mar no estado de Alagoas. O empreendimento possui 129 apartamentos, sete pontos comerciais e áreas de lazer, incluindo piscinas, restaurante, sauna, academia e playground. A caracterização operacional e a descrição do empreendimento foram extraídas dos dados primários apresentados no artigo original.

A ocupação varia conforme a sazonalidade: em baixa estação, estima-se circulação média de aproximadamente 400 pessoas por mês; em alta estação, o fluxo pode alcançar cerca de 1.100 pessoas por dia. Essa variação é relevante porque altera carga hidráulica e orgânica, exigindo estabilidade operacional da ETE em diferentes condições de uso.

O esgoto bruto é encaminhado para dois tanques de armazenamento, com volume total de 20 m³. Em seguida, passa por dois tanques de equalização de 20 m³ cada, operando em série, e por caixa de gordura antes da etapa biológica. Essa configuração foi descrita na metodologia do artigo original como parte do sistema preliminar/primário da unidade.

Na etapa secundária, o efluente passa por quatro tanques de recirculação associados às torres biológicas BioGill. Cada tanque possui bomba submersa de 0,5 cv, que recalca o líquido para o topo do reator; o efluente percola pelas mantas nanocerâmicas e retorna ao tanque. A lógica de recirculação e percolação sobre biofilme segue o princípio técnico indicado pela BioGill (2015).

Após a etapa biológica, o efluente recebe hipoclorito de sódio com 12% de cloro ativo e segue para tanque de contato. Aproximadamente 46 m³/dia são destinados a valas de infiltração e cerca de 2 m³/dia são utilizados na irrigação paisagística do entorno da ETE. Em períodos chuvosos, o reuso é interrompido, conforme registro operacional do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram consideradas 20 campanhas de amostragem do esgoto bruto e do efluente tratado, conforme o quadro 1 (dados originais). O conjunto de resultados apresentado cobre o período de setembro de 2023 a abril de 2025 e inclui médias gerais do esgoto bruto, do efluente tratado e da eficiência de remoção de DBO.

Quadro 1: Dados originais.

