



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS VIEIRA CARVALHO

**ASPECTOS TÉCNICOS E EFICIÊNCIA DE UM REATOR EM BATELADA
SEQUENCIAL (SBR) PARA TRATAMENTO DE ESGOTO RESIDENCIAL**

JOÃO PESSOA – PB
NOVEMBRO DE 2017

MATHEUS VIEIRA CARVALHO

**ASPECTOS TÉCNICOS E EFICIÊNCIA DE UM REATOR EM BATELADA
SEQUENCIAL (SBR) PARA TRATAMENTO DE ESGOTO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal da
Paraíba, como pré-requisito para a obtenção
do título de graduado em Engenharia Civil
pela mesma instituição acadêmica.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa
Athayde Júnior.

JOÃO PESSOA – PB
NOVEMBRO DE 2017

C331a Carvalho, Matheus Vieira

Aspectos técnicos e eficiência de um Reator em Batelada Sequencial (SBR) para tratamento de esgoto residencial./ Matheus Vieira Carvalho. – João Pessoa, 2017.

51f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I – UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Esgoto 2. Tratamento 3. Eficiência 4. Poluentes 5. Reator em Batelada Sequencial I. Título.

BS/CT/UFPB

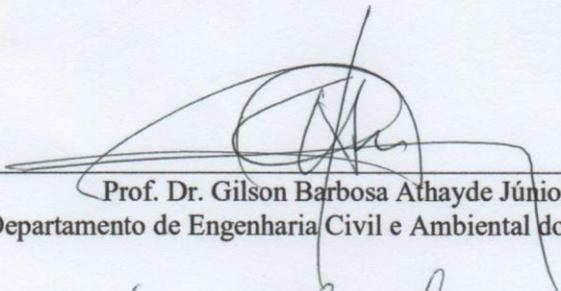
CDU: 2.ed. 628.1(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

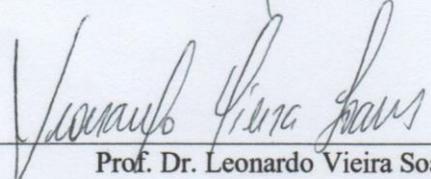
MATHEUS VIEIRA CARVALHO

ASPECTOS TÉCNICOS E EFICIÊNCIA DE UM REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (SBR) PARA TRATAMENTO DE ESGOTO RESIDENCIAL

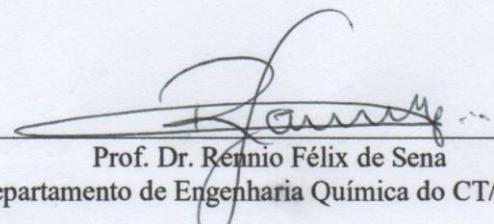
Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 28 de novembro de 2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:


Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

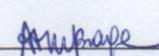
APROVADO


Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO


Prof. Dr. Rennio Félix de Sena
Departamento de Engenharia Química do CT/UFPB

APROVADO


Prof.^a Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso aos meus pais e à minha família, que sempre me incentivaram a estudar para que eu pudesse ter uma carreira acadêmica e profissional brilhante.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Fernando Luís Vieira de Sousa e Terezinha de Jesus Carvalho de Oliveira Vieira, que, desde minha infância, souberam-me educar, ensinar e orientar para os desafios da vida, sempre incentivando a estudar, fazendo o possível para que eu e minha irmã tivéssemos o conforto necessário para o nosso desenvolvimento intelectual. Agradeço em especial à minha mãe, pelo seu tempo dedicado às correções de minhas atividades de escola na minha infância e na adolescência, além das grandes horas dedicadas a estudar junto comigo.

A todos os meus familiares que sempre ajudaram meus pais em momentos de dificuldade, em especial a minha tia Maria de Nazaré, que foi como uma espécie de segunda mãe para meu pai quando ele saiu do interior da Paraíba, e a minha tia Maria de Lourdes, que sempre nos ajudou em momentos de dificuldade. Também destaco e agradeço ao esforço de meus avós paternos Isabel e Manoel e maternos Maria do Carmo e Daniel, *in memoriam*, em dar boa educação aos meus pais e tios, construindo famílias baseadas em princípios éticos.

Ao meu primo João Ernandes Júnior, *in memoriam*, pela companhia na infância e adolescência. Também agradeço aos meus primos Vinícius e Vitor, pelas conversas e ajudas em momentos descontraídos e importantes para minha vida. Aos meus amigos de faculdade Pedro Egídio Pimentel Furlanetto e Philippe Alexandre Souza Santos pelos estudos em grupo ao longo de cinco anos da graduação na Universidade Federal da Paraíba. Às minhas amigas Bárbara Dantas e Graziela Lopes por terem me prestigiado na apresentação deste Trabalho de Conclusão de Curso, realizada no dia 28 de novembro de 2017.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), ao *Bundesministerium für Bildung und Forschung* (BMBF, em português: Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha) e ao Projeto *Brazil Managed Aquifer Recharge* (BRAMAR), que financiaram as instalações do Reator em Batelada Sequencial (SBR) na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), favorecendo o desenvolvimento desta pesquisa e Trabalho de Conclusão de Curso. Ao professor Gilson Barbosa Athayde Júnior, meu orientador, que indicou minha participação ao Projeto BRAMAR, dando condições para eu desenvolver este trabalho acadêmico. Aos meus amigos de projeto Georg Knie, Vera Kohlgrüber, Sanda, Rayna-Eva, Rainer, Camila Porto, Mariko Carneiro, Rebecca Vanielly e Maria Clara e à técnica de laboratório Simone pela ótima companhia e o bom trabalho em equipe desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e durante as análises de laboratório. Aos professores da Comissão Julgadora Leonardo Vieira Soares e Rennio Félix de Sena, por terem sugerido as devidas correções a serem feitas para a entrega final à biblioteca universitária, deste Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

CARVALHO, M. V. (2017). **Aspectos técnicos e eficiência de um Reator em Batelada Sequencial (SBR) para tratamento de esgoto residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

O Reator em Batelada Sequencial (SBR) é um equipamento que usa o processo de lodo ativado para o tratamento de efluentes líquidos residenciais. Essa técnica para tratar esgoto consiste em coletar as águas residuais brutas e realizar a aeração das mesmas, utilizando energia elétrica, com o intuito de acelerar a decomposição da matéria orgânica presente, pois a oxigenação da água será alta, favorecendo a alimentação dos microrganismos, degradando assim os compostos orgânicos. No Brasil, em 2015, apenas 50,3 % das pessoas tinham acesso às redes coletoras de esgoto, enquanto que 42,67 % do esgoto produzido passava por alguma espécie de tratamento, portanto o Reator em Batelada Sequencial (SBR) surge como uma opção que pode ser utilizada pelas residências brasileiras. O presente trabalho acadêmico teve como objetivo de analisar o funcionamento do Reator em Batelada Sequencial (SBR) e verificar a sua eficiência na remoção de poluentes. Os parâmetros de poluição analisados foram as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$) dos efluentes bruto e o tratado. Finalizada a verificação da eficiência do sistema, fez-se uma comparação entre os resultados obtidos em ensaios de laboratório com os parâmetros legais de descarte de efluentes pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Feita as análises estatísticas dos parâmetros de poluição, concluiu-se que o Reator em Batelada Sequencial (SBR) gera um esgoto tratado que atende às legislações brasileiras para descarte de efluentes e que sua eficiência se encontra dentro dos valores esperados pelo fabricante. A eficiência média na remoção da concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) foi de 94,61 %, enquanto que para a Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi de 86,92 % e Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$) 83,94 %. Nenhum dos resultados de amostras desobedeceram ao limite máximo, imposto pelo CONAMA, de 120 mg/L de concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) e nem o de 20 mg/L para Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$). Foram também citados o custo de aquisição do aparelho e o consumo médio de energia utilizado pelo mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Reator em Batelada Sequencial; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Demanda Química de Oxigênio; Nitrogênio Amoniacal; Esgoto Bruto; eficiência; efluente.

ABSTRACT

CARVALHO, M. V. (2017). **Technical aspects and efficiency of a Sequencing Batch Reactors (SBR) for residential sewage treatment.** Completion of coursework. Civil Engineering. Federal University of Paraíba, João Pessoa, 2017.

The Sequencing Batch Reactors (SBR) is a small wastewater treatment that uses the activated sludge process for the treatment of residential liquid effluents. This technique is used to treat sewage consists of collecting the raw wastewater and aerating it using electric energy in order to accelerate the decomposition of the organic matter present, as the oxygenation of the water will be high favoring the feeding of the microorganisms and degrading thus the organic compounds. In Brazil in 2015 only 50.3 % of the people had access to the sewage collection networks, while 42.67 % of the sewage produced went through some sort of treatment, so the Sequencing Batch Reactors (SBR) appears as an option which can be used by Brazilian households. The objective of this coursework was to analyze the operation of the Sequencing Batch Reactors (SBR) and verify its efficiency in the removal of pollutants. The pollutant parameters analyzed were concentrations of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD) and Ammonia Nitrogen (N-NH₄⁺) of the raw and treated effluents. After the verification of the efficiency of the system, a comparison was made between the results obtained in laboratory tests with the legal parameters of effluent disposal by the National Environment Council (CONAMA) resolution. After the statistical analysis of the pollution parameters, it was concluded that the Sequencing Batch Reactors (SBR) generates a treated sewage that complies with the Brazilian legislation for effluent disposal and that its efficiency is within the values expected by the manufacturer. The average efficiency in the removal of the concentration of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) was 94.61 % while for Chemical Oxygen Demand (COD) was 86.92 % and for Ammonia Nitrogen (N-NH₄⁺) was 83.94 %. None of the sample results disobeyed the maximum limit imposed by CONAMA of 120 mg/L of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) and 20 mg/L of Ammonia Nitrogen (N-NH₄⁺). The cost of purchasing the appliance and the average energy consumption used by it were taken into account.

KEYWORDS: Sequencing Batch Reactors; Biochemical Oxygen Demand; Chemical Oxygen Demand; Ammonia Nitrogen; raw wastewater; efficiency; effluent; sewage.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. OBJETIVO GERAL	15
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2. JUSTIFICATIVA	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. ESGOTO BRUTO (EB)	16
2.2. IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO	16
2.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO ₅)	17
2.4. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	18
2.5. NITROGÊNIO AMONÍACAL (N-NH ₄ ⁺)	18
2.6. SISTEMA PREDIAL DE ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL	18
2.7. REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (SBR)	19
3. METODOLOGIA	21
3.1. ÁREA DE ESTUDO	21
3.2. REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (SBR)	24
3.3. ANÁLISES DE LABORATÓRIO	26
3.3.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO ₅)	27
3.3.2. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	29
3.3.3. NITROGÊNIO AMONÍACAL (N-NH ₄ ⁺)	32
3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
4. RESULTADOS	35
4.1. LEITURAS DE LABORATÓRIO E EFICIÊNCIA	35
4.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO ₅)	36
4.1.2. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	38
4.1.3. NITROGÊNIO AMONÍACAL (N-NH ₄ ⁺)	41
4.2. COMPARAÇÃO COM SISTEMA TRADICIONAL BRASILEIRO	43
4.3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	45
4.4. CUSTO DE AQUISIÇÃO DO SISTEMA	46
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Reator em Batelada Sequencial (SBR) antes da operação	20
Figura 02: Reator em Batelada Sequencial (SBR) em operação	20
Figura 03: Localização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Mangabeira	22
Figura 04: Localização da bomba submersível instalada	22
Figura 05: Tanque de armazenamento do efluente bombeado para o SBR	23
Figura 06: Esquema operacional do Reator em Batelada Sequencial (SBR)	24
Figura 07: Esquema tridimensional do SBR	25
Figura 08: Garrafa para determinação de DBO_5	27
Figura 09: Recipiente de borracha	27
Figura 10: Kit completo do aparelho básico de DBO_5	28
Figura 11: Reator para Digestão de DQO em operação	30
Figura 12: Frasco de variação LR	30
Figura 13: Frasco de variação HR	30
Figura 14: Barra de tubos	31
Figura 15: Espectrofotômetro em operação	32
Figura 16: Reagente Nessler	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Concentração da DBO ₅ ao longo das análises realizadas	37
Gráfico 02: Eficiência na remoção da DBO ₅ ao longo das análises realizadas	38
Gráfico 03: Concentração da DQO ao longo das análises realizadas	40
Gráfico 04: Eficiência na remoção da DQO ao longo das análises realizadas	40
Gráfico 05: Concentração de N-NH ₄ ⁺ ao longo das análises realizadas	42
Gráfico 06: Eficiência na remoção de N-NH ₄ ⁺ ao longo das análises realizadas	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Tradução dos termos em inglês da Figura 05	25
Tabela 02: Parâmetros esperados de eficiência do SBR	26
Tabela 03: Volume de amostra e dosagem de ATH em relação à faixa de medição de DBO ₅	27
Tabela 04: Dias de coletas e ensaios de laboratório	35
Tabela 05: Resultados das análises de laboratório para a DBO ₅	36
Tabela 06: Resultados das análises de laboratório para a DQO	39
Tabela 07: Resultados das análises de laboratório para o N-NH ₄ ⁺	41
Tabela 08: Eficiência na remoção de poluentes dos sistemas tradicionais brasileiros	44
Tabela 09: Parâmetros estatísticos da operação do SBR	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATH	Inibidor de Nitrificação
BRAMAR	Projeto <i>Brazil Managed Aquifer Recharge</i>
C	Molécula de Carbono
Cagepa	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CI	Caixa de Inspeção
CO ₂	Gás Carbônico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Centro de Tecnologia
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EB	Esgoto Bruto
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KOH	Hidróxido de Potássio
LAB	Lodo Ativado por Batelada
LTC	Laboratório de Tecnologia Química
N	Molécula de Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
NO ²⁻	Nitritos
NO ³⁻	Nitratos
N-NH ₄ ⁺	Nitrogênio Amoniacal
O ₂	Gás Oxigênio
SBR	Reator em Batelada Sequencial, em inglês: <i>Sequencing Batch Reactors</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos EUA, em inglês: <i>US Environmental Protection Agency</i>

1. INTRODUÇÃO

É inegável a importância do tratamento de efluentes resultantes de sistemas de esgotamento sanitário para a sociedade e o meio ambiente, principalmente para a conservação dos cursos d'água. Um dos grandes desafios da atualidade é garantir a segurança e eficiência na coleta e tratamento dos esgotos, de modo a evitar grandes índices de poluição. Entretanto, para se realizar essas atividades, necessita-se de investimentos, vindos geralmente do poder público, para se instalar e ter um sistema de rede de coleta de esgoto que garanta o atendimento de quase toda a população urbana e estações de tratamento de esgotos em número suficiente.

Constata-se que, no Brasil, ao longo do processo histórico e de urbanização, houve uma preocupação inicial do poder público em garantir o abastecimento de água tratada para a população, deixando-se de lado possíveis soluções de coleta e tratamento das águas residuais. Todavia, em 2007, com a sanção da Lei 11.445 (Lei do Saneamento Básico) pelo então Presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva, previu-se a universalização dos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, obrigando os municípios a elaborarem um plano municipal para esse setor. Paralelo a isso, em 2013, foi divulgado o plano nacional de saneamento básico com o intuito de alavancar o desenvolvimento desse campo.

Em 2015, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), através do Estudo Trata Brasil, o índice de brasileiros atendidos com abastecimento de água tratada é de 83,3 %, enquanto que apenas 50,3 % de nossos compatriotas tem acesso a rede de coleta de esgoto, ou seja, quase metade dos brasileiros descartam o esgoto no meio ambiente de maneira inadequada, poluindo os cursos d'água, ou usam sistema de tanque séptico e fossa sumidouro. Além disso, segundo o mesmo estudo, apenas 42,67 % do esgoto produzido no país passam por algum processo de tratamento.

Com isso, verifica-se ainda a necessidade de ampliação e melhoramento do sistema de tratamento de esgoto. O descarte irregular e ilegal de efluentes na natureza é responsável pela poluição dos cursos d'água, causando desequilíbrio na cadeia alimentar do ambiente, além de ser um condicionante à propagação de doenças de veiculação hídrica aos seres humanos (IBGE, 2010). Além disso, cria-se dificuldade no tratamento de água para abastecimento humano, caso alguma fonte poluidora entre em contato com os corpos d'águas.

Observa-se que as áreas rurais carecem mais de serviços de saneamento básico, pois geralmente encontram-se distantes dos sistemas de coleta de esgoto. Estima-se que países em desenvolvimento possuam 82 % de suas áreas rurais sem acesso a serviços de saneamento básico, enquanto que nas zonas urbanas a estimativa é de 25 % (MASSOUD *et al.*, 2009).

1.1. OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em: geral e específicos. No primeiro, descreve-se a meta principal deste Trabalho de Conclusão de Curso, enquanto que o outro os objetivos secundários.

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Verificar a eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$) de um Reator aerado em Batelada Sequencial (SBR) tratando esgoto sanitário e o atendimento aos padrões de lançamento de efluente da Resolução CONAMA nº 430/2011 para esses parâmetros.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a eficiência de remoção da concentração de alguns poluentes do Reator em Batelada Sequencial (SBR) com as dos sistemas tradicionais de tratamento individual de esgoto mais utilizado no Brasil (conjuntos com fossas sépticas);
- Comparar a eficiência, obtida neste experimento, do Reator em Batelada Sequencial (SBR) com a aquela esperada pelo fabricante do equipamento;
- Discorrer sobre o custo de aquisição e o consumo energético do equipamento.

1.2. JUSTIFICATIVA

A importância deste Trabalho de Conclusão de Curso se encontra na busca de um sistema de pequenas dimensões alternativo que inicie um processo de tratamento de esgoto residencial de maneira eficiente e economicamente viável. A ideia de se possuir um sistema residencial nesses padrões seria ideal para regiões em não há rede coletora de esgotos ou que em as estações de tratamento de esgotos estejam com capacidade de trabalho esgotada.

Em regiões rurais, onde dificilmente há rede coletora de esgoto, esse sistema poderia ser usado ao invés do sistema tanque séptico e fossa sumidouro, por exemplo, principalmente em áreas que fazem coleta de água potável através de poços artesianos, evitando assim a geração de uma fonte com potencialidade poluidora para os lençóis freáticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o entendimento do funcionamento e eficiência do Reator em Batelada Sequencial (SBR), faz-se necessário à conceituação de termos que estarão em evidência em todo este Trabalho de Conclusão de Curso. Tais conceitos serão: Esgoto Bruto (EB), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$). Ainda, para melhor compreensão, será abordado também a Importância do Tratamento de Esgoto e o funcionamento do Sistema Predial de Esgoto Sanitário no Brasil.

2.1. ESGOTO BRUTO (EB)

De acordo com a norma técnica NBR 9648 (ABNT, 1986), define-se esgoto doméstico como resíduo líquido resultante de águas consumidas para a higiene e necessidade fisiológicas humanas. A denominação Esgoto Bruto (EB) se deve ao fato do efluente não passar por quaisquer tipos de tratamento. O efluente residual residencial é um tipo de Esgoto Bruto (EB) caso o mesmo não seja tratado antes de chegar às Estações de Tratamento.

Na presente análise de caso, o Esgoto Bruto (EB) utilizado será o efluente que chegará à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Mangabeira, da cidade de João Pessoa – PB. O resíduo líquido será coletado após a saída da calha Parshall presente na localidade. Esse efluente estará simulando um esgoto doméstico, pois o resíduo líquido que chega à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é predominantemente residencial, embora que este receba contribuições de águas parasitárias pluviais, o que não ocorre em um sistema de uma residência.

2.2. IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO

Indubitavelmente, o tratamento de esgoto se faz importante e necessário para a conversação do meio ambiente, principalmente os corpos aquáticos, e a preservação das condições de higiene e saúde para a população humana. O esgoto é composto basicamente de água, responsável por aproximadamente 99,9 % de sua massa, e sólidos, 0,1 %, nos quais podemos encontrar uma grande quantidade de matéria orgânica que precisa passar por um processo de decomposição. Nesse tipo de efluente, encontram-se também microrganismos (vírus, bactérias, vermes e protozoários) responsáveis pela transmissão de doenças, como esquistossomose, leptospirose, cólera e piодermite (Instituto Pensamento Verde, 2013).

A existência das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e as redes coletoras de esgoto são de fundamental importância para o saneamento básico. Nesses locais, o efluente passará por processos biológicos, químicos e físicos para que a matéria orgânica existente no resíduo líquido passe por um processo de decomposição. Ao final desse processo, o esgoto tratado deve estar dentro dos parâmetros de saúde e ambiental da Resolução CONAMA nº 430/2011 (Instituto Pensamento Verde, 2013).

Um grande desafio para o poder público no quesito do Tratamento de Esgoto é o fato disso demandar um processo de vários dias, tornando-se assim relativamente caro. Estima-se um investimento de 0,04 % do PIB brasileiro para realizar essa atividade (Instituto Pensamento Verde, 2013). Entretanto, apesar de necessitar um elevado investimento público, há inúmeros benefícios que um sistema de coleta e tratamento de esgoto podem trazer à sociedade.

As grandes metrópoles brasileiras, que padecem dos problemas de assoreamento dos rios, provocando enchentes em épocas de chuva, podem ser beneficiadas diretamente por um sistema de coleta e tratamento de esgoto, por exemplo, evitando prejuízos financeiros, humanas, materiais e ambientais durante as cheias fluviais. Além disso, áreas litorâneas poluídas podem ser recuperadas por um sistema de saneamento básico eficiente, podendo futuramente gerar um ponto turístico e de lazer para a população, movimentando assim a economia regional.

2.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO₅)

Seguindo a linha de raciocínio da presença da matéria orgânica em esgotos e a sua necessidade de ser degradada, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) tem como objetivo medir a concentração, de gás oxigênio (O₂) dissolvido consumido, sob condições aeróbicas, para a oxidação da matéria orgânica biodegradável. Todo tipo de substância que pode ser consumida como alimento, sendo fonte de energia para microrganismos, é considerada matéria orgânica biodegradável. Logo, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) quantifica o grau de poluição de corpos aquáticos por material orgânico (SOUZA, Líria Alves de, *s.d.*).

O processo de decomposição da matéria orgânica biodegradável ocorre basicamente através da anexação do gás oxigênio (O₂) às moléculas de carbono (C) e nitrogênio (N). Com isso, os compostos carbonáceos são transformados em gás carbônico (CO₂), enquanto que os nitrogenados são convertidos em nitratos (NO³⁻) e nitritos (NO²⁻). Por isso, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) é de fundamental importância para as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), pois esse parâmetro é usado para estimar a quantidade necessária de oxigenação (processo aeróbico) do efluente para degradar a matéria orgânica.

2.4. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

É inegável o fato da existência de matéria orgânica presente nos esgotos domésticos. Para que a mesma seja decomposta, é necessário oxidá-la e isso vai demandar concentrações de oxigênio para degradar a matéria orgânica. A Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede a concentração, geralmente expressa em mg/L, de gás oxigênio (O_2) dissolvido consumido, por meios químicos, para a decomposição da matéria orgânica, biodegradável ou não. Essa medição deve ser feita em meio ácido que acelerará a degradação da matéria orgânica. Esse parâmetro tem maior importância na avaliação de esgotos industriais (SOUZA, Líria Alves de, *s.d.*).

2.5. NITROGÊNIO AMONIAL (N-NH₄⁺)

É comum encontrar-se moléculas de nitrogênio (N) na composição química dos esgotos. Os compostos à base deste elemento químico são responsáveis pelo desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela depuração biológica, pois o nitrogênio (N) é um importante nutriente para o crescimento desses seres em corpos aquáticos. Um grande problema para ambientes de água, caso seja identificada uma grande quantidade de nitrogênio (N), é a eutrofização, causada pela presença maciça de algas e plantas aquáticas usando esse elemento químico como fonte de energia. Em meios aquáticos, o nitrogênio pode ser encontrado em forma de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) (FERNANDES, Carlos, 1997).

Nos efluentes sanitários, ocorre, paralelamente à degradação da matéria orgânica por meios aeróbicos, a decomposição de proteínas presentes no substrato por uma digestão anaeróbica, convertendo-se em nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) (BORGES *et al.*, 2014). Quando encontrado em altas concentrações, o nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) torna-se muito tóxico para seres vivos aquáticos, provocando um desequilíbrio da cadeia alimentar, resultando em elevadas taxas de mortalidade que vão desde microrganismos até peixes de grande porte.

2.6. SISTEMA PREDIAL DE ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL

Indubitavelmente, o esgoto é um resíduo produzido comumente pelos ambientes utilizados pelos seres humanos que possuam um sistema de abastecimento de água. Por causa disso, as edificações possuem um sistema predial de esgoto com o intuito de drenar as águas residuais, fazendo-as o descarte apropriado.

No Brasil, os sistemas prediais de esgoto sanitário geralmente utilizam um sistema de tanque séptico com uma alternativa para a disposição final do líquido, caso não possua rede coletora de esgoto nas adjacências da edificação. Caso haja o sistema de coleta, o esgoto predial deve ser conectado ao mesmo, através de uma tubulação entre a última Caixa de Inspeção (CI) à rede coletora (ABNT NBR 7229, 1993).

Segundo a norma técnica que rege os sistemas de tanques sépticos no Brasil (ABNT NBR 7229, 1993), caso uma edificação tenha um sistema de tanque séptico, elas possuem finitas alternativas, após a passagem do líquido pelo tanque séptico, para tratamento complementar e disposição final do líquido residual. Algumas das opções de tratamentos complementares são: filtro anaeróbio submerso, filtro aeróbio, filtro de areia, vala de filtração, lodo ativado por batelada (*sigla: LAB*, mesmo sistema em estudo neste presente trabalho acadêmico) e lagoa com plantas. Para a disposição final, têm-se as possibilidades de: poço absorvente, vala de infiltração, escoamento superficial, corpo de água e sistema público.

Segundo Ávila (2005), um conjunto de tanque séptico com filtro anaeróbio com diferentes meios de suportes possui uma eficiência média entre 48,7 % e 58,3 % na remoção da concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), enquanto que, para a Demanda Química de Oxigênio (DQO), esse valor é entre 46,5 % e 55,1 %. Já segundo Souza (2014), filtros anaeróbios, com diferentes meios de suporte, que possuam um dispositivo limitador de picos de vazão, resultada em um efluente tratado com uma concentração de Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$) entre os valores de 20 mg/L e 40 mg/L, valores acima dos padrões de descarte da Resolução CONAMA nº 430/2011, com eficiência média entre 31,5 % e 32,8 % na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), enquanto que, para a Demanda Química de Oxigênio (DQO), esse valor é entre 40,3 % e 43,3 %.

2.7. REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (SBR)

Conhecido internacionalmente como *Sequencing Batch Reactors* (SBR), o Reator em Batelada Sequencial é aquele no qual há um processo de lodo ativado para o tratamento de esgoto. Nesse sistema de tratar águas residuais, há um mecanismo que utiliza energia elétrica para realizar o aborbulhamento do gás atmosfera no resíduo líquido. O intuito disso é a oxigenação do esgoto, ativando assim o lodo, para favorecer a decomposição da matéria orgânica presente no líquido, reduzindo assim as concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Figura 01: Reator em Batelada Sequencial (SBR) antes da operação.



Fonte: do professor orientador (2017).

O funcionamento básico do Reator em Batelada Sequencial (SBR) consiste em uma divisão de dois compartimentos, no qual o primeiro fica responsável por receber o efluente bruto, enquanto que o segundo o tratado. No primeiro compartimento, há uma divisão em dois tanques: o de purificação preliminar e o do reator. O primeiro tem a função de promover um tratamento preliminar, como a decantação dos sólidos presentes no esgoto, enquanto que o segundo visa promover a aeração da água residual e a ativação do lodo como forma de tratamento principal. Ao final do processo de tratamento, a aeração se cessa para promover a saída do efluente tratado do tanque reator e, após isso, iniciar um novo ciclo de tratamento.

Figura 02: Reator em Batelada Sequencial (SBR) em operação.



Fonte: do autor (2017).

3. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho acadêmico, fez-se uma simulação do funcionamento de um Reator em Batelada Sequencial (SBR), utilizando o efluente líquido bruto (EB) que chega a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Devido às dimensões do equipamento para o experimento, simulou-se um tratamento de esgoto produzido por uma unidade residencial unifamiliar, da ordem de 0,900 m³/dia de efluente líquido produzido. O valor desta vazão média diária foi obtido considerando-se uma residência (entre padrão médio e alto) na qual moram 6 pessoas. De acordo com a Tabela 3 da NBR 13969 (ABNT, 1997), a contribuição diária de despejos em um tanque séptico de uma residência entre padrões médio e alto é entre 130 e 160 litros diários por pessoa, então, considerou-se uma vazão per capita de 150 L/dia. Portanto, o volume de esgoto a ser tratado pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR) foi calculado assim:

$$Q_D = n \times C_p \quad (1)$$

$$Q_D = 6 \text{ pessoas} \times 150 \text{ L}/(\text{pessoa} \cdot \text{dia}) \quad (2)$$

$$Q_D = 900 \text{ L}/\text{dia} \quad (3)$$

Em que:

- Q_D é a vazão diária de esgoto a ser tratado;
- n é o número de pessoas que moram na residência;
- C_p é a contribuição diária de despejos per capita.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O local do experimento do Reator em Batelada Sequencial (SBR) foi na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do bairro de Mangabeira, na cidade de João Pessoa (Paraíba). Sua entrada se localiza na Rua Evanildo Barbosa de Araújo, s/n. O local se encontra sob responsabilidade da Cagepa, Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.

Nesta Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), há três sistemas com lagoas anaeróbias e de estabilização, além de estar prevista a construção de mais um deles. O esgoto da cidade de João Pessoa chega através de três tubulações destinada uma para cada sistema. Chegando à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o efluente líquido passa por um tratamento preliminar, grade e caixa de areia, com o objetivo de reter sólidos em grande quantidade. Após isso, o esgoto atravessa a Calha Parshall, local onde se mede a vazão, destinando-se para os sistemas de lagoas anaeróbias, onde ocorrerá a degradação da matéria orgânica.

Figura 03: Localização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Mangabeira.



Fonte: Google Earth (2017).

Para o funcionamento do Reator em Batelada Sequencial (SBR), fez-se necessário a instalação de uma bomba submersível de esgoto entre a Calha Parshall e a primeira lagoa anaeróbica com o intuito de realizar o bombeamento do efluente líquido para um tanque instalado próximo ao equipamento em estudo. A cada 3 horas, era realizado esse bombeamento, iniciando-se diariamente às 07:00 e terminando às 19:00, completando 5 ciclos diários.

Figura 04: Localização da bomba submersível instalada.



Fonte: do autor (2017).

Chegando ao tanque instalado próximo ao equipamento, o efluente líquido desce para o primeiro compartimento do Reator em Batelada Sequencial (SBR) quando a válvula da tubulação abrir. Essa abertura ocorre quando o bombeamento se cessa e o nível de esgoto no

tanque atinja uma altura no tanque equivalente a 180 litros, volume do resíduo líquido que representa 1/5 (um quinto) do volume diário estimado da residência unifamiliar deste projeto. Atingido o nível, a boia instalada no tanque acionará o relé para abertura da válvula e o fechamento do circuito de bombeamento da bomba submersível instalada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Calculou-se o volume de esgoto de cada ciclo de funcionamento do Reator em Batelada Sequencial (SBR), através da seguinte relação:

$$V_{CICLO} = \frac{Q_D}{\eta} \quad (4)$$

$$V_{CICLO} = \frac{900 \text{ L/dia}}{5 \text{ dia}^{-1}} \quad (5)$$

$$V_{CICLO} = 180 \text{ L} \quad (6)$$

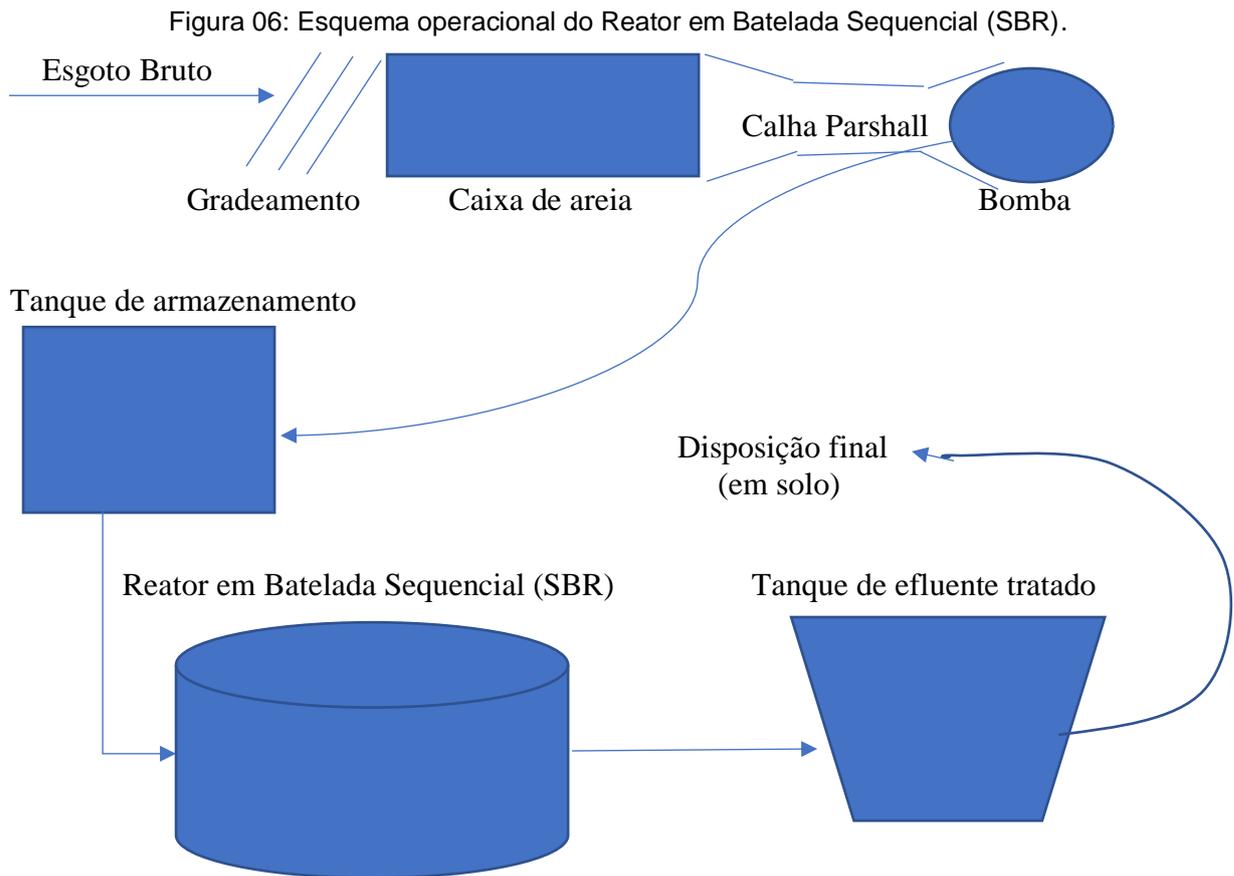
Em que:

- V_{CICLO} é o volume de cada ciclo de descarga;
- Q_D é a vazão diária de esgoto a ser tratado;
- η é o número de ciclos diários.

Figura 05: Tanque de armazenamento do efluente bombeado para o SBR.



Fonte: do autor (2017).



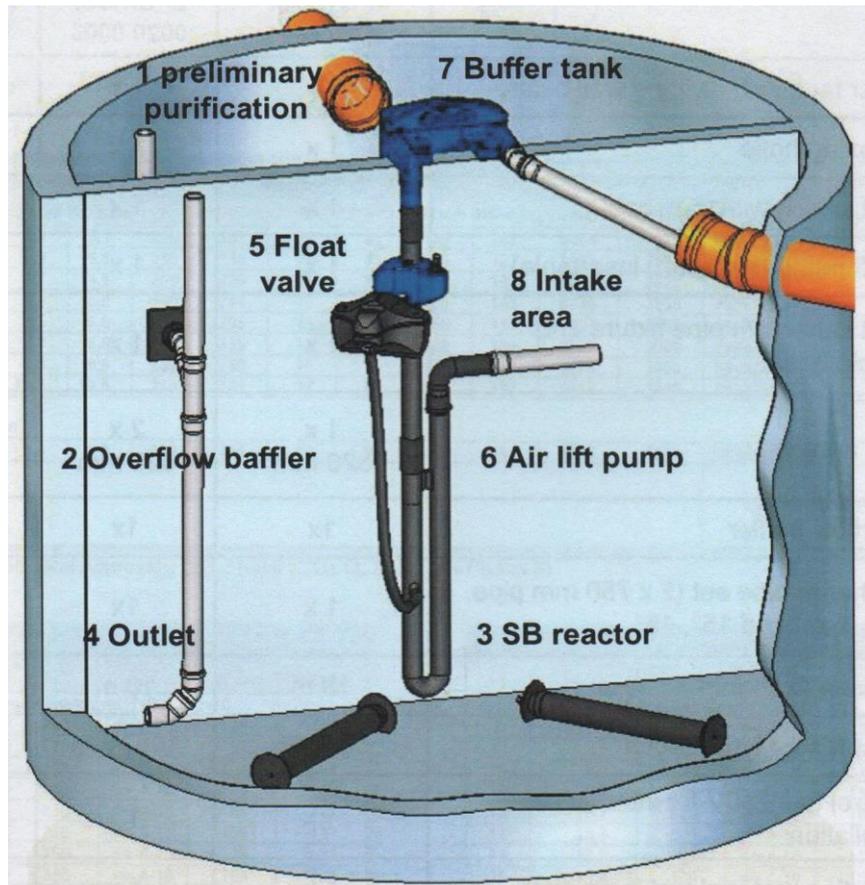
Fonte: do autor (2017).

3.2. REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (SBR)

No tanque do Reator em Batelada Sequencial a (SBR) há duas divisões: compartimento de purificação preliminar e compartimento de tratamento. O funcionamento do sistema inicia-se com a chegada do esgoto ao compartimento de purificação preliminar para ser realizado o pré-tratamento de purificação mecânica. Em seguida, o efluente pré-tratado é conduzido pelo orifício de transbordamento em direção à área inferior do compartimento de tratamento do Reator em Batelada Sequencial (SBR). A fim de evitar possíveis turbulências no lodo ativado, durante a fase de sedimentação ou da remoção do efluente tratado, a saída do orifício de transbordamento é direcionada para a parede externa do tanque.

Quando o esgoto atinge seu nível máximo no compartimento de tratamento, a boia do sistema dá o comando para se iniciar a fase de sedimentação e retorno do lodo ativado. Então, curtas vibrações feitas na parte inferior do sistema soerguem o excesso de lodo e o transporta para o estágio de pré-tratamento. Em seguida, a bomba de elevação de ar começa a borbulhar ar no esgoto, iniciando o tratamento do mesmo.

Figura 07: Esquema tridimensional do SBR.



Fonte: PUROO, *ATB Umwelttechnologien GmbH* (2014).

Para facilitar o entendimento da Figura 05, a Tabela 01 abaixo explica cada termo.

Tabela 01: Tradução dos termos em inglês da Figura 05.

NÚMERO	INGLÊS	PORTUGUÊS
1	Preliminary purification	Purificação preliminar
2	Overflow baffle	Orifício de transbordamento
3	SB reactor	Reator do SBR
4	Outlet	Saída
5	Float valve	Boia
6	Air lift pump	Bomba de elevação de ar
7	Buffer tank	Tanque de amortecimento
8	Intake area	Área de funcionamento da bomba

Fonte: do autor (2017).

Com a finalização do tratamento através da aeração, a água estará clarificada, então, a saída do compartimento de purificação preliminar é fechada e o esgoto tratado é transportado pela seção de amostra purificada do tanque de amortecimento do Reator em Batelada Sequencial para a saída. O orifício de transbordamento então é mudado para a direção oposta da área de funcionamento da bomba de elevação de ar, evitando assim a mistura água clarificada a ser descartada com o esgoto não tratado. Feito descarte do efluente tratado, o nível de líquido será mínimo e a boia do sistema dá o comando de fazer a aeração, iniciando novo ciclo.

Segundo o manual do fabricante PUROO, ATB Tecnologias Ambientais Ltd. (em alemão: *ATB Umwelttechnologien GmbH*), a capacidade de tratamento do equipamento instalado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do bairro de Mangabeira é de 0,36 kg de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) diários de carga orgânica nominal de poluente, trabalhando a uma entrada média de efluente no sistema de 0,90 m³ diários. Trabalhando nessas condições, espera-se eficiências de 97,9 % para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), 95,1 % para Demanda Química de Oxigênio (DQO) e 98,6 % para Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄⁺). Essas informações estão contidas na Tabela 02.

Tabela 02: Parâmetros esperados de eficiência do SBR.

PARÂMETROS	VALORES
CONDIÇÃO EM ESTUDO	
Capacidade de tratamento	0,36 kg(DBO ₅)/dia
Entrada média de efluente	0,900 m ³ /dia
CAPACIDADE DE REMOÇÃO ESPERADA	
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	97,9 %
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	95,1 %
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	98,6 %

Fonte: PUROO, *ATB Umwelttechnologien GmbH* (2015).

3.3. ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Para o apoio deste Trabalho de Conclusão de Curso, utilizou-se o Laboratório de Tecnologia Química (LTC) do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para se fazer as análises químicas do experimento desenvolvido em estudo. Foram feitas análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄⁺) seguindo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 1999).

Cabe destacar que, ao longo dos 6 meses de análises de laboratórios, foram identificados alguns erros de procedimento de algumas análises, necessitando-se assim do descarte de dados dos dias em que isso ocorreu. Além disso, devido a problemas ocorridos na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o sistema de bombeamento do efluente da Calha Parshall até o Reator em Batelada Sequencial (SBR) estava defeituoso, impedindo a chegada de novas águas residuais até o tanque, provocando a ausência de análises de laboratório. Outro problema identificado foi que, em alguns momentos, a bomba de aeração do Reator em Batelada Sequencial (SBR) não funcionou, descartando-se assim a realização das análises de laboratório.

3.3.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO₅)

O método utilizado para a análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) é o de determinação respirométrica, que consiste de medição através da diferença de pressão em um sistema fechado. Para a realização desse método, o ambiente das amostras já preparadas deve ficar a uma temperatura de 20 ± 1 °C durante um período de 120 ± 2 horas. Para saber o volume de amostra a ser utilizado para a realização dessa análise, deve-se primeiramente ter uma estimativa sobre a previsão de resultado da leitura, baseando-se sempre em leituras anteriores, e depois consultar a Tabela 03.

Tabela 03: Volume de amostra e dosagem de ATH em relação à faixa de medição de DBO₅.

Faixa de medição de DBO ₅ (mg/L)	Volume de amostra (mL)	Dosagem de ATH (gotas)
0 a 40	428	10
0 a 80	360	10
0 a 200	244	5
0 a 400	157	5
0 a 800	94	3
0 a 2000	56	3
0 a 4000	21,7	1

Fonte: Aqua Lytic, Manual de Instruções (2011).

Para a preparação das amostras dos efluentes para a leitura da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), faz-se necessário seguir os seguintes passos:

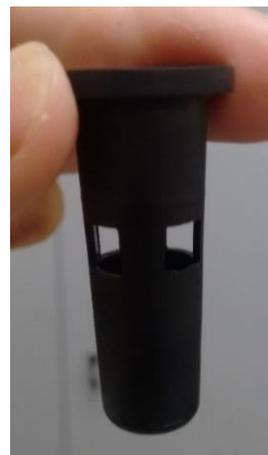
- Homogeneizar as amostras da análise, principalmente aquelas que tenham grandes quantidades de sólidos, como etapa inicial.
- Utilizar balões volumétricos ou proveta para medir o volume da amostra necessário.
- Verificar se as garrafas para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) foram lavadas com uma solução de ácido sulfúrico.

Figura 08: Garrafa para determinação de DBO₅.



Fonte: do autor (2017).

Figura 09: Recipiente de borracha.



Fonte: do autor (2017).

- Certificar se as garrafas estão limpas e sem a interferência o ácido utilizado na lavagem.
- Colocar o volume determinado de cada amostra em garrafas para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5).
- Colocar uma barra magnética em cada garrafa que contenha amostra.
- Adicionar o inibidor de nitrificação, chamado de ATH, de acordo com a quantidade de amostra, segundo a Tabela 03.
- Colocar, em cada recipiente de borracha das garrafas para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), 4 gotas de solução de hidróxido de potássio (KOH).
- Colocar os recipientes de borracha no orifício de entrada de cada uma das garrafas para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5).
- Identificar e fechar as garrafas para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) com os sensores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5).

Portanto, preparadas as amostras, organiza-se os seguintes procedimentos para se obter os resultados corretos de leituras:

- Ligar uma incubadora com uma temperatura constante de 20 °C.
- Colocar o mecanismo e o comando de agitação magnética dentro da incubadora.
- Acoplar o Aparelho Básico de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) ao mecanismo e comando de agitação magnética.
- Acoplar as garrafas para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) aos lugares vazios do Aparelho Básico de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5).

Figura 10: Kit completo do aparelho básico de DBO_5 .



Fonte: OxiDirect - Lovibond (sem data).

- Ligar o Aparelho Básico de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), que se encontrará dentro da incubadora.
- Seguir as instruções do fabricante do Aparelho Básico de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) para informar ao equipamento a quantidade de cada amostra e sua faixa de leitura máxima da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅).
- Deixar as amostras na incubadora por um período de 5 dias a 20 °C.
- Ligar o Aparelho Básico de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) novamente.
- Clicar, no equipamento, no botão de cada posição de garrafa e visualizar e efetuar a leitura do resultado de cada amostra no visor do aparelho.
- Desligar o Aparelho Básico de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e descartar as amostras para ser feita a lavagem das garrafas.
- Lavar as garrafas com ácido sulfúrico para serem utilizadas na próxima análise.

3.3.2. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

Para a realização das leituras de DQO tanto para o Esgoto Bruto (EB) que chega ao Reator em Batelada Sequencial (SBR), quanto para o efluente tratado no equipamento, usou-se o Método da Refluxação Fechada, seguindo, durante a coleta das amostras, os passos:

- Coletar as amostras em garrafas de vidros limpas. Pode-se usar garrafas de plásticos, desde que sejam conhecidas por serem livres de contaminação orgânica.
- Testar biologicamente as amostras ativas o mais rápido possível.
- Homogeneizar as amostras que contenham sólidos para serem representativas.
- Caso deseje preservar as amostras para análise posterior, deve-se ajustar o pH delas para menos de 2,0 com ácido sulfúrico concentrado. Não é necessária a adição de ácido se a amostra for testada imediatamente.
- Manter as amostras preservadas, se for o caso, a uma temperatura entre 2 °C e 6 °C por um período máximo de 28 dias.
- Caso as amostras tenham sido armazenadas, deve-se corrigir o pH de cada uma delas para que sejam menores que 2,0.

Realizada a coleta e/ou armazenagem das amostras, parte-se para a realização da análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO). Para realiza-la, deve-se seguir as instruções:

- Homogeneizar as amostras da análise, principalmente aquelas que tenham grandes quantidades de sólidos.

- Despejar a amostra em um copo de 250 mL logo após a homogeneização.
- Ligar o Reator para Digestão de DQO.
- Pré-aquecer o Reator para Digestão de DQO até uma temperatura de 150 °C, seguindo as instruções de seu manual.

Figura 11: Reator para Digestão de DQO em operação.



Fonte: do autor (2017).

- Selecionar os frascos de variações LR (de 3 a 150 mg/L de DQO) ou HR (de 20 a 1500 mg/L de DQO), aprovados pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em inglês: *Environmental Protection Agency*) para análises de águas residuais (Método Padrão 5220 D, Registro Federal, 21 de abril de 1980), de acordo com possíveis estimativas de resultados.

Figura 12: Frasco de variação LR.



Fonte: do autor (2017).

Figura 13: Frasco de variação HR.



Fonte: do autor (2017).

- Preparar a amostra: remover a tampa do frasco do intervalo selecionado. Segurá-lo em um ângulo de 45°. Usar uma pipeta limpa para adicionar 2 mL de amostra ao frasco.

- Preparar um frasco em branco: realizar o mesmo procedimento do item anterior utilizando 2 mL de água destilada ao invés de amostra de efluente.
- Fechar firmemente todos os frascos, enxaguando-os em seguida e depois limpá-los com papel toalha limpo.
- Segurar os frascos pela tampa sobre uma pia. Invertê-los suavemente várias vezes a fim de homogeneizar as substâncias contidas neles. Ter cuidado com os frascos, pois ficam bem aquecidos após a homogeneização.
- Colocar os frascos no Reator para digestão de DQO pré-aquecido e fechar a tampa deste.
- Aquecer os frascos por duas horas.
- Deixar os frascos arrefecerem por aproximadamente 20 minutos ou até atingir uma temperatura inferior a 120 °C.
- Inverter os frascos várias vezes enquanto os mesmos estiverem quentes.
- Colocar os frascos em uma barra de tubos até esfriarem a uma temperatura ambiente.

Figura 14: Barra de tubos.



Fonte: do autor (2017).

Finalizada a digestão da Demanda Química de Oxigênio (DQO), parte-se a última etapa do procedimento, a leitura dos resultados das amostras utilizando um espectrofotômetro. Para a realização disso, segue-se os tópicos abaixo:

- Ligar o espectrofotômetro e selecionar os programas 430 COD LR ou 435 COD HR, de acordo com o intervalo esperado de cada amostra.
- Limpar o frasco da amostra em branco.
- Inserir o frasco da amostra em branco no suporte da célula do espectrofotômetro.
- Pressionar a tecla “ZERO”. O display deve mostrar um resultado 0 mg/L.
- Limpar o frasco da amostra preparada.
- Inserir o frasco da amostra preparada no suporte da célula do espectrofotômetro.
- Pressionar a tecla “LER”. O display mostrará o resultado na ordem de mg/L.
- Anotar e armazenar os resultados de cada amostra.

Figura 15: Espectrofotômetro em operação.



Fonte: do autor (2017).

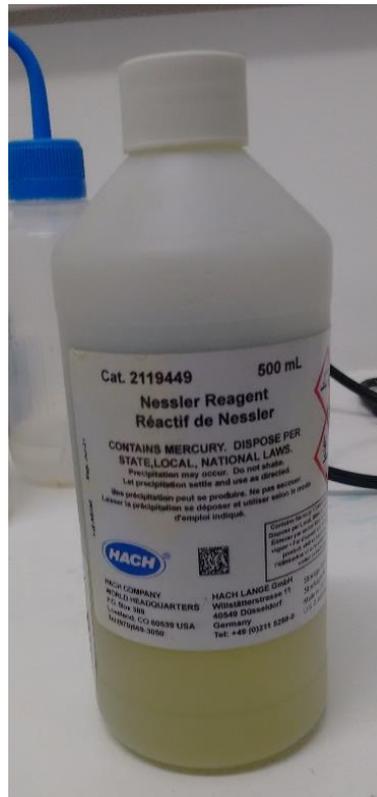
3.3.3. NITROGÊNIO AMONIAICAL ($N-NH_4^+$)

Para a realização das leituras do Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$), usou-se o Método de Nessler, seguindo os passos abaixo:

- Homogeneizar as amostras da análise, principalmente aquelas que tenham grandes quantidades de sólidos, como etapa inicial.
- Ligar o espectrofotômetro e selecionar o programa 380 N.
- Preparar as amostras: encher um cilindro de mistura até o nível de 25 mL com as amostras dos efluentes. Dependendo a margem de leitura do espectrofotômetro, as amostras podem ser diluídas com águas destilada e o resultado da leitura deverá ser multiplicado pelo fator de diluição.
- Preparar o cilindro branco: realizar o mesmo procedimento do item anterior utilizando 25 mL de água destilada ao invés de amostra de efluente.
- Adicionar 3 gotas de Estabilizador Mineral a cada cilindro de amostra.
- Tampar todos os cilindros de amostra, invertendo-os várias vezes de modo a misturar as substâncias presentes neles.
- Abrir as tampas de todos os cilindros e adicionar 3 gotas de Agente de Dispersão de Álcool Polivinílico em cada amostra.

- Tampar todos os cilindros de amostra, invertendo-os várias vezes de modo a misturar as substâncias presentes neles.
- Abrir as tampas de todos os cilindros e usar uma pipeta para adicionar 1,0 mL de Reagente Nessler em cada amostra.
- Tampar todos os cilindros de amostra, invertendo-os várias vezes de modo a misturar as substâncias presentes neles.
- Esperar um minuto após a homogeneização das substâncias nos cilindros.
- Por 10 mL de amostra do cilindro branco na cubeta apropriada ao espectrofotômetro.
- Limpar externamente a cubeta da amostra em branco.
- Inserir a cubeta da amostra em branco no suporte apropriado do espectrofotômetro.

Figura 16: Reagente Nessler.



Fonte: do autor (2017).

- Pressionar a tecla “ZERO”. O display deve mostrar um resultado 0 mg/L.
- Despejar 10 mL da amostra em uma segunda cubeta apropriada ao espectrofotômetro.
- Limpar externamente a cubeta da amostra.
- Inserir a segunda cubeta com a amostra no suporte apropriado do espectrofotômetro.
- Pressionar a tecla “LER”. O display mostrará o resultado na ordem de mg/L.
- Anotar e armazenar os resultados de cada amostra. Caso a amostra tenha sido diluída com água destilada, deve-se multiplicar o resultado da leitura pelo fator de diluição.

3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para os parâmetros de poluentes analisados em laboratório, usou-se os dados obtidos em ensaios laboratoriais para o Esgoto Bruto (EB) e o tratado pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR) a fim de calcular a eficiência do tratamento do efluente pelo equipamento. Esse cálculo foi feito através da relação (7).

$$Eficiência = \frac{Parâmetro_{EB} - Parâmetro_{SBR}}{Parâmetro_{EB}} \times 100 \% \quad (7)$$

Utilizando princípios matemáticos básicos, determina-se a média aritmética para todos os parâmetros analisados em laboratório usando-se a relação (8).

$$Média Aritmética \bar{x} = \frac{\sum_1^n Resultados\ das\ amostras\ x}{Número\ de\ amostras\ n} \quad (8)$$

Para se encontrar o desvio-padrão de cada parâmetro, usou-se (9).

$$Desvio\ Padrão\ s = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

Com os dados estatísticos e laboratoriais em mãos, trabalhou-se, em todas as análises, com um nível de confiança de 90 % para se determinar os intervalos máximos e mínimos, a faixa de variação, das amostras. Com esse nível de confiança, o fator multiplicador do desvio padrão será $Z = 1,645$ e haverá 90 % de chances do resultado de cada parâmetro de poluente estar dentro da faixa de variação. Para se determinar os limites de valores, com 90 % de nível de confiança, usou-se a relação (10).

$$Limites\ dos\ valores = \bar{x} \pm Z \times s = \bar{x} \pm 1,645 \times s \quad (10)$$

Entretanto, em alguns casos, observa-se que o limite mínimo de algum parâmetro de poluente se encontra abaixo do valor zero, além da possibilidade de a eficiência no tratamento ter uma taxa superior a 100,00 %; o que é tecnicamente impossível. Então, para se fazer corretas adequações, adota-se que todos os limites inferiores das concentrações de poluentes devem ser maiores que zero e que os limites da taxa de eficiência devem ser de, no mínimo, 0 % e, no máximo, 100 %, que é o intervalo de eficiência de uma amostra real.

Cabe destacar que, na metodologia para determinação dos intervalos de variação dos parâmetros analisados em laboratório, usou-se os termos “limite máximo” e “limite mínimo” para designar os intervalos calculados pela relação (10). Entretanto, para se fazer devidas adequações, têm-se as expressões “limite superior” e “limite inferior”, que foram usados para designar os intervalos realísticos de cada parâmetro, obedecendo-se as condições técnicas para uma amostra real e excluindo possibilidade de resultados fictícios.

4. RESULTADOS

Os resultados da linha de pesquisa deste Trabalho de Conclusão de Curso foram obtidos através de análises laboratoriais realizadas no Laboratório de Tecnologia Química (LTC), encontrado no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Além disso, foram feitas verificações no funcionamento do Reator em Batelada Sequencial (SBR) na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do bairro de Mangabeira, com o intuito de auxiliar os ensaios de laboratório e discorrer uma análise crítica sobre os mesmos e seus resultados. Para complementar, fez-se uma pesquisa ao Projeto *Brazil Managed Aquifer Recharge* (BRAMAR), responsável pela compra do equipamento, a fim de consultar seu custo de aquisição.

4.1. LEITURAS DE LABORATÓRIO E EFICIÊNCIA

Na Tabela 04, consta-se os dias em que houve coleta do Esgoto Bruto (EB) e do efluente tratