

CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS EM ESTAÇÕES COMPACTAS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL URBANO

CHARACTERIZATION OF EFFLUENTS TREATED IN COMPACT TREATMENT PLANTS FOR URBAN NON-DRINKING DIRECT REUSE

Aldo César Rosa da Silva¹; Antonio Pedro de Oliveira Netto²

1. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas (PPGRHS / CTEC / UFAL)
2. Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS / UFAL)

PALAVRAS-CHAVE

Caracterização de esgoto; Modalidade de reuso; Diretrizes para reuso; Tomada de decisão para implantação de ETES.

KEYWORDS

Sewage characterization; Reuse modality; Guidelines for reuse; Decision-making for the implementation of STPs.

RESUMO

A capital do Estado de Alagoas, apesar de passar por obras de coleta de esgoto, ainda necessita de melhorias no saneamento básico para destinar corretamente o esgoto produzido e evitar a poluição e a contaminação dos seus corpos d'água. Essa pesquisa buscou avaliar a possibilidade de reuso do esgoto tratado por estações descentralizadas no meio urbano, no intuito de minimizar os potenciais contaminantes. A área de estudo envolveu a parte alta do município de Maceió, onde a cobertura por rede pública de coleta de esgotos é deficitária. Foram selecionadas três estações compactas de tratamento de esgoto (ETEs), todas tratando esgoto doméstico em condomínios residenciais privados, com tecnologias de tratamento diferentes: anaeróbia (ETE "A"), aeróbia (ETE "B") e mista (anaeróbia/aeróbia) (ETE "C"), com a finalidade de caracterizar e comparar as concentrações efluentes com os padrões para as modalidades de reuso constantes na Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). O tratamento anaeróbio apresentou boa remoção DBO e DQO de 71,54% e 72,34%, respectivamente, mas foi ineficiente na remoção de nutrientes e patogênicos. O tratamento aeróbio apresentou baixa remoção de DBO e DQO, esperada pela sua natureza, com valores médios de 67,37% e 66,72%, respectivamente, e foi ineficiente na remoção de nutrientes e patogênicos. O tratamento misto apresentou boa remoção de DBO e DQO de 77,57% e 75,59%, mas não promoveu remoção de nutrientes e boa desinfecção. No geral, o efluente da ETE "A" atendeu exigências para reuso no meio urbano para os parâmetros fósforo total e pH. O efluente da ETE "B" atendeu exigências para reuso no meio urbano para os parâmetros fósforo total, pH, nitrito e nitrato. E o efluente da ETE "C" atendeu exigências para os parâmetros fósforo total, pH, nitrito, nitrato e coliformes fecais. Diante dos resultados encontrados

nas três ETEs monitoradas faz-se necessário adotar pós-tratamento vislumbrando o reuso no meio urbano, visto que essas estações não são fabricadas e otimizadas para prática de reuso.

ABSTRACT

The capital of Alagoas, despite undergoing sewage collection works, still needs improvements in basic sanitation to properly dispose of the sewage produced and minimize the contamination of its water bodies. This research aimed to evaluate the possibility of reusing sewage treated by decentralized stations in urban areas, in order to minimize potential contaminants. The study area involved the upper part of the municipality of Maceió, where the coverage of the public sewage collection network is precarious. Three compact sewage treatment plants (STPs) were selected, all treating domestic sewage in private residential condominiums, with different treatment technologies: anaerobic (STP "A"), aerobic (STP "B") and mixed (STP "C") treatment, whose treated effluents were characterized and compared with the standards for the reuse modalities of Resolution No. 54/2005 of the National Water Resources Council (CNRH). The anaerobic treatment showed BOD and COD removal of 71.54% and 72.34%, respectively, but it was inefficient in removing nutrients and pathogens. The aerobic treatment showed low BOD and COD removal, expected by its nature, with average values of 67.37% and 66.72%, respectively, and the removal of nutrients and pathogens was inefficient. The mixed treatment showed removal of BOD and COD of 77.57% and 75.59%, but did not promote satisfactory nutrient removal and disinfection. In general, the effluent from STP "A" met requirements for reuse in the urban areas for the parameters total phosphorus and pH. The effluent from STP "B" met requirements for reuse in the urban areas for the parameters total phosphorus, pH, nitrite and nitrate. And the effluent from STP "C" met requirements for the parameters total phosphorus, pH, nitrite, nitrate and fecal coliforms. In view of the results found in the three monitored STPs, it is necessary to adopt post-treatment envisioning reuse in the urban areas, since these sewage treatment plants are not manufactured and optimized for the practice of reuse.

Keywords: Sewage characterization; Reuse modality; Guidelines for reuse; Decision-making for the implementation of STPs.

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, o planeta vem enfrentando grande problema de possível escassez de recursos naturais. A demanda por matéria prima para produção industrial, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, causa impacto direto onde o consumo em proporções elevadas contribui para a escassez definitiva dos recursos naturais. A produção industrial em larga escala, nas últimas décadas, teve um aumento alarmante juntamente com o crescimento populacional, que atualmente ultrapassa os 7,8 bilhões de habitantes.

Dentre os recursos naturais, a água vem sendo consumida de maneira alarmante e descartada sem o tratamento adequado para o lançamento no meio ambiente. Dessa forma, a preocupação aumenta pois, o planeta dispõe de menos de 1% de toda a água existente acessível e com os padrões de potabilidade aceitáveis, e, dessa parcela, a maior parte vai para irrigação (70%), ou seja, produção de alimentos, outra parte para indústria (24%) e consumo humano (6%). Diante

desse cenário, é necessário buscar alternativas para carência, e uma possibilidade é o reuso direto não potável para fins urbanos (SOUSA FILHO, 2013).

Reutilizar águas residuárias tratadas para suprir demandas de água, como irrigação paisagística e agrícola em áreas urbanas e suburbanas, tornou-se uma importante abordagem de abastecimento de água, especialmente em regiões que lutam contra a escassez de água. Devido à disponibilidade limitada de águas residuárias tratadas para satisfazer todas as demandas de água, podem surgir conflitos na alocação para os usuários finais (MAHJOURI e POURMAND, 2017).

Conforme Cuba (2015), estudos na área de saneamento e reutilização de águas servidas fazem referência e incentivam a adoção do esgoto doméstico tratado como uma nova alternativa para a irrigação na agricultura, para fins urbanos não potável, na indústria e na construção civil. Pois a reciclagem dessa água contribui significativamente para redução dos lançamentos de esgoto bruto em corpos d'água, minimiza a demanda de água captada nos mananciais destinada a irrigação, melhora as condições de potabilidade dos recursos hídricos destinados ao abastecimento humano e dessedentação animal e a intrusão salina.

