

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE REÚSO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM UM CANTEIRO DE OBRAS LOCALIZADO EM MACEIÓ (AL) A PARTIR DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES BIOGILL

Igor Duarte Rosa Lima ⁽¹⁾

Formado em Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Tiradentes - Alagoas e Engenheiro de Segurança do Trabalho (Faculdade Digital Descomplica). Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Possui foco na área de saneamento ambiental tendo atuado por cerca de 3 meses no Instituto de Meio Ambiente do Estado de Alagoas e por 5 anos foi Engenheiro da empresa Essencial - Meio Ambiente e Saneamento trabalhando com a tecnologia de tratamento biológico de efluentes (BIOGILL).

Endereço ⁽¹⁾: Travessa Professor Guedes de Miranda, 31 – Farol – Maceió – Alagoas – CEP: 57055-225 – Brasil – Tel: + 55 (82) 99131-6170 – e-mail: igorduarterl@hotmail.com.

RESUMO

Uma das principais vertentes do Saneamento Básico é o esgotamento sanitário. Estima-se que 60,9% dos esgotos são coletados e 46,3% são tratados. Logo, as Estações de Tratamento de Esgoto devem ser viabilizadas. Sua função consiste em realizar processos físico-químicos e biológicos para que retornem ao meio ambiente conforme a legislação. O uso de tecnologias para o tratamento, como a BioGill, advém principalmente da necessidade de minimizar os impactos ambientais e socioeconômicos. Esse biorreator possui fases aeróbias, anaeróbias e anóxica, associados a uma eficiência de remoção de matéria orgânica em torno de 90% e de nutrientes de até 80%. A estação foi instalada na cidade de Maceió como uma alternativa para o tratamento de efluentes de um canteiro de obras. Além de realizar o tratamento de maneira eficiente, o projeto levou em consideração a possibilidade de reúso do efluente tratado. Por fim, o sistema atingiu 91% de remoção de DBO, 89% de DQO, 91% de fósforo total e 52% de nitrogênio amoniacal, contudo não atingiu os padrões das três legislações abordadas que versam sobre o reúso do efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Esgotamento Sanitário, Tecnologias Ambientais, Reutilização do Efluentes.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e limitado e é responsável pela manutenção da vida no planeta e do desenvolvimento das atividades. O uso da água seja no setor industrial ou na construção civil gera o esgoto com diferentes características e volumes diversos. Estima-se que cerca de 80% do uso da água gere esgoto (DIAS, 1999). Essencialmente, o esgoto sanitário é constituído de 99,9% de água e 1% de sólido (MENDONÇA, 1999) e pode ser definido como uma solução suspensa que apresenta constituintes químicos e organismos bacteriológicos (IGWENYI, 2012).

Apesar da sua composição ser preponderantemente em água, os constituintes presentes nele como o nitrogênio, fósforo, material orgânico e coliformes termotolerantes acabam por impactar o meio ambiente. Entre os principais impactos encontram se, respectivamente: eutrofização no corpo hídrico provocado pelo excesso de nutrientes, diminuição do oxigênio dissolvido no corpo d'água devido ao aumento de material orgânico e o aumento de patógenos no meio aquático, o que pode provocar doenças como cólera e amebíase.

Embora o esgotamento sanitário seja uma das vertentes da Política Nacional do Saneamento Básico – 11.445/07 -, os índices de acesso à coleta e tratamento de esgoto pela população brasileira são baixos. De acordo com o Sistema Nacional de Informações do Saneamento (2018), a coleta de esgotos no Brasil atingiu uma média de 60,9% com destaque para a região Sudeste com uma média de 83,7%. Já em relação ao tratamento, o índice médio é de 74,5% (SNIS, 2018).

Para que esse serviço tão importante alcance números mais altos, as empresas e o Estado devem enxergá-lo com base na sustentabilidade. O desenvolvimento sustentável consiste em atender as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras (CNMAD, 1988), isto é, pensar sempre nos aspectos sociais, ambientais e econômicos de maneira conjunta. Entre os benefícios dessa prática estão: Queda no número de internações gerando uma economia de R\$ 27,3 milhões anuais – social -, redução dos impactos de eutrofização e depleção de oxigênio no corpo hídrico – ambiental -, e valorização dos imóveis em torno de R\$ 178,3 bilhões – econômico - (FREITAS, 2014).

Um dos setores que devem implementar a sustentabilidade desde o início da construção do empreendimento devido à grande quantidade de impactos, inclusive quanto a geração de efluentes, é a construção civil. Estima-se que o conjunto de empresas do ramo atingiu cerca de 6,2 milhões de trabalhadores com carteira assinada, representando aproximadamente 13,4% da força de trabalho no país (CBIC, 2017). Apesar dessa grande força, as adversidades geradas pela atividade alcançam toda a cadeia produtiva. Conforme John (2001), o setor é responsável por extrair entre 15% e 50% dos recursos naturais.

Como uma medida para controlar um dos impactos gerados a partir do início da obra, está a adoção de tecnologias descentralizadas e compactas como o reator BioGill (BGC 25). Esse reator é um módulo biológico composto por membranas nanocerâmicas que realiza o tratamento de maneira eficaz através de um biofilme fixo que consegue reduzir ativamente material orgânico e nutrientes resultando em uma melhoria da qualidade do efluente final e favorecendo o reúso internamente (BIOGILL, 2016).