Efluente Bruto																					
Parâmetro	**set-23**	**out-23**	**nov-23**	**dez-23**	**jan-24**	**fev-24**	**mar-24**	**abr-24**	**mai-24**	**jun-24**	**jul-24**	**ago-24**	**set-24**	**out-24**	**nov-24**	**dez-24**	**jan-25**	**fev-25**	**mar-25**	**abr-25**	**Média Geral**
Alcalinidade Total (mg/L)	444,44	230	230	240	205,00	225,00	230,00	118,00	196,00	230,00	210,00	170,00	239,00	340,00	284,00	180,00	210,00	252,00	450,00	550,00	261,67
DBO (mg/L)	762,39	925,1	1119,13	440,19	2051,15	840,48	797,10	506,72	552,99	817,73	598,99	357,93	382,55	706,67	428,80	418,87	577,80	482,78	631,00	665,29	703,18
DQO (mg/L)	1238,2	1823,6	1988,5	1128,33	5264,12	1668,70	1862,14	1316,25	1411,70	1560,28	1087,29	729,17	669,07	1131,00	764,00	818,00	817,00	955,00	747,00	802,50	1389,09
Fósforo Total (mg/L)	14,918	8,526	10,828	10,826	15,11	8,57	10,02	17,63	16,50	15,50	12,58	23,97	4,83	13,61	7,64	8,44	9,25	16,13	8,84	11,50	12,26
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	101,81	49,93	44,8	56,7	162,40	51,10	45,50	35,00	26,60	21,00	65,80	49,00	44,80	77,00	72,80	47,60	79,80	57,87	49,00	79,33	60,89
Óleos e Graxas Totais (mg/L)	35	204	272	171	2080,00	221,00	119,10	168,90	94,00	368,00	41,33	93,40	98,50	122,50	123,70	102,50	118,40	93,60	132,30	146,70	240,30
pH	8,65	7,46	7,48	7,21	6,83	7,61	7,54	2,38	6,32	6,82	6,92	7,05	6,99	8,24	6,81	7,30	7,83	6,25	5,43	6,31	6,87
Ssd (mL/L)	0,1	1,5	4,5	1,5	30,00	15,00	8,00	2,10	7,00	6,00	1,40	0,10	0,10	0,10	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	1,50	4,02
Temperatura (ºC)	26	30,1	29,6	31,8	32,10	30,00	31,40	30,90	30,60	29,00	26,00	27,00	28,00	27,30	29,00	28,30	29,70	29,20	29,40	31,30	29,34
Turbidez (NTU)	103,28	342	386	400	793,00	73,60	66,10	303,00	195,90	804,00	138,20	172,30	341,00	129,00	226,00	52,90	80,31	186,70	106,63	167,26	253,36
Efluente Tratado																					
Parâmetro	**set-23**	**out-23**	**nov-23**	**dez-23**	**jan-24**	**fev-24**	**mar-24**	**abr-24**	**mai-24**	**jun-24**	**jul-24**	**ago-24**	**set-24**	**out-24**	**nov-24**	**dez-24**	**jan-25**	**fev-25**	**mar-25**	**abr-25**	**Média Geral**
Alcalinidade Total (mg/L)	282,83	20	50	70	175,00	300,00	99,00	136,00	62,00	220,00	50,00	72,00	17,00	20,00	100,00	25,00	126,00	238,00	510,00	96,67	133,48
Cloro Livre (mg/L)	3,39	0,37	1,65	6,5	0,15	0,58	3,09	1,38	1,30	0,15	0,10	0,10	0,61	0,25	1,01	0,10	0,10	2,52	1,87	2,06	1,36
Coliformes (NMP/100 mL)	1,8	33	27	18	70,00	460,00	330,00	210,00	330,00	490,00	400,00	330,00	1,80	110,00	330,00	310,00	580,00	1,80	1,80	1,80	201,85
DBO (mg/L)	49,04	12,63	57,7	6,28	188,10	118,92	76,89	49,78	19,61	34,43	28,45	36,12	39,37	58,33	28,87	32,47	38,77	27,73	11,09	10,89	46,27
DQO (mg/L)	70,51	65,21	93,24	40,28	256,28	230,91	116,28	95,16	85,10	51,17	48,40	58,47	94,42	181,00	173,00	68,00	94,00	88,00	283,00	75,83	113,41
Fósforo Total (mg/L)	10,3	2,03	6,45	9,938	9,51	12,89	9,57	10,34	9,50	8,75	10,06	17,52	4,63	12,83	9,66	8,64	11,04	11,06	9,84	8,71	9,66
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	57,5	22,96	26,04	24,92	25,48	22,40	19,88	24,08	16,50	14,56	14,00	13,16	19,60	11,90	28,56	12,60	20,30	23,80	19,60	28,47	22,32
Óleos e Graxas Totais (mg/L)	13,3	10	16	5	64,20	73,60	45,80	37,60	19,20	8,67	28,67	12,50	9,60	23,30	29,10	11,80	14,80	9,60	23,60	11,70	23,40
pH	8,25	6,86	6,96	7,03	7,35	6,11	7,61	7,28	6,85	7,11	6,81	6,99	7,20	6,42	7,10	7,53	7,64	7,24	6,77	7,83	7,15
Condutividade (Us/cm-1)							1015	980	1071	1076	848	1081	1024	724	1095	1128	1958	1288	1483	991	1126
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)							510	486	528	547	421	548	511	362	545	564	979	643	756	493	564
Ssd (mL/L)	0,1	0,2	0,1	0,1	2,50	1,00	0,70	1,00	0,50	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,41
Temperatura (ºC)	26	29,5	33,6	31,8	31,90	25,00	35,70	30,80	28,05	29,00	27,00	27,00	28,00	29,40	29,00	28,60	31,20	31,20	27,40	33,20	29,67
Turbidez (NTU)	16,92	23,8	4,5	17,6	11,30	3,10	26,02	9,80	15,55	5,50	15,00	3,99	24,06	9,90	21,60	7,80	27,90	9,90	8,50	16,63	13,97
Eficiência (%)																					
Parâmetro	**set-23**	**out-23**	**nov-23**	**dez-23**	**jan-24**	**fev-24**	**mar-24**	**abr-24**	**mai-24**	**jun-24**	**jul-24**	**ago-24**	**set-24**	**out-24**	**nov-24**	**dez-24**	**jan-25**	**fev-25**	**mar-25**	**abr-25**	**Média Geral**
DBO (mg/L)	94%	99%	95%	99%	91%	86%	90%	90%	96%	96%	95%	90%	90%	92%	93%	92%	93%	94%	98%	98%	94%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