Essa nova alternativa possibilita o reuso do esgoto sanitário reduzindo significativamente vazões lançadas diariamente nos corpos d'água, tornando-o economicamente e ambientalmente amigável, e eliminando a imagem de negatividade que está associada a essa prática. Dessa forma, cria-se um novo panorama na concepção de se utilizar água de reuso no Brasil, visto que atualmente não há grande aceitação por parte das pessoas ao uso de esgoto doméstico tratado, nas américas. No entanto o reuso de água não potável é uma prática recorrente no Japão, China e Indonésia, essas objeções sofrem influências religiosas e socioculturais (HESPANHOL, 2002).

O tratamento de esgoto adequado e planejado é um ponto forte na prática do reuso. Estudos apontam para uma significativa redução da intrusão da cunha salina, índices positivos de erradicação de doenças de veiculação hídrica, maior produtividade agrícola, melhores condições de vida da população. Mas esse cenário necessita de bastante atenção visto que o excesso de exposição de esgoto tratado pode causar poluição do solo por nitrato, e sua percolação pode contaminar o lençol freático, refletindo nos corpos d'água, pela manutenção direta dos mananciais com o reabastecimento provenientes dos aquíferos.

A resolução do CONAMA N° 430/2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água, como também complementa e altera a resolução CONAMA N° 357/2005, apresenta os limites máximos para o lançamento de efluentes diretamente nos mananciais, emissário, e em rede coletora, no qual o efluente não pode modificar as características presentes do corpo receptor, e deve obrigatoriamente seguir os valores

estabelecidos no Art.21, desta resolução (CONAMA, 2011). A resolução N° 54 de 28 de novembro de 2005, do CNRH, que dispõe sobre as modalidades para o reuso direto de água não potável auxiliando na tomada de decisão e incentivo ao reuso, como alternativa ao combate da escassez de água que o país vem apresentando (RESOLUÇÃO N° 54, 2005), sendo também utilizada para tomada de decisão da escolha do tipo de reuso do atual estudo.

A cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas, está situada na zona costeira, banhada por praias, rios e o complexo lagunar estuarino Mundaú-Manguaba, no qual recebem contribuições de lançamentos de esgoto, ocasionando a poluição e contaminação desses mananciais e de suas praias. Atualmente Maceió cresceu bastante e apresenta espaço para se expandir cada vez mais aumentando o volume de esgoto lançado nos corpos d'água. Hoje o município necessita de melhorias no saneamento básico, para destinar corretamente o esgoto que é produzido, e evitar a poluição e a contaminação dos seus corpos d'água e suas praias. Essa pesquisa apresenta-se como uma referência, apresentando a possibilidade de reuso do esgoto tratado por estações descentralizadas no meio urbano.

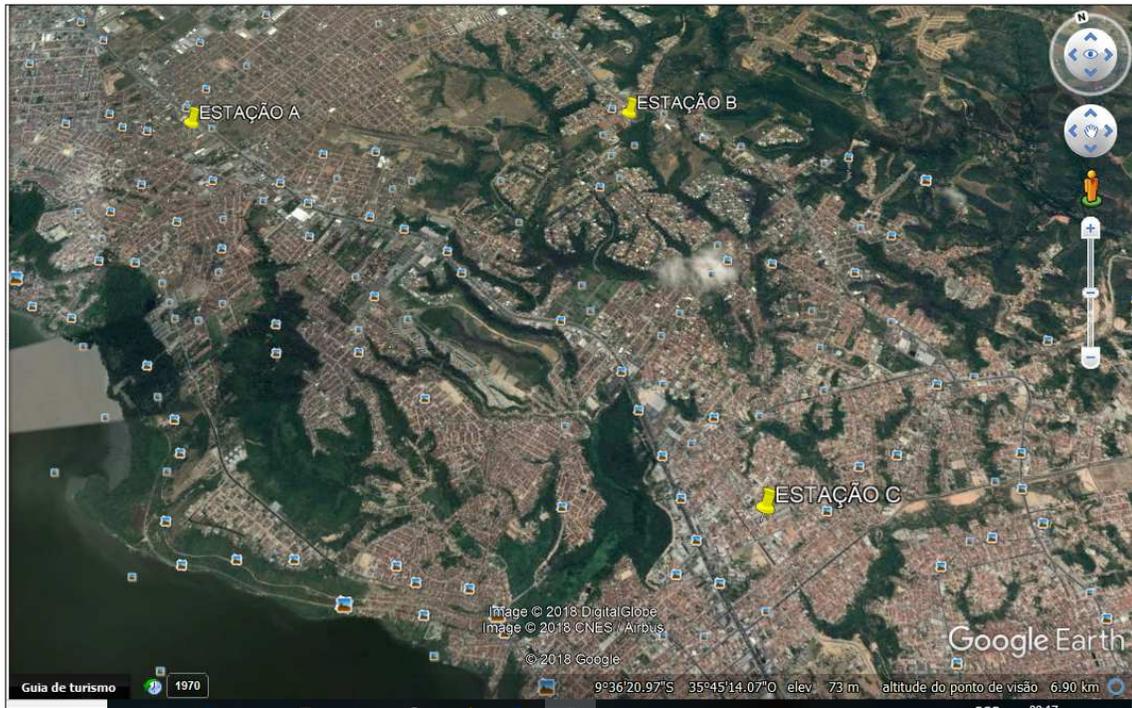
Nesse aspecto, essa pesquisa tem como objetivo caracterizar e enquadrar do ponto de vista qualitativo o esgoto doméstico tratado em estações compactas de esgoto nas modalidades de reuso, estabelecidas pelas normas brasileiras e internacionais, assim como apresentar medidas mitigadoras visando os órgãos governamentais para evitar a contaminação dos corpos d'água e dá a destinação correta do esgoto.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de trabalho

A área de trabalho envolveu a parte alta do município de Maceió/AL, onde não existe rede pública de coleta de esgotos. Foram selecionadas três estações compactas de tratamento de esgoto (ETEs), todas tratando esgoto doméstico em condomínios residenciais privados, com tecnologias de tratamento diferentes: anaeróbia, aeróbia e mista (anaeróbia/aeróbia), com a finalidade de avaliar qual o efluente dessas tecnologias que melhor atende aos padrões de reuso urbano não potável. Para seleção dessas ETEs, buscou-se em Maceió empresas que operam ETEs privadas e que pudessem contribuir com a pesquisa. A Figura 1 ilustra a localização dessas ETEs em Maceió.

Figura 1 – Localização das estações estudadas na parte alta de Maceió.



Fonte: Google Earth.

2.2 Caracterização das ETEs e suas áreas de atendimento

Depois de selecionadas e mapeadas estas ETEs, foi feito um levantamento de campo para conhecer os sistemas, suas tecnologias, e seus detalhes técnicos e operacionais. Assim como das características locais de sua área de atendimento, tais como área do loteamento, número de lotes, padrão habitacional, áreas de preservação e usos comunitários, etc. Todo esse levantamento foi acompanhado pelo responsável pela operação das ETEs.

Todas as ETEs possuem tratamento preliminar, composta por caixa de areia com gradeamento. A estação A utiliza a tecnologia anaeróbia (UASB + filtro biológico anaeróbio) com desinfecção por radiação ultravioleta (UV), a estação B utiliza tecnologia de lodo ativado com desinfecção por cloro, e a estação C (mista) utiliza a tecnologia anaeróbia/aeróbia com desinfecção por cloro, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Estações compactas de tratamento de esgoto monitoradas.

ETE	TIPO	CONFIGURAÇÃO
A	Anaeróbia	UASB e filtro biológico anaeróbio e UV

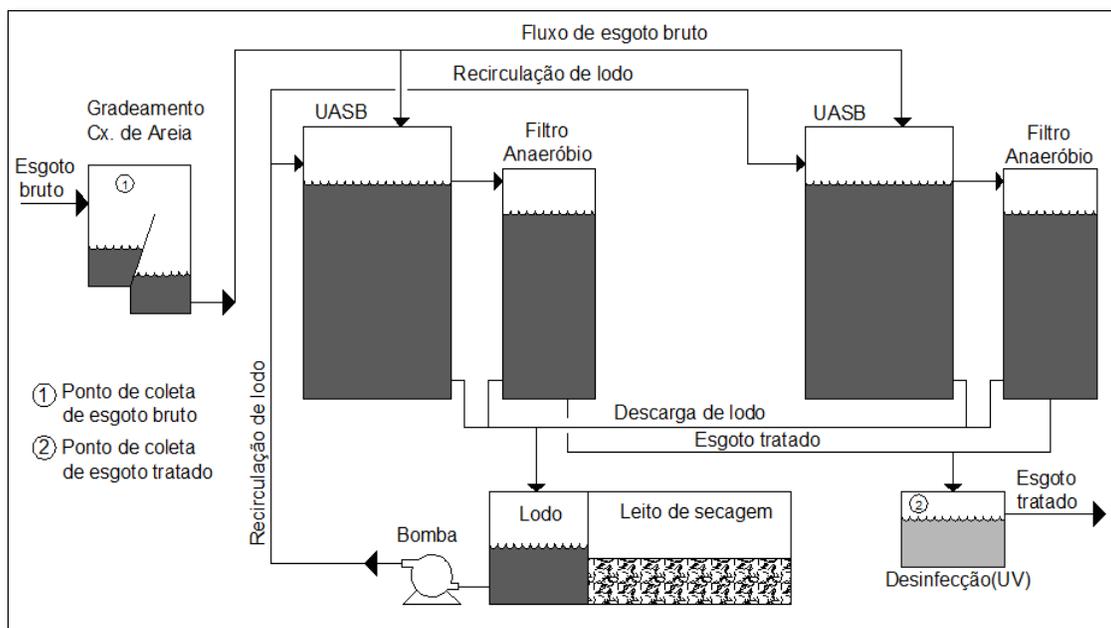
B	Aeróbia	Lodo ativado convencional e cloro
C	Mista	Anaeróbio/aeróbio com leito móvel e cloro

Fonte: Autores, 2021.

2.2.1 ETE por processo anaeróbio - A

Uma estação com sistema de tratamento anaeróbio com dois reatores *UASB*, dois filtros biológicos anaeróbios e uma câmara com radiação UV como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da estação de tratamento de esgoto anaeróbio (A).



Fonte: Autores, 2021.

A estação de tratamento “A” localiza-se no bairro do Clima Bom, bairro de classe baixa a média. O condomínio é composto por 7 edifícios totalizando 720 apartamentos, dispõe de salão de festas com amplo espaço de lazer com jardins, praças, playgrounds, uma fonte ornamental, calçadas, uma pista de corrida, uma quadra de esportes e 720 vagas de estacionamento.

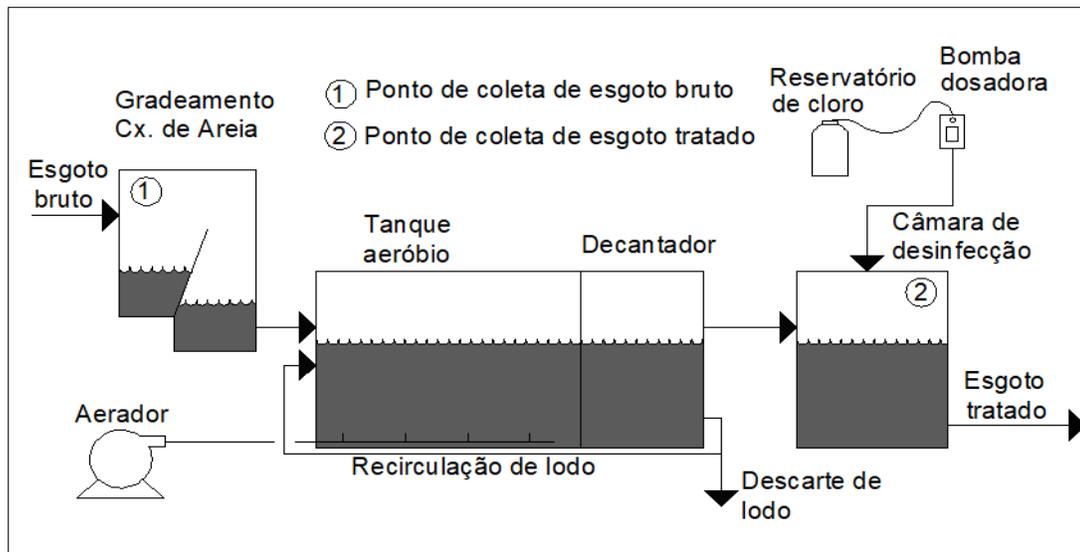
2.2.2 ETE por processo aeróbio - B

Uma estação com sistema de tratamento aeróbio por lodo ativado convencional, a estação é composta por um tanque submerso aeróbio, um tanque submerso de decantação e uma câmara de desinfecção de cloro, como mostra a Figura 3.

A estação de tratamento “B” está localizada no bairro da Serraria, em um condomínio de classe média com um total de 56 apartamentos. O condomínio é composto por estacionamento

para os veículos, um salão de festa, jardins e gramados, como também calçadas em todo condomínio.

Figura 3 – Fluxograma da estação de tratamento de esgoto aeróbio (B).



Fonte: Autores, 2021.

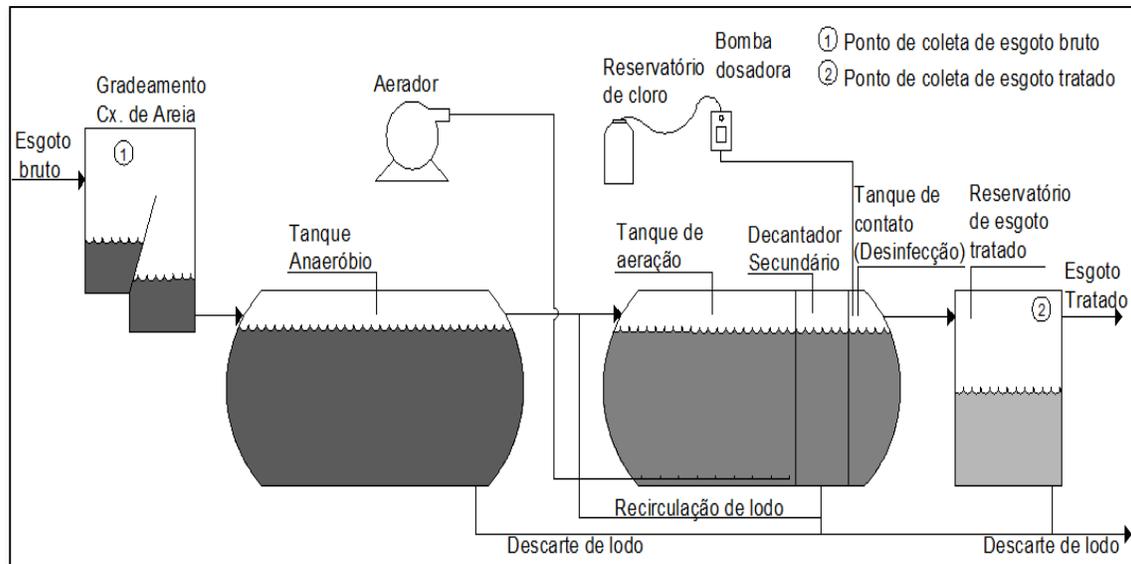
O condomínio utiliza água de um poço artesiano para a rega do jardim e gramado e lavagem das calçadas e salão de festa, consumindo água que podia ser usada em fins nobres.

2.2.3 ETE por processo misto - C

A Figura 4 apresenta uma estação com sistema misto horizontal compartimentado, denominados de reator anaeróbio seguido de reator aeróbio com leito móvel, e por uma câmara de desinfecção por cloro.

A estação de tratamento de esgoto “C” está localizada em um condomínio com 75 apartamentos de luxo. O condomínio dispõe de jardins, playground, dois subsolos de garagens e áreas comuns com quadra de futsal e academia. Esse empreendimento está situado no bairro da Gruta de Lourdes, e a 515 m da estação “C”, está um córrego que recebe esse efluente tratado e desagua no riacho Reginaldo.

Figura 4 – Fluxograma da estação de tratamento de esgoto misto (C).



Fonte: Autores, 2021.

2.3 Levantamento do potencial das alternativas para a reuso local

No entorno de cada ETE foi investigado, por meio de imagem de satélite do Google e visita local num raio de 2 km, o potencial de aplicação de água de reuso, o qual foi classificado de acordo com a Resolução nº 54/2005 do CNRH.

2.4 Caracterização dos afluentes e efluentes

Para a caracterização e monitoramento dos sistemas foram utilizados dados primários e secundários. Como dados primários foram coletadas amostras do afluente e efluente das ETEs para análise dos parâmetros cor verdadeira, turbidez, série nitrogenada, fósforo total e coliformes totais e fecais (termotolerantes), no período entre julho a outubro de 2017, como complemento aos dados fornecidos pela empresa. A Tabela 2 apresenta os parâmetros monitorados.

Os dados secundários do monitoramento foram fornecidos pela empresa que opera as ETEs, e foram levantados no período de janeiro de 2016 a setembro de 2017, envolvendo os seguintes parâmetros: pH, temperatura, DBO, DQO e sólidos sedimentáveis, do afluente e efluente tratado.

Tabela 2 – Parâmetros analisados, métodos e frequências de análises.

PARÂMETRO	MÉTODO	FREQUÊNCIA
pH	SMEWW 4500-H+ B	Mensal
Temperatura °C	SMEWW 2550. B	Mensal
Cor verdadeira (uC)	Espectrofotométrico	Semanal
Turbidez (UNT)	Espectrofotométrico	Semanal
DBO (mg /L)	SMEWW 5210 C	Trimestral
DQO (mg /L)	SMEWW 5210 D	Mensal
Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)	Titulométrico	Semanal
N- Amoniacal $N-NH_4^+$ (mg.L ⁻¹)	Titulométrico	Semanal
Nitrito $N-NO_2^-$ (mg.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	Semanal
Nitrato $N-NO_3^-$ (mg.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	Semanal
Fósforo Total $P-PO_4^{3-}$ (mg/L)	Espectrofotométrico	Semanal
Coliformes fecais (NMP/100mL)	Membrana Filtrante	Semanal
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Membrana Filtrante	Semanal
Sólidos sedimentáveis (mg.L ⁻¹)	SMEWW 2540. F	Mensal

Fonte: Autores, 2021.

As campanhas de monitoramento foram realizadas uma vez por semana, em cada ETE, cujas amostras foram coletadas na entrada da estação (esgoto bruto), e na saída (esgoto tratado) após a desinfecção, totalizando duas amostras em cada ETE.

Todas as coletas foram realizadas em recipientes de garrafa PET (Polietileno tereftalato), com volume de 500 mL, preservados seguindo os métodos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia da UFAL (LSA/CTEC/UFAL). As concentrações de nitrogênio total (NTK), nitrogênio amoniacal ($N-NH_3^- + N-NH_4^+$), fósforo total ($P-PO_4^{3-}$), DQO foram determinadas de acordo com técnicas do Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (2005). As análises de nitrato e nitrito foram realizadas segundo Mackereth *et. al.* (1978).

A caracterização do efluente tratado foi trabalhada de forma global por meio das médias aritméticas de cada parâmetro selecionado durante todo o período de monitoramento. Para todos os dados de caracterização foram aplicados uma estatística descritiva básica, envolvendo o valor médio e o desvio padrão.

2.5 Avaliação da eficiência das ETEs

A avaliação da eficiência das ETEs foi realizada em termos de remoção de matéria orgânica (medida em termos de DBO e DQO), de nutrientes (N e P), e remoção de patógenos. A eficiência foi avaliada pela média geral do período monitorado.

Para todos os dados que foram obtidos durante o monitoramento para a análise de eficiência e enquadramento para o reuso no meio urbano, foram aplicados uma estatística descritiva básica, calculando valor médio, e o desvio padrão.

2.6 Avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente gerado

Depois de caracterizados os efluentes das ETEs em estudo, os valores médios dos parâmetros monitorados foram comparados com os dados de qualidade de água para reuso requeridos para as diferentes aplicações citados pela NBR 13.969/1997, pelo Manual de conservação e reuso de água em edificações” (ANA; FIESP; SINDUSCON, 2005) e U.S.EPA (2004), ressaltando os potenciais de reuso identificados na área de entorno das ETEs, e avaliou-se se os efluentes atendem aos padrões estabelecidos.

Para os valores que não atenderam aos padrões de reuso, foram pesquisadas propostas de tecnologias de tratamento para que se pudessem adequar os efluentes as potencialidades de reuso urbano local e que sejam economicamente viáveis.

2.7 Diretrizes para tomada de decisão na implantação de ETEs

A partir desta amostragem de três ETEs que tratam esgoto doméstico de condomínios residenciais e as potencialidades de reuso na área de estudo elaborou-se propostas de diretrizes para implantação de ETEs descentralizadas, que possuam tecnologia que possam gerar águas de reuso com qualidades compatíveis com a realidade urbana.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O item está dividido em três partes nas quais são (1) apresentados a caracterização das entradas e saídas das ETEs estudadas, (2) a comparação de desempenho dos sistemas e (3) respectivo potencial de reuso.

3.1 Caracterização do afluente e efluente das ETEs e eficiência dos sistemas

3.1.1 ETE compacta por processo anaeróbico (A)

A estação compacta de tratamento de esgoto “A” opera a cerca de 6 anos e não foi necessário esperar pela estabilização do sistema para início da coleta das amostras. A ETE possui tratamento anaeróbico para remoção de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis do esgoto doméstico. Como o processo é apenas anaeróbico, é a que operacionalmente apresenta menor consumo de energia elétrica, visto que não requer equipamento de aeração. Na Tabela 3 são apresentados os valores médios para o afluente e efluente da estação “A”.

Tabela 3 – Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação “A”.

Parâmetro	Unidade	Afluente		Efluente		Eficiência	N° de Amostras
		Média	DP	Média	DP		
Temperatura	°C	26,54	3,08	27,11	2,43	-	20
Cor	uC	60,08	23,90	45,58	16,12	24,13%	12
Turbidez	UNT	304,23	82,02	235,27	97,21	22,67%	13
Sólidos sedimentáveis	mg.L ⁻¹	1,63	1,42	0,51	0,13	68,92%	20
pH	-	7,33	0,53	7,01	0,43	-	20
DBO	mg.L ⁻¹	463,33	155,77	131,85	53,63	71,54%	11
DQO	mg.L ⁻¹	553,28	97,18	153,02	97,18	72,34%	20
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	49,26	9,20	39,47	9,63	19,90%	13
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	6,79	4,35	5,68	2,08	16,42%	13
Coliformes fecais	UFC/100mL	4,46x10 ⁵	1,48x10 ²	1,25x10 ⁵	2,98x10 ²	72,05%	7
Coliformes totais	UFC/100mL	8,67x10 ⁵	3,53x10 ²	1,84x10 ⁵	5,28x10 ²	78,76%	7

Fonte: Autores, 2021 - DP: Desvio Padrão.

3.1.1.1 Considerações sobre as características do afluente e efluente tratado na ETE “A”

A cor é indicativo da idade do esgoto bruto. Geralmente o esgoto fresco tem uma cor cinza, enquanto o esgoto velho tem uma cor preta. Durante todo o período de monitoramento da estação o esgoto apresentou cor cinza, típico de esgoto fresco, indicando que a ETE fica próxima da fonte produtora. A turbidez encontrada no esgoto tratado foi alta, com valores médios acima de 200 UNT. Esse parâmetro pode ser utilizado como indicativo da eficiência do tratamento secundário aplicado ao esgoto doméstico, que apresentou baixa eficiência na remoção de sólidos em

suspensão, indicando que há uma quantidade considerável de sólidos no esgoto tratado (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A concentração de sólidos sedimentáveis apresentada no esgoto bruto, caracterizou esse material como esgoto fraco, que tem concentração até 5 mg.L^{-1} . Para a temperatura, os valores apresentados estão dentro do esperado para o esgoto entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$, que geralmente são mais elevadas que a temperatura do ar devido a contribuição de esgotos domésticos com as águas aquecidas, com exceção a faixa de temperatura típica de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a 25°C nos meses de verão (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A concentração de DQO encontrada no esgoto bruto é típica de esgoto médio, que apresenta faixa entre 500 a 400 mg.L^{-1} . A relação de DQO/DBO apresentou valor de 1,19 vezes o valor de DBO. Essa fração indica diretamente que o esgoto bruto está sendo tratado por processo mais apropriado, visto que quanto menor a relação DQO/DBO, maior a biodegradabilidade da matéria orgânica e o processo mais indicado é o tratamento biológico. A concentração de nitrogênio do esgoto bruto, apresentou 12 mg.L^{-1} e 34 mg.L^{-1} , respectivamente para a forma orgânica e amoniacal, característico de esgoto médio a forte (SOUSA, 2008).

A concentração de fósforo total encontrado no esgoto bruto ficou abaixo do relatado na literatura. De acordo com Jordão e Pessoa (2011), geralmente a concentração do parâmetro varia entre 10 e 20 mg.L^{-1} , classificando-se o afluente em médio e forte, respectivamente para este parâmetro. Para o efluente, o fósforo total apresentou concentração dentro do esperado. Geralmente a concentração apresenta valores típicos entre de 3 e 10 mg.L^{-1} . O valor médio de $5,68 \text{ mg.L}^{-1}$ classifica o esgoto tratado como fraco (METCALF e EDDY, 2016).

Para os coliformes totais e fecais houve remoção de apenas uma fração. A concentração apresentada no esgoto tratado era alta caracterizando baixa eficiência de remoção de patogênicos e necessidade de um maior controle de desinfecção desse efluente, visto que os coliformes são usados como referência de indicativo de contaminação.

3.1.2 ETE por processo aeróbio (B)

A estação compacta de tratamento de esgoto “B” é do tipo sistema aeróbio por lodo ativado convencional. Opera há mais de 5 anos não havendo necessidade de esperar estabilizar o sistema para iniciar as coletas. O objetivo deste tipo de ETE é remoção de matéria orgânica e nitrificação, ou seja, remoção de nitrogênio na forma amoniacal. Como o processo é apenas aeróbio, é a que operacionalmente apresenta maior consumo de energia elétrica, visto que requer equipamento de aeração. A Tabela 4 apresenta os valores médios e o desvio padrão dos parâmetros analisados.

Tabela 4 – Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação “B”.

Parâmetro	Unidade	Afluente		Efluente		Eficiência	Número de Amostras
		Média	DP	Media	DP		
Temperatura	°C	26,86	2,61	26,85	2,53	-	20
Cor	uC	88,09	31,35	67,37	22,99	23,51%	12
Turbidez	Ut	280,15	77,0	242,65	117,75	13,39%	13
Sólidos sedimentáveis	mg.L ⁻¹	0,56	0,16	0,43	0,16	23,21%	20
pH	-	7,28	0,45	7,00	0,45	-	20
DBO	mg.L ⁻¹	393,55	168,84	128,43	62,23	67,37%	11
DQO	mg.L ⁻¹	414,76	229,43	138,04	82,98	66,72%	20
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	51,73	8,45	45,95	11,27	11,17%	11
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	6,67	1,68	6,38	1,89	4,37%	13
Coliformes fecais	UFC/100mL	4,27x10 ⁵	5,71x10 ³	8,63x10 ³	2,88x10 ³	98,00%	7
Coliformes totais	UFC/100mL	6,81x10 ⁵	9,57x10 ³	1,23x10 ³	4,31x10 ³	98,19%	7

Fonte: Autores, 2021.

3.1.2.1 Considerações sobre as características do afluente e efluente tratado na ETE “B”

Durante todo o período de monitoramento da estação o esgoto apresentou cor negra, típico de esgoto velho e que já passou por uma degradação parcial. Nessa estação o esgoto bruto que chegava na estação era canalizado das fossas sumidouros do condomínio que recebia o esgoto bruto e destinava a estação.

A turbidez encontrada no esgoto tratado foi elevada, que apresentou baixa eficiência na remoção de sólidos em suspensão, indicando que há uma quantidade alta de sólidos em suspensão no esgoto tratado (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A concentração de fósforo total está dentro do esperado tanto no esgoto bruto como no tratado. O fósforo total apresentou valores típicos entre 3,7 e 11 mg.L⁻¹, para o esgoto doméstico bruto, e concentração de 3 a 10 mg.L⁻¹ para o esgoto tratado (METCALF e EDDY, 2016).

A estação não promoveu uma boa amonificação do nitrogênio orgânico em amoniacal, como também a nitrificação foi apenas de 2,34 mg.L⁻¹ de amônia em nitrito e nitrato, o pH na faixa de neutralidade é um indicativo de que a atividade biológica permanece baixa, pela falta de consumo da alcalinidade, uma possível falta de OD causou essa ineficiência da estação.

A DBO e DQO também indicam a baixa remoção da matéria orgânica da ETE B que apresentou eficiência abaixo de 70%. Geralmente o sistema de lodo ativado convencional mantém a remoção entre 75% a 95%. Essa estação indica que há falha de funcionalidade das atividades biológicas por falta de OD para os microrganismos.

3.1.3 ETE compacta por processo misto (C)

A estação compacta de tratamento de esgoto “C” opera a no mínimo 2 anos e não foi necessário esperar pela estabilização do sistema, para início da coleta das amostras. Os dados para complementar os fornecidos pela empresa, foram coletados na estação, semanalmente, de acordo com a disponibilidade da empresa que é responsável e monitora a estação. A ETE possui o tratamento combinado anaeróbio/aeróbio para remoção de matéria orgânica e demais constituintes do esgoto doméstico. Na Tabela 5 são apresentados os valores médios dos parâmetros analisados e a eficiência da ETE.

Tabela 5 – Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação “C”.

Parâmetro	Unidade	Afluente		Efluente		Eficiência	Número de Amostras
		Média	DP	Média	DP		
Temperatura	°C	27,15	2,68	24,40	2,41	-	20
Cor	uC	60,39	25,51	60,38	25,51	0,02%	12
Turbidez	Ut	297	131,33	265,33	61,13	10,66%	14
Sólidos sedimentáveis	mg/L	1,28	0,56	0,65	0,21	49,00%	20
pH	-	7,1	0,64	7,00	0,45	-	20
DBO	mg/L	477,54	182,12	107,09	55,37	77,57%	11
DQO	mg/L	621,26	370,75	151,62	72,25	75,59%	20
Fósforo Total	mg/L	7,81	1,25	6,62	1,37	15,16%	13
Nitrogênio Total	mg/L	54,73	9,14	42,00	6,57	23,00%	11
Coliformes Fecais	UFC/100mL	6,53x10 ⁶	4,80x10 ³	2,86x10 ²	2,65x10 ²	99,99%	7
Coliformes Totais	UFC/100mL	8,65x10 ⁶	5,20x10 ³	6,46x10 ²	5,98x10 ²	99,25%	7

Fonte: Autores, 2021.

3.1.3.1 Considerações sobre as características do afluente e efluente tratado na ETE “C”

A eficiência apresentada para os parâmetros físicos do processo misto foi baixa indicando que a estação apresenta falha na remoção de cor, turbidez e sólidos sedimentáveis. Esses parâmetros interferem diretamente na qualidade do efluente, pois a cor e turbidez indicam a presença de sólidos em suspensão remanescente no esgoto tratado.

As características do esgoto bruto e tratado é de esgoto doméstico médio. A relação DQO/DBO comprovou que no esgoto bruto a maior fração é biodegradável e está sendo tratado pelo processo adequado no caso tratamento biológico.

Concluindo a estação apresentou baixa eficiência na nitrificação, o processo misto apresentou falha, devido provavelmente a concentração baixa de OD no tanque de aeração comprometendo as atividades microbiológicas.

Para o fósforo total a concentração foi baixa, provavelmente o esgoto bruto não recebe altas contribuições de detergentes e produtos que contem fósforo na sua composição, porém essa concentração está dentro da faixa esperada para esgoto tratado.

3.2 Comparação das ETEs estudadas

Em termos de parâmetros físicos, como a cor, turbidez e sólidos sedimentáveis, a eficiência foi baixa. A mais relevante foi apresentada pelo processo anaeróbio que ficou em média 68,92% para sólidos sedimentáveis. O processo misto não obteve remoção alguma no parâmetro cor apresentando-se insuficiente para todos parâmetros físicos da Tabela 5.

A Figura 5, mostra a eficiência atingida em cada processo biológico, para a conversão de matéria orgânica e demais parâmetros. O processo misto apresentou melhor desempenho para esses parâmetros em termos de DBO com 75,59% e DQO com 77,57%. Essa eficiência é considerada boa, para o processo anaeróbio também está dentro da faixa esperada para DBO e DQO 72,34% e 71,54%. No entanto o lodo ativado convencional apresentou baixa eficiência, geralmente esse processo está em torno de 75% a 95% (METCALF e EDDY, 2016; JORDÃO e PESSOA, 2011).

A remoção de nutrientes, nitrogênio e fósforo total foi insuficiente nos três processos, não ultrapassando 30% de remoção, vale ressaltar que o processo aeróbio a remoção de nitrogênio foi de 3,19%, insuficiente, esse processo deveria apresentar uma boa remoção de nitrogênio devido a nitrificação.

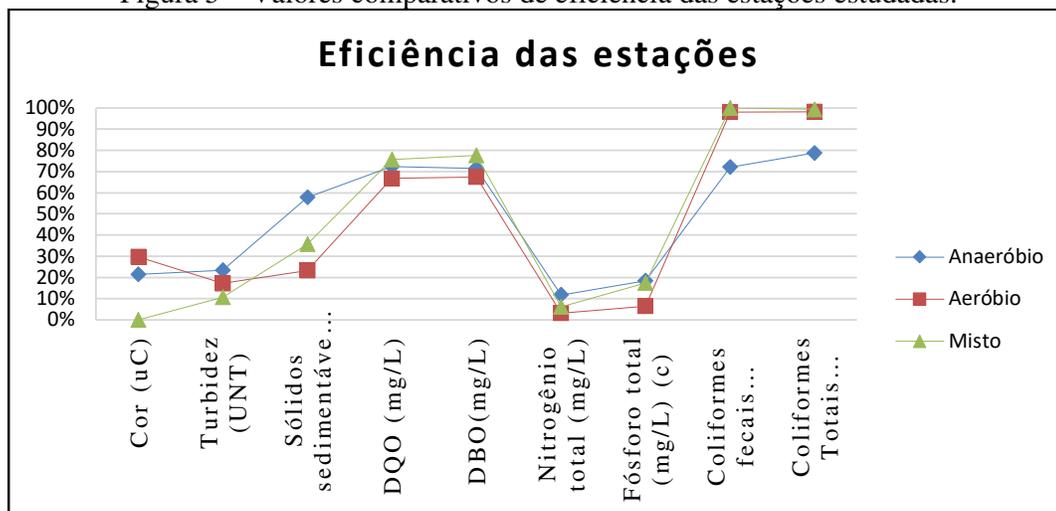
As estações “B” e “C” apresentaram boa eficiência na desinfecção. O processo misto usou cloro e obteve 99,99% de remoção de patogênicos, o processo aeróbio apresentou 98,19% de remoção de patogênicos, o processo anaeróbio com radiação UV obteve 78,76% de remoção de patogênicos não tão eficiente quanto o misto usando o cloro na desinfecção, essa remoção é considerada baixa.

Analisando o desempenho e a eficiência das estações em estudo, por processos anaeróbio, aeróbio e misto, como representado na Figura 5, de um modo geral, não há diferença significativa do processo anaeróbio em comparação com o processo aeróbio e misto. A estação “B” e “C” estão desperdiçando energia elétrica para operar os aeradores, elevando o custo operacional, porém os

resultados são insatisfatórios em comparação com o processo anaeróbio, que atingiu teoricamente a mesma eficiência de ambos sem a necessidade de aeração.

Os efluentes tratados nas três ETEs, no que diz respeito a DQO, não atendem as legislações de alguns estados brasileiros inclusive Alagoas, por exemplo, no Rio de Janeiro esse limite é 30 mg.L⁻¹, já para os estados de Minas Gerais, Paraná, São Paulo a concentração limite é de 60 mg.L⁻¹ (JORDÃO e PESSOA, 2011). A resolução CONAMA N° 430/11 estabelece valor de DBO para lançamento de esgoto tratado por sistemas de tratamento de esgoto no máximo 120 mg.L⁻¹, as concentrações encontradas para a DBO do esgoto tratado pelas estações A e B não se enquadram no limite máximo estabelecido, apenas a DBO da ETE “C” atendeu ao valor máximo adotado por Alagoas.

Figura 5 – Valores comparativos de eficiência das estações estudadas.



Fonte: Autores, 2021.

3.3 Potencial de reuso das estações compactas de tratamento de esgoto

O efluente da ETE “A” se mostrou eficiente na remoção de matéria orgânica, redução de custo com operação do processo e desvantagens na remoção de nutrientes e patogênicos, necessitando de pós tratamento quando se almeja o reuso direto para fins não potáveis no meio urbano. Os parâmetros que estão aptos para reuso direto não potável no meio urbano são pH e fósforo total, os parâmetros DQO, BBO, NTK, N-amoniaco, sólidos sedimentáveis, cor, turbidez e coliformes fecais não atendem a nenhuma modalidade de reuso direto não potável para fins

urbanos, por estarem acima das concentrações estabelecidas nas referências U.S.EPA (2004); NBR 13969 (1997); Manual FIESP (2005); Grull, Mancuso e Eiger (2003) e Santos (2003).

Já a ETE “B” foi ineficiente na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patogênicos, necessitando de pós tratamento quando se almeja o reuso para fins não potáveis no meio urbano. Os parâmetros que estão aptos para reuso direto não potável no meio urbano são pH, nitrito, nitrato e fósforo total. Os parâmetros DQO, DBO, NTK, N-amoniaco, sólidos sedimentáveis, cor, turbidez e coliformes fecais não atendem a nenhuma modalidade de reuso direto não potável para fins urbanos, por estarem acima das concentrações estabelecidas.

Para a ETE “C” os parâmetros que estão aptos para reuso direto não potável no meio urbano são pH, nitrito, nitrato, fósforo total e coliformes fecais. Os parâmetros DBO, DQO, NTK, N-amoniaco, cor verdadeira, turbidez, não atendem a nenhuma modalidade de reuso direto não potável para fins urbanos.

Apesar das ETEs avaliadas não terem sido concebidas visando o reuso, é sabido que águas residuárias tratadas têm o potencial de ser uma alternativa viável para fornecer usos não potáveis e evitar a escassez de água nas áreas urbanas. Também é importante compreender e comparar o consumo de energia associado e as emissões de CO₂.

Santos *et. al.* (2021), apresentaram análise comparativa água-energia, para uma companhia Portuguesa, associado ao abastecimento tradicional de água e ao reaproveitamento alternativo de esgoto tratado, ambos para fins não potáveis. Três cenários foram definidos para analisar diferentes configurações dos potenciais usos finais: (1) abastecimento de campos de golfe, (2) abastecimento de irrigação municipal e (3) abastecimento simultâneo para o campo de golfe e para irrigação municipal. Também foi realizada uma análise de qualidade comparando os parâmetros de qualidade do efluente descartado com os limites apresentados na legislação para cada uso não potável proposto. Os resultados mostraram, para todos os cenários, significativa utilização de águas residuárias tratadas em vez de água potável da rede pública, especialmente para os cenários 1 e 3, que consideram a irrigação do campo de golfe. Em relação ao nexo água-energia, este estudo revelou que as águas residuárias tratadas gastam menos energia na sua produção e abastecimento e produzem menos emissões de CO₂. A economia de energia pode chegar a um valor médio de cerca de 14.500 kWh /ano, com 5.300 kg a menos de CO₂ emitido no melhor cenário.

Tais achados, apesar de cunho internacional, podem e devem servir de incentivo para ações locais que visem a recuperação de compostos provenientes do tratamento de efluentes, gerando contribuições significativas para o setor.

4 CONCLUSÕES

Do ponto de vista operacional, a ETE “A”, por processo anaeróbio foi a que apresentou melhor resultado devido a sua simplicidade operacional gerando efluente tratado com a qualidade esperada para a tecnologia empregada. A ETE “B” com tecnologia aeróbia foi a que apresentou pior resultado, o efluente produzido foi o de maior carga orgânica e de nutrientes. A ETE “C”, que combina os processos anaeróbio seguido de aeróbio apresentou desempenho semelhante à da ETE “A” (anaeróbia). Esses resultados mostram que embora a tecnologia aeróbia tenha maior potencial de remoção de matéria orgânica e remoção de nutrientes ela necessita de maior controle operacional, o que não acontece, levando a um menor desempenho.

Os resultados encontrados com as análises e monitoramento das três estações utilizando processo, anaeróbio, aeróbio e combinado, constataram que é possível a aplicação do efluente para o reuso direto não potável para fins urbanos. Porém é necessário para a prática de reuso de esgoto tratado pelas estações monitoradas, implantação de pós-tratamento na três ETEs e muitas precauções, visto que o reuso irresponsável pode causar riscos à saúde dos usuários e prejuízos ao meio ambiente, tornando se caso de saúde pública, pois nos esgotos tratado há nutrientes e patogênicos remanescentes que através do contato podem transmitir doenças, necessitando o enquadramento do esgoto tratado no padrão apropriado para o reuso.

Foi realizado um levantamento do entorno e constatou-se que os três condomínios possuem potencial para reuso visto que dispõem de áreas com jardins, gramados, passeio, praças e descarga dos vasos sanitários do próprio condomínio, como também o esgoto tratado pode ser usado para uso em estabelecimentos próximos aos condomínios, que utilizam água potável e podem ser substituídas por água de reuso, lava-jato, escolas, hospitais e empresa de coleta de lixo.

A alternativa de reuso de água como uma nova fonte destinada a usos menos nobre é sem dúvida uma forma de reduzir os impactos na captação de água nos poços artesianos dos condomínios monitorados e da companhia de saneamento - CASAL, e pela BRK Ambiental, sendo uma ótima alternativa pois reduz consideravelmente o lançamento de esgoto nos corpos d’água, e elimina uma parcela de contaminação, como também proporciona melhores condições e qualidade de vida aos usuários, na cidade de Maceió, que hoje possui pouco mais de 40% da cidade com saneamento.

REFERÊNCIAS

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, American Water Works Association (Awwa), Water Environmental Federation (Wef), **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, D.C. (2005).

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (FIESP). **Conservação e reuso da água em edificações.** São Paulo, 2005. 151 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução Nº54 de 28 de novembro de 2005.** Disponível em: <<http://www.cnrhsrh.gov.br/>>. Acesso em: 21 de março de 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005.** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2018.

CUBA, R. S., CARMO, J. R., SOUZA, C. F., BASTOS, R G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** Rev. Ambient. Água vol. 10, n. 3, p. 574 – 585. Taubaté – Jul. / Sep. 2015.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse.** Washington, D.C.: Camp Dresser & McKee, 2004.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 7, n.4, p. 75-95, Out/Dez 2002.

JORDAO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6º Ed. Rio de Janeiro, 2011.

MACKERETH, F. J. H., HERON, J., TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists.** Dorset, Freshwater Biol. Ass., 121 p. 1978.

MAHJOURI, N., POURMAND, E. A social choice-based methodology for treated wastewater reuse in urban and suburban áreas. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.:189 n.:7 p.:325-345, 2017.

METCALF, L., EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Nova Iorque: Ed. AMGH, 2008 p. 2016.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. **Reuso de água**. Universidade de São Paulo Faculdade de Saúde Pública. Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. Barueri, SP; Manole, 2003.

SANTOS, C., TAVEIRA-PINTO, F., PEREIRA, D., MATOS, C. Analysis of the Water–Energy Nexus of Treated Wastewater Reuse at a Municipal Scale. **Water**, 13, 1911. <https://doi.org/10.3390/w13141911>, 2021.

SANTOS, G. J. **Água de reuso para lavagem de ruas e rega de parques**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.) Reuso de água. São Paulo: Manole; Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, p. 501-511. 2003.

SOUSA FILHO, E. J. **Reuso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido Pernambuco**. Universidade federal de Pernambuco, centro de tecnologia e geociências - programa de pós-graduação em engenharia civil, Recife – PE, 75 f. 2013.

SOUSA, A. F. S. **Diretrizes para implantação de sistemas de reuso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – análise de perigos e pontos críticos de controle : estudo de caso Residencial Valville I / A.F.S. de Sousa**. -- ed.rev. São Paulo, 176 p. 2008.