O exposto acima evidência que existe viabilidade em adotar medidas sustentáveis para minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos nos setores construtivos a partir da adoção de um sistema de tratamento de efluentes compacto, eficiente e descentralizado, favorecendo o reaproveitamento do esgoto tratado em atividades internas do canteiro de obras, como irrigação paisagística, lavagem de maquinários e reúso em vasos sanitários.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SANEAMENTO BÁSICO

O esgotamento sanitário compreende uma das vertentes da Lei Federal do Saneamento Básico e engloba a coleta e o tratamento do efluentes. Conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2018) representados na tabela 1, em relação ao atendimento da população por redes de esgoto, são 105,5 milhões de habitantes com acesso à coleta, cerca de 60,9% dos brasileiros. Já em relação ao tratamento, observa-se que o índice médio para os esgotos que são gerados é de 46,3% e de 74,5% para os esgotos que são coletados.

Tabela 1 – Níveis de Atendimento e Tratamento de Esgoto no Brasil

Etapas	Centro-Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul
Coleta (%)	52,9	28	10,5	79,2	45,2
Tratamento (%)	53,9	36,2	21,7	50,1	45,4

Fonte: SNIS, 2018.

Ainda conforme tabela 1, as regiões do Norte e Nordeste apresentam baixos índices em termos de coleta de esgoto total. Um exemplo disso é uma das principais cidades da região Nordeste, Maceió, que apresenta apenas 35,4% da população atendida por sistemas de esgotamento sanitário, isto significa que apenas 300.000 habitantes são atendidos pelo serviço (CASAL, 2018). A Companhia de Abastecimento do Estado de Alagoas possui três regiões com sistemas de esgotamento representados na figura 1. São elas:

- Região Sudeste que atende as praias da Avenida, Porto de Jaraguá, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Cruz das Almas e Jacarecica.

- Região do Reginaldo que possui como limite o Loteamento Palmares e os Conjuntos Simol e Benedito Bentes, bem como a Avenida Gustavo Paiva.
- Região Sudoeste que envolve a faixa lagunar Mundaú, Clima Bom e praias do Pontal e Sobral.

Figura 1 – Mapa do Sistema de Esgotamento Sanitário de Maceió



Fonte: CASAL, 2018.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

De acordo com a NBR 12.209, uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, acessórios e sistemas com a finalidade de reduzir as cargas poluidoras do esgoto doméstico. Esse objetivo só é alcançado devido a utilização de tecnologias capazes de remover material orgânico, sólidos, nutrientes e patógenos. Conforme a figura 2, uma ETE apresenta quatro etapas de tratamento capazes de remover praticamente todos os constituintes presentes nas águas residuárias.

Figura 2. Níveis de Tratamento de Efluentes.



Fonte: Autor, 2020.

O tratamento preliminar consiste em uma fase de separação de sólidos. O tratamento remove sólidos grosseiros, materiais flutuantes e minerais como areia e por vezes óleos e graxas (TELLES; COSTA, 2007). De acordo com Von Sperling (2005), o intuito dessa etapa é evitar danificações nos equipamentos como as bombas e obstruções nas tubulações.

O tratamento primário é realizado através de decantadores para remover sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes. O efluente flui lentamente permitindo que os sólidos em suspensão, os quais possuem maior densidade, sedimentem se no fundo (VON SPERLING, 2005).

Já o tratamento secundário ou biológico visa a degradação de material orgânico presente no efluente através de processos aeróbicos e/ou anaeróbicos realizados por microrganismos. O ambiente aeróbico usa oxigênio para degradação do material e formação de gás carbônico e água, enquanto o anaeróbico não se utiliza oxigênio no meio, ocasionando a produção do biogás, composto por metano, CO₂, H₂S e outros gases (TELLES; COSTA, 2007). Entre as tecnologias mais comuns que realizam esse processo estão: lodos ativados, reatores anaeróbicos de fluxo ascendente e lagoas de estabilização.

Por fim, o tratamento terciário, que não é tão comum nas ETEs. Essa etapa é constituída de equipamentos que realizam processos físicos, químicos ou biológicos para melhorar a qualidade final do efluente através da remoção de material orgânico não degradado na etapa secundária, nutrientes, sólidos em suspensão e patógenos por cloração. Salienta-se que cada etapa dessa é fundamental para o alcance do objetivo final: o tratamento de efluentes.

SISTEMAS CENTRALIZADOS E DESCENTRALIZADOS DE EFLUENTES

Um dos principais problemas encontrados nos sistemas de tratamento de efluentes é quanto ao seu processo de implementação. Desde 1970, os sistemas centralizados de efluentes são aplicados no Brasil. Esse sistema é caracterizado por uma alta complexidade, robustez estrutural e custos elevados (OLIVEIRA, 2013).

Sendo assim, uma alternativa viável, especialmente em países em desenvolvimento ou em pequenas comunidades, é a aplicação de sistemas descentralizados de efluentes. Isto porque a sua simplicidade e efetividade de custos são muito menores quando comparados aos sistemas centralizados (OLIVEIRA, 2013).

Os sistemas centralizados realizam a coleta de grandes volumes de águas residuárias que são tratadas e descartadas distantes da fonte de geração (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012). Segundo Zaharia (2017), a coleta dos esgotos é realizada por meio de extensas tubulações que recebem contribuições de sub-bacias e são encaminhadas, geralmente, através de estações elevatórias para as ETEs. Em função disso, os custos na implementação desses sistemas elevam-se em cerca de 60%.

Com isso, os sistemas descentralizados reduzem os grandes investimentos associados a implementação dos sistemas de esgotos centralizados, o que aumenta a acessibilidade dos sistemas de gerenciamento de águas residuárias em países em desenvolvimento (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Os sistemas descentralizados são caracterizados pela realização da coleta, tratamento e disposição/reutilização dos esgotos próximos da fonte de geração (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012). No Brasil, as ETEs descentralizadas são consideradas como aquelas projetadas para uma vazão de 50 L/s ou com capacidade de atendimento de população igual ou inferior a 30.000 habitantes (CONAMA, 2006). Entre as tecnologias mais comuns de sistemas descentralizados estão: MBR, reatores anaeróbicos e wetlands. O quadro 1 menciona as principais particularidades dos sistemas centralizados e descentralizados.

Quadro 1. Principais Características dos Sistemas Centralizados e Descentralizados.

Sistemas Centralizados	Sistema Descentralizados
Grandes distâncias da fonte geradora.	Pequenas distâncias da fonte geradora.
Necessita de uma grande área para implementação do sistema.	Necessita de uma pequena área.
Necessita de uma equipe altamente capacitada para o monitoramento.	Não necessita de uma equipe altamente capacitada para monitoramento.
Custos elevados.	Custos baixos.
Não favorece o reúso de água.	Favorece o reúso de água.

Fonte: Adaptado de CODESAB, 2011.

BIORREATOR BIOGILL

A tecnologia descentralizada BioGill é um reator australiano desenvolvido em 2009 através de nanotecnologia. O biorreator suspenso (acima do solo) utiliza membranas fabricadas com um gel nanocerâmico. Este gel fornece locais de crescimento para as bactérias e demais microrganismos através de um biofilme mobilizado sobre a membrana conforme figura 3 (BIOGILL, 2015).

As membranas fornecem condições ideais e ricas em oxigênio para que os microrganismos cresçam e se multipliquem rapidamente, sem a necessidade de aeração artificial. A tecnologia reduz de maneira eficaz DBO, DQO, amônia e nitrogênio total, resultando na melhoria da qualidade do efluente final (BIOGILL, 2015).

Figura 3. Biofilme da Tecnologia.

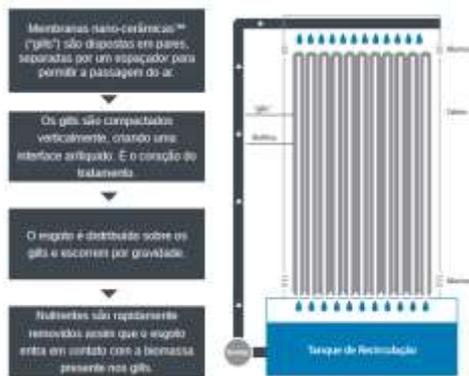


Fonte: BioGill, 2015.

Conforme a figura 4, o efluente é alimentado através dos distribuidores localizados na parte superior do equipamento e a água flui sobre as membranas proporcionando a criação de duas zonas: líquida e ar, e da realização do tratamento de maneira anaeróbica, aeróbica e anóxica. As membranas por serem hidrofílicas permitem a criação dessas zonas através da difusividade, o que propicia o desenvolvimento dos microrganismos em ambos os lados (BIOGILL, 2015).

Salienta-se que o sistema não se utiliza de aeração artificial, já que a atividade bacteriana cria um fluxo de calor convectivo dentro da unidade, o que permite uma aeração natural ilimitada de oxigênio. Além disso, o sistema trabalha com o processo de recirculação de esgoto, o que aumenta o tempo de contato da água residual com o material biológico ativo, controlando o nível de biomassa e de oxigênio dissolvido (BIOGILL, 2015).

Figura 4. Diagrama de Funcionamento da BioGill.



Fonte: BioGill, 2015.

A biomassa desenvolvida no sistema permite que as bactérias se alimentem dos nutrientes do lado água devido à criação de capilares de águas residuárias. Essa biomassa cria hifas nos biofilmes que canalizam naturalmente a alimentação para as áreas de maiores demandas, sendo dependente de muitos fatores, entre eles: temperatura do efluente e do ar ambiente, pH, DBO e disponibilidade de nutrientes (BIOGILL, 2015).

O reator biológico que é disposto de maneira vertical, fornece um ambiente ideal para o desenvolvimento de bactérias, protozoários e demais seres por receber fluxo de esgoto e de ar que maximizam o desempenho metabólico dos mesmos. A tecnologia possui uma eficiência média de remoção de DBO em torno de 90%, nutrientes em torno de 80% e óleos e gorduras de até 80% com uma carga de até 100 mg/L (BIOGILL, 2015).

O presente estudo terá como base um dos primeiros equipamentos desenvolvidos e comercializados pela BioGill, o modelo BGC 25. É um reator que apresenta uma área superficial de 25 m², contém cerca de 30 membranas nanocerâmicas e trata uma vazão de até 1,5 m³/dia. Os princípios descritos em questão também

servem para este reator em escala menor. A diferença deste modelo para o módulo BGC 230 é que este apresenta cerca de 60 membranas com uma área superficial de 230 m² e um tratamento que pode chegar até 15 m³/dia (BIOGILL, 2015). Os dois modelos estão representados na figura 5.

Figura 5. Modelo BGC 25 e modelo BGC 230, respectivamente.



Fonte: BioGill, 2015.

ASPECTOS LEGAIS DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O lançamento de esgotos sanitários ou industriais deverão atender as legislações federais, estaduais e até mesmo municipais quanto aos padrões de descarte, uma vez que é uma ferramenta que visa resguardar a qualidade dos mananciais (MORAIS; SANTOS, 2019).

A nível federal esses padrões são estabelecidos pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) através da sua resolução nº 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa a resolução nº 357/2005 sobre a classificação e enquadramento dos corpos de água. A mesma fixa valores de concentração para parâmetros orgânicos e inorgânicos para quaisquer que sejam as fontes poluidoras que lancem seus efluentes em corpos hídricos.

No Brasil, a legislação brasileira quanto ao descarte de efluentes permite que os estados e municípios criem suas próprias legislações que não deverão entrar em conflito com a norma federal e que sendo assim, tornam-se mais restritivas que a resolução federal. De acordo com Moraes (2019), no país existem 16 estados que possuem legislação própria, logo 59,3% das unidades federativas possuem alguma norma mais restritiva quanto ao tema. A tabela 2 mensura os padrões ideais de descarte preconizados pela resolução federal.

Tabela 2 - Principais Condições de Lançamento de Efluentes a Nível Federal

Tipo	pH	Temperatura (°C)	Ssd (mL/L)	DBO	Óleos e Graxas
Qualquer fonte				60% de remoção	<20 mg/L (minerais) e <50 mg/L (vegetais)
Esgoto Sanitário	5-9	<40	<1	<120 mg/L ou 60% de remoção	≤100 mg/L

Fonte: Adaptado de CONAMA nº 430, 2011.

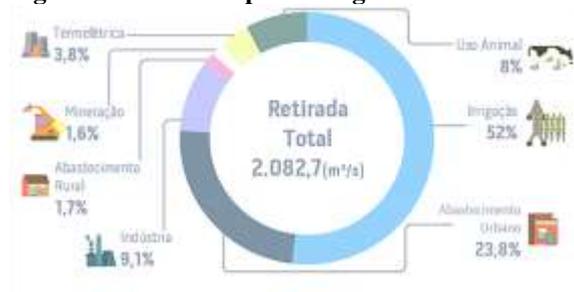
REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL

A água é um recurso indispensável para a manutenção da vida no Planeta. Porém, este recurso natural é limitado e está tornando-se cada vez mais escasso no Mundo. De acordo com uma publicação realizada pela *World Resources Institute* (2015), 2040 será considerado o ano de escassez de água para 3,5 bilhões de pessoas no Mundo devido ao uso exagerado desse recurso finito. Ainda, conforme o *World Economic Forum* (2019), a crise de água é o risco global nº 4 em termos de impacto na sociedade.

O Brasil é um dos países mais privilegiados em termos hídricos e que possui a maior quantidade de água doce no Mundo, aproximadamente 12% (PAULINO; TEIXEIRA, 2012). Sendo esta utilizada em todas as atividades. Porém, os seus usos múltiplos, a falta de gestão dos recursos hídricos e a má distribuição ocasionam perdas significativas. Estima-se que a cada 100 litros de água no Brasil, somente 63 litros são consumidos, enquanto 37 são perdidos (ANA, 2012).

De acordo com a figura 6, o país utiliza cerca de 2 milhões e 83 mil litros de água e seus usos preponderantes estão nos setores de agricultura, que é responsável por 30% do PIB nacional, abastecimento humano e indústrias. Os três setores são responsáveis por cerca de 85% das retiradas de água dos corpos hídricos (ANA, 2019).

Figura 6. Usos Múltiplos da Água.



Fonte: ANA, 2019.

Diante dessa situação, uma das principais medidas que passaram a ser adotadas no Brasil e no Mundo é quanto ao reaproveitamento do efluente tratado em diversas atividades. Em 2008 havia cerca de 50 milhões de metros cúbicos de esgoto tratado sendo reutilizados mundialmente, sendo os Estados Unidos o país que mais reusava (NRC, 2012). No Brasil, existem algumas cidades como São Paulo que já praticam o reúso, porém ainda é incipiente.

O efluente tratado pode ser utilizado no setor agrícola para a produção de algumas culturas como alface e morangos, no setor industrial para a utilização em torres de resfriamento, caldeiras, processos de manufatura, em áreas verdes para fins de irrigação municipal e paisagismo e na construção civil (KUBLER; FORTIN; MOLLETA 2015).

Uma das atividades que possuem um elevado potencial de reaproveitamento do efluente tratado é a construção civil em seus canteiros de obras. A atividade demanda uma grande quantidade de água e pensando nisso torna-se importante adotar obras sustentáveis. De acordo com Pires (2015), aproximadamente 17% das atividades realizadas nos canteiros de obras requerem água limpa.

O efluente tratado nas obras pode ser utilizado no preparo do concreto, na lavagem dos maquinários e até mesmo na lavagem das obras quando forem concluídas (HENRIQUE, 2018). O efluente gerado se dá principalmente nos locais administrativos: escritórios, alojamento de operários, cozinha e refeitório.

OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo analisar o sistema BioGill BGC 25 como uma alternativa sustentável, descentralizada e eficaz no tratamento de águas residuárias geradas em um canteiro de obras localizado em Maceió – Alagoas - e verificar as possibilidades de reúso interno ao longo de toda a construção, bem como monitorar continuamente o processo de tratamento.

METODOLOGIA

A implementação do piloto de tratamento de efluentes utilizando o módulo BGC 25 ocorreu na cidade de Maceió – Alagoas, mais especificamente na parte alta da cidade localizado no bairro Santos Dumont, o qual infelizmente não apresenta rede coletora de esgoto. Sendo assim, o canteiro de obras localizado nas coordenadas geográficas 9°33'40.48"S e 35°47'22.01"O necessita de um sistema para a realização do tratamento do esgoto gerado. A figura 7 mostra a localização do canteiro de obras.

O canteiro de obras iniciou suas atividades no início do ano de 2020 com aproximadamente 30 pessoas e que dentro de três meses contará com mais de 70 pessoas que construirão um empreendimento Minha Casa, Minha Vida com apartamentos de 2 a 4 quartos com varandas. Os apartamentos possuirão área privativa de 46 m², piscina, salão de festas, guarita e estacionamento.

Figura 7. Localização do Canteiro de Obras.



Fonte: Google Earth, 2020.

Com a visão de sustentabilidade, a empresa que está construindo o empreendimento optou em estabelecer uma gestão ambiental desde o início da obra e por isso adotou um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, bem como adotou um sistema de tratamento de efluentes modular, compacto e eficiente para melhorar a qualidade final do seu esgoto que é gerado principalmente nos banheiros e áreas administrativas. A figura 8 elenca isso.

Figura 8. Banheiro do Canteiro de Obras.



Fonte: Autor, 2020.

Todo o efluente gerado nas áreas citadas acima eram destinados a um tanque séptico já existente no início da obra de 7 m³. Os tanques sépticos são sistemas primários que auxiliam na retenção do esgoto, sedimentação de sólidos e degradação de parte do material orgânico. Porém, os mesmos apresentam baixa eficiência em termos de remoção de DBO e SST, mau odor característico pela presença de gás sulfídrico e não removem nutrientes, bem como organismos patogênicos (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

Figura 9. Tanque Séptico do Canteiro de Obras.



Fonte: Autor, 2020.

Para a resolução do problema de ineficiência dos tanques sépticos, foi adotado o reator Biogill BGC 25 que possui maior capacidade de degradação do material orgânico, elimina o mau odor e remove nutrientes do efluente. Primeiramente antes da implementação de todo o sistema, foi analisado as possíveis áreas que poderiam ser colocados o piloto. A área selecionada para a instalação fica ao lado do tanque séptico e próximo aos banheiros, o que facilita a modelagem do sistema. A figura 10 demonstra esta localização.

Para o dimensionamento de toda a ETE, a tabela 3 demonstra as principais variáveis que foram utilizadas para a confecção do sistema. Um fator limitante foi a área ocupada pelo possível sistema, entretanto o módulo BGC 25 por ser descentralizado e apresentar as seguintes dimensões: 56 cm x 56 cm x 92 cm, facilitou a execução do mesmo.

Figura 10. Área de Instalação da ETE.



Fonte: Autor, 2020.

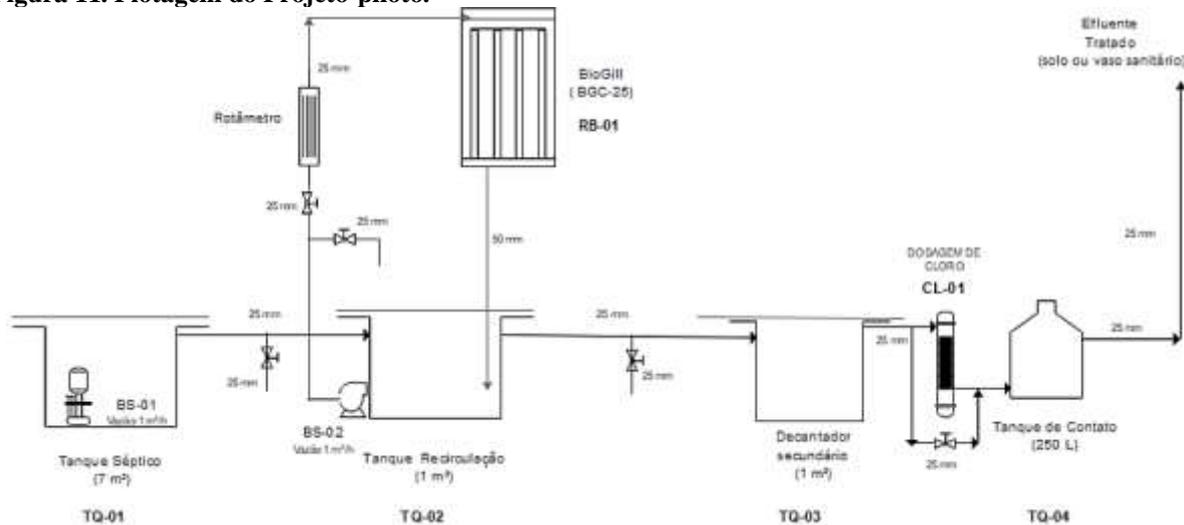
Tabela 3 - Parâmetros de Dimensionamento do Projeto-piloto.

Indicador	Resultado
Área Disponível para o Sistema (m ²)	10
Geração de Efluentes por Pessoa (L/dia)	35
Número de Funcionários	30
Vazão do Projeto (m ³ /dia)	1
DBO de Entrada Estimada (mg/L)	300
Eficiência do Processo em termos de Remoção de DBO antes do Tratamento Terciário (%)	80

Fonte: Autor, 2020.

A construção e instalação da ETE foram iniciadas em 12 de outubro de 2020 e finalizada em 23 de outubro de 2020. A partida e operação do sistema iniciou se no dia 26 de outubro. Todo o projeto-piloto foi realizado com base na figura 11.

Figura 11. Plotagem do Projeto-piloto.



Fonte: Autor, 2020.

O tratamento inicia se através do bombeamento do esgoto armazenado no tanque séptico de 7 m³ (TQ-01) por uma bomba submersa de 5,6 m³/h para o tanque de recirculação da BioGill (TQ-02). Diferentemente de outros sistemas biológicos que trabalham com tempo de detenção hidráulico, isto é, o tempo que o efluente terá que ser mantido na unidade de tratamento, a BioGill trabalha com taxa de recirculação, ou seja, o efluente terá que passar sobre a membrana várias vezes para que a água residuária seja tratada. A BioGill BGC 25 foi dimensionada para realizar o tratamento de 1 m³/dia e seu tanque de recirculação é um container IBC de 1 m³ que possui uma bomba centrífuga de 1 m³/h para aspergir o esgoto sobre as membranas nanocerâmicas.

Posteriormente o efluente passa por um container tipo IBC de 1 m³ (TQ-03), o qual funciona como um decantador para a retenção de uma pequena quantidade de material orgânico, mas principalmente sólidos. Por fim, o esgoto passa por um dosador de cloro (CL-01) e é armazenado em um tanque de contato, (TQ-04), o qual elimina os Coliformes Termotolerantes. O tanque de contato foi projetado com um tempo de detenção hidráulico de 30 minutos, o que resultou em um volume de 20 litros, entretanto para eliminar os patógenos e fazer com que o efluente saia o mais límpido possível, foi utilizado um volume maior, cerca de 250 litros. Logo foi adotado uma caixa de água com este volume. Ademais, o efluente é descartado sobre o solo. A figuras 12 mostra o sistema implementado.

Figura 12. Implementação do Sistema.



Fonte: Autor, 2020.

A maioria dos processos biológicos necessita de aclimação do biofilme, logo foi adicionado no início da operação cerca de 10 litros de lodo ativado em boas condições. Para esse cálculo foi utilizado uma proporcionalidade, já que conforme a BioGill (2015), necessita-se de 100 litros de lodo ativado para aclimação do módulo BGC 230. Salienta-se que o biofilme do sistema BGC 25 leva 30 dias para o processo de desenvolvimento dos microrganismos e com a adição de lodo ativado esse processo foi acelerado para 15 dias.

Figura 13. Adição de Lodo Ativado para o Start do Sistema.



Fonte: Autor, 2020.

O efluente tratado foi analisado com base nos padrões de descarte da CONAMA 430/11 e também foi analisado com base em normas técnicas quanto a possibilidade de reúso interno no canteiro de obras, entre elas: NBR 13.969, Coema/CE nº 2/2017 e SES/SMA/SSRH n. 1/2017 – São Paulo. Entre as diversas possibilidades de reúso que foram identificadas estão: lavagem de maquinários, irrigação paisagística, reúso em vasos sanitários e amassamento do concreto. A figura 14 salienta essas possibilidades.

Para a realização dessas análises e comparativos da verificação de possibilidade de reúso, foram coletadas amostras nas válvulas pós tanque séptico (TQ-01) – efluente de entrada -, entrada do módulo BGC 25, saída do tanque de recirculação para o decantador secundário (TQ-03) e na saída do tanque de contato (TQ-04) para o efluente tratado final. Esses quatro pontos de análises realizados verificam a eficiência total da ETE.

Todas as análises de efluente bruto (TQ-01) foram realizadas em um dia e 24 horas após foram coletadas as análises dos efluentes tratados (TQ-02, TQ-03 e TQ-04), uma vez que toda a operação foi realizada em batelada. O processo em batelada carrega todo o sistema com efluente o qual é tratado e posteriormente é descartado. Enquanto o processo contínuo, que não é o caso desse estudo, recebe efluente a todo momento e descarta o mesmo posteriormente. Entre as principais características do processo por batelada estão: adequados para sistemas que possuem pequena vazão a ser tratada, difíceis de serem operacionalizados devido a variação dos parâmetros do efluente a cada batelada e possibilidade de oscilação no crescimento do biofilme (BIOGILL, 2015).

Figura 14. Possíveis Locais de Reutilização do Efluente Tratado.



Fonte: Autor, 2020.

Quadro 4. Materiais para Execução do Projeto.

Etapa	Análises Realizadas
TQ-01	DBO, DQO, SSd, Nitrogênio Total, Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total, SST, pH, Turbidez, Temperatura e Condutividade elétrica
Entrada do módulo BGC 25	DBO, DQO, Nitrogênio total
Saída do Tanque de Recirculação	DBO
TQ-04	DBO, DQO, SSd, Nitrogênio Total, Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total, STD, Cloretos, Sulfatos, Cloro Livre, Turbidez, Temperatura, pH e Condutividade Elétrica

Fonte: Autor, 2020.

RESULTADOS

Após a inserção de cerca de 10 litros de lodo ativado no sistema BGC 25, foi aguardado um período de 15 dias para a coleta da amostra, uma vez que torna necessário o crescimento do biofilme. Esse biofilme foi observado nas membranas como mostra a figura 15.

Figura 15. Constatação do Biofilme.



Fonte: Autor, 2020.

Após a verificação do desenvolvimento do biofilme, as amostras foram coletadas nos pontos indicados no quadro 4 e levadas a laboratório para avaliação dos parâmetros elencados no mesmo quadro. Salienta-se que apenas as análises de temperatura e pH foram realizadas in loco. A tabela 4 menciona os resultados encontrados no TQ-01, entrada do módulo BGC 25 e saída do tanque de recirculação. A análise do efluente tratado final está representado na tabela 5.

Tabela 4 - Análise do Efluente nas Três Etapas Iniciais.

Parâmetro	TQ-01	Entrada BGC 25	Saída do Tanque de Recirculação
DBO (mg/L)	421	42	40
DQO (mg/L)	1.320	244	-
SSd (mL/L)	0,5	-	-
Fósforo (mg/L)	11	-	-
Coliformes Fecais (UFC/100 mL)	>160.000	-	-
Turbidez (NTU)	241	-	-
SST (mg/L)	150	-	-
Condutividade Elétrica (µS/cm)	2.521,26	-	-
Nitrogênio Total (mg/L)	210	100	-
pH	7,22	-	-
Temperatura (°C)	28,7	-	-

Fonte: Autor, 2020.

Com base na tabela 4, a eficiência apenas do sistema BGC 25 em termos de remoção de DBO, DQO e Nitrogênio Total foi de, respectivamente: 90%, 81% e 52%. Essa verificação ocorreu a partir das coletas no TQ-01 e na entrada do módulo BGC 25. Esses resultados foram alcançados após o estabelecimento inicial do biofilme nas membranas e 24 horas de operação, o qual se deu em batelada.

Tabela 5 - Análise do Efluente Tratado.

Parâmetro	TQ-04
DBO (mg/L)	35
DQO (mg/L)	136
SSd (mL/L)	<0,1
Fósforo (mg/L)	0,92
Sulfatos (mg/L)	40,03
Coliformes Fecais (UFC/100 mL)	Ausente
Turbidez (NTU)	10,65
Cloretos (mg/L)	976,1
STD (mg/L)	1.742
Cloro Residual (mg/L)	>5
Condutividade Elétrica (µS/cm)	9.843,44
Nitrogênio Total (mg/L)	100
pH	5,01
Temperatura (°C)	29

Fonte: Autor, 2020.

Com base na tabela 5, em relação aos padrões de descarte da CONAMA 430/11, a ETE do canteiro de obras enquadra-se nos padrões de descarte para sistemas de esgoto sanitário, inclusive atingindo as eficiências de 60% e 120 mg/L de DBO satisfatoriamente. Destaca-se que o pH foi enquadrado dentro dos limites, mas é

passível de mudança. Este baixo pH se deu principalmente devido a elevada quantidade de pastilhas colocadas no clorador e alta concentração de cloro ativo das pastilhas, cerca de 85%, o que tornou o pH do efluente ácido e também por causa da pouca passagem de efluente pelo clorador. Para a resolução desse problema são necessárias as seguintes medidas: aumento da tubulação entre os tanques 2,3 e 4 de 25mm para 50mm e diminuição das quantidades de pastilhas. Já com base nos padrões de reúso, o quadro 5 elenca se existem conformidades ou não com as legislações descritas.

Quadro 5. Verificação dos Padrões de Reúso.

Parâmetro	NBR 13.969/97	Coema/CE nº 2/2017	SES/SMA/SSRH n. 1/2017 – São Paulo
DBO	-	-	Não conformidade
Turbidez	Não conformidade	-	Não conformidade
pH	Não conformidade	Não conformidade	Não conformidade
Coliformes Fecais	Em conformidade	Em conformidade	Em conformidade
STD	-	-	Não conformidade
Cloro Residual	Em conformidade	-	Não conformidade
Cloretos	-	-	Não conformidade
Condutividade	-	Não conformidade	Não conformidade

Fonte: Autor, 2020.

Ademais, a ETE como um todo apresentou alta eficiência, exceto para o parâmetro de nitrogênio total, e excelente coloração como evidenciado na figura 16. A eficiência de remoção de DBO, DQO, Fósforo, Coliformes Fecais, Turbidez e Nitrogênio Total foram, respectivamente: 91%, 89%, 91%, 100%, 95% e 52%. Apesar disso, a estação de tratamento não se enquadrava na maioria dos parâmetros preconizadas por essas legislações de reúso, sendo necessários além de adotar as medidas de melhorias nas tubulações e quantitativo de pastilhas de cloro, principalmente no tratamento terciário através da adoção de um filtro de carvão ativado para o seu enquadramento nas possibilidades de reúso do canteiro de obras, principalmente para a irrigação paisagística, lavagem de pisos e maquinários e vaso sanitário do entorno.

Figura 16. Coloração do Efluente Bruto.



Fonte: Autor, 2020.

CONCLUSÕES

Ao longo do período de avaliação da ETE foi possível verificar que apesar do Brasil ser incipiente quanto a legislações federais de reúso do efluente tratado, várias normas e legislações estaduais tentam apresentar padrões viáveis, mesmo em condições bastante restritivas.

A ETE implementada no canteiro de obras em Maceió ao longo de um mês apresentou ótimas eficiências em termos de remoção de DBO, DQO, Fósforo, Nitrogênio Total, Coliformes Fecais e Turbidez, porém não alcançou os padrões restritivos exigidos pelas legislações de reúso analisadas. Grande parte desse não enquadramento se deu principalmente no parâmetro de pH.

Tendo em vista que os fabricantes da BioGill elencam a alta remoção de nutrientes em torno de 80%, torna se necessário a melhoria contínua da operação do sistema de tratamento de efluentes do canteiro de obras para que o mesmo em termos atinja a sua máxima eficiência, principalmente de remoção de nitrogênio total, o qual ainda não foi alcançado devido à baixa relação de C:N, isto é, uma maior carga de material orgânico é necessária para que ocorra a desnitrificação de maneira mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 12209/11. *Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de efluentes sanitários*. Comissão de Estudo de Sistemas de Efluente Sanitário. Brasília, DF.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2019. *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil*. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/ usos-da-agua/>>. Acesso em: 17/09/2020.
3. BIOGILL, 2015. *Technical Design Manual*. 3ª versão. Setembro.
4. BIOGILL. 2016. *Tower – Technical Data Sheet Revision 1.4*.
5. BRASIL, 2018. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS, 2018. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.
6. BRASIL, 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. DF. 2011.
7. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), 2017. *Estabelecimentos na Construção*. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/emprego/emprego-formal-caged>>. Acesso em: 07/09/2020.
8. CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1988. *Nosso futuro comum*. 2a ed. Tradução de Our common future. 1a ed. 1988. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.
9. CODESAB, 2011. *Los Retos: Tratamiento Descentralizado de Aguas Residuales*. Foro Metropolitano de Cochabamba del Agua y Saneamiento. Universidad Mayor de San Simón - Bolivia.
10. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS – CASAL, 2018. *Efluente Sanitário*. Disponível em: <<http://casal.al.gov.br/atuacao/esgotamento-capital/>>. Acesso em: 17/09/2020.
11. CONAMA, 2006. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 377, de 9 de outubro de 2006. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>. Acesso em: 17/09/2020.

12. DIAS, M. C. O et.al, 1999. *Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas*. Fortaleza: Banco do Nordeste. 297.p.
13. FREITAS, F. G, 2014. *Benefícios econômicos da expansão do saneamento. Relatório de pesquisa produzido para o Instituto Trata Brasil e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo: Ex Ante Consultoria Econômica.
14. GOOGLE EARTH, 2020. *Localização do Canteiro de Obras*. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 29/10/2020.
15. HENRIQUE, Paulo, 2018. *Utilização do Efluente de Esgoto na Construção Civil*. Orientador: Msc. Dayane de Almeida Lima.44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Elaboração e gerenciamento de projetos para gestão municipal de recursos hídricos) - Instituto Federal do Ceará, [S. l.].
16. IGWENYI, Ikechuku, 2012. *Sewage management and its benefits to man*. International Research Journal of Biotechnology. 3. 2141-5153.
17. JOHN, V.M; OLIVEIRA, D.P; LIMA, J.A.R, 2007. *Levantamento do estado da arte: Seleção de Materiais. Projeto FINEP 2386/04: Tecnologias para a construção habitacional mais sustentável*. São Paulo. 58p.
18. KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L, 2015. *Reúso de Água nas Crises Hídricas e Oportunidades no Brasil*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em:<http://abesdn.org.br/pdf/Reúso_nas_Crises.pdf>. Acesso em: 17/09/2020.
19. MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J, 2009. A. *Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries*. Journal of Environmental Management, v. 90, n. 1, p. 652–659.
20. MENDONÇA, Sergio Rolim & CEBALOS, Beatriz Susana de O, 1999. *Lagoa de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos*. João Pessoa, S. Rolim Mendonça.
21. MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B, 2019. *Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil*. Revista DAE, São Paulo, v. 67, n. 215, p. 40-55, jan./mar.
22. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (NRC), 2012. *Water Reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater; Washington D.C.; The National Academy Press*.
23. OLIVEIRA JÚNIOR, JL, 2013. *Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social*. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa* [online]. Campina Grande: EDUEPB, pp. 213-232.
24. PAULINO, Walt Disney; TEIXEIRA, Francisco José Coelho, 2012. *A questão ambiental e a qualidade da água nas bacias hidrográficas do Nordeste*. In: ANA – Agência Nacional de Águas. *A Questão da Água no Nordeste/ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. – Brasília, DF: CGEE*.
25. PIRES, Camila; ROSA, Simone; AUGUSTO, Cezar, 2015. *Water Consumption in Construction Sites in the City of Recife/PE*. EJGE, [s. l.], p. 1-16. Disponível em: <http://www.ejge.com/2015/Ppr2015.0243ma.pdf>. Acesso em: 17/09/2020.
26. SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIN, N. T. M. N, 2012. *Potential of decentralized wastewater management for urban development: Case of Bangkok*. Habitat International, v. 36, n. 1, p. 85–92.

27. TELLES, D. A, COSTA, R. H. P. G, 2007. *Reúso da água: conceitos, teorias e práticas*. 1ª edição. São Paulo: Blücher.
28. VON SPERLING, M, 2005. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de efluente*. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA. UFMG. SEGRAC.
29. WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2015. *Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040*. World Resources Institute, [S. l.], p. 1-3, 26 ago. 2015. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040>. Acesso em: 17/09/2020.
30. WORLD ECONOMIC FORUM, 2019. *Global Risks Report*. Geneva, ed. 14, p. 1-114, 2019.
31. ZAHARIA, C, 2017. *Decentralized wastewater treatment systems: Efficiency and its estimated impact against onsite natural water pollution status. A Romanian case study*. Process Safety and Environmental Protection, v. 108, p. 74–88.