As análises laboratoriais seguiram procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24ª edição (APHA, 2023). Foram avaliados, entre outros, alcalinidade, cloro livre, coliformes termotolerantes, DBO, DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, óleos e graxas, pH, condutividade, sólidos dissolvidos totais, sólidos sedimentáveis, temperatura e turbidez.

Quadro 2: Síntese dos resultados médios do monitoramento .

Parâmetro	Bruto (média)	Tratado (média)	Eficiência	Leitura técnica e fonte normativa
DBO (mg/L)	703,18	46,27	94%	Atende CONAMA 430/2011 e indica boa remoção de carga orgânica.
DQO (mg/L)	1.389,09	113,41	92%	Redução expressiva da matéria orgânica oxidável.
Fósforo total (mg/L)	12,26	9,66	21%	Remoção limitada; atenção em reuso agrícola ou lançamento sensível.
N amoniacal (mg/L)	60,89	22,32	63%	Melhora relevante, mas ainda requer controle operacional.
Óleos/graxas (mg/L)	240,30	23,40	90%	Resultado final abaixo do limite de lançamento avaliado.
pH	6,87	7,15	-	Faixa compatível com referências avaliadas.
Turbidez (NTU)	253,36	13,97	94%	Boa redução; pode não atender critérios mais restritivos.
Coliformes (NMP/100 mL)	-	201,85	-	Média favorável, mas com variação operacional da desinfecção.
Condutividade (µS/cm)	-	1.126	-	Pode limitar usos mais restritivos; monitorada a partir de 2024.
SDT (mg/L)	-	564	-	Atenção para salinidade conforme categoria de reuso.

Fonte: Dados primários do Quadro 1 do artigo original; interpretação com base em CONAMA 430/2011, PROSAB (2003), COEMA/CE 2/2017 e SES/SMA/SSRH 1/2017.

O quadro 3, faz uma comparação normativa foi organizada por finalidade. A CONAMA 430/2011 trata de padrões de lançamento de efluentes; já PROSAB (2003), COEMA/CE 2/2017 e SES/SMA/SSRH 1/2017 são usados como referências para reuso não potável, com diferentes graus de restrição sanitária e operacional.

Quadro 3: Síntese de conformidade para lançamento e reuso não potável.

Referência citada	Aplicação	Resultado	Síntese técnica
CONAMA 430/2011	Lançamento de efluente	Atende	DBO, pH, temperatura, sólidos sedimentáveis e óleos/graxas dentro dos limites avaliados.
PROSAB 2003	Reuso urbano/agricola referencial	Atende c/ ressalva	Compatível nos parâmetros disponíveis; falta análise de ovos de helmintos.
COEMA/CE 2/2017	Fins urbanos	Atende c/ ressalva	Resultados compatíveis; ovos de helmintos não analisados.
SES/SMA/SSRH 1/2017 - moderada	Reuso urbano restritivo	Parcial	Limitações em DBO, coliformes, cloro residual, condutividade e SDT.
SES/SMA/SSRH 1/2017 - severa	Reuso com restrição severa	Parcial	Melhor para condutividade e SDT, mas limitado por DBO, coliformes e cloro residual.

Fonte: Comparação elaborada a partir dos resultados médios do monitoramento e dos critérios de CONAMA 430/2011, PROSAB (2003), COEMA/CE 2/2017 e SES/SMA/SSRH 1/2017.

A conclusão normativa é objetiva: o sistema atende ao lançamento de efluente e pode sustentar irrigação paisagística controlada. Porém, não deve ser apresentado como solução universal para qualquer modalidade de reuso. A Resolução SES/SMA/SSRH 1/2017 é mais restritiva e exige maior controle para usos com maior exposição humana.

As principais lacunas do estudo são a ausência de ovos de helmintos, cloretos, boro e razão de adsorção de sódio. Esses parâmetros são relevantes para segurança sanitária e adequação agronômica do reuso, especialmente quando há irrigação com acesso público, aspersão ou contato humano mais frequente (PROSAB, 2003; SES/SMA/SSRH, 2017).

CONCLUSÃO

A ETE compacta com mantas nanocerâmicas apresentou desempenho consistente no tratamento de esgoto doméstico em operação real. Com base nos dados primários do monitoramento, a remoção média de DBO foi de 94%, com DBO final média de 46,27 mg/L. Também houve redução expressiva de DQO, turbidez, óleos e graxas e nitrogênio amoniacal.

Os resultados atendem aos padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº 430/2011. Para reuso não potável em irrigação paisagística, os dados indicam viabilidade técnica em aplicações menos restritivas, desde que haja controle operacional, desinfecção

adequada e monitoramento sanitário regular, conforme a lógica de barreiras e risco indicada por WHO (2006) e pelas referências brasileiras analisadas.

A comparação com a Resolução SES/SMA/SSRH nº 1/2017 mostra conformidade parcial, especialmente em DBO, coliformes, cloro residual, condutividade e sólidos dissolvidos totais. Portanto, o enquadramento do reuso deve ser feito por categoria de uso e não por afirmação genérica de atendimento.

Recomenda-se ampliar o monitoramento, incluir ovos de helmintos, cloretos, boro e razão de adsorção de sódio, avaliar filtração complementar quando houver uso mais restritivo e manter protocolo específico para períodos de alta ocupação. Com esses ajustes, a tecnologia pode contribuir para conservação hídrica, redução de passivos ambientais e ampliação de soluções descentralizadas de saneamento.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 24. ed. Washington, DC: APHA Press, 2023.

BIOGILL. Technical design manual. 3. ed. [S. l.]: BioGill, 2015.

BIOGILL. Sales brochure: decentralized sewage. [S. l.]: BioGill, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 maio 2011.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução COEMA nº 2, de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 21 fev. 2017.

ENVIRONMENT AND HEALTH FUND; ISRAEL. Ministry of Health. Environmental health in Israel 2017. Jerusalem: Environment and Health Fund; Ministry of Health, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022: características dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

LEONEL, L. P. Eficiência de um sistema simplificado de tratamento de efluentes na remoção de cistos de Giardia spp. e ovos de helmintos. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

MINEGATTI, D. V. O. Elaboração de subsídios técnicos para norma legal do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) sobre uso racional e reúso de água, utilizando-se como base as categorias de uso industrial, agrícola e doméstico: Produto II – Súmula dos conhecimentos sobre uso racional e reúso de água. Brasília, DF: Programa de Desenvolvimento do Setor Água; Ministério do Meio Ambiente; Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, 2018.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patógenos e substâncias nocivas: aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Coordenação de Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado da Saúde; Secretaria de Estado do Meio Ambiente; Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1, de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 29 jun. 2017.

SEHAR, Shama; NAZ, Iffat. Role of the biofilms in wastewater treatment. In: DHANASEKARAN, Dharumadurai; THAJUDDIN, Nooruddin (ed.). Microbial biofilms: importance and applications. London: IntechOpen, 2016. DOI: 10.5772/63499.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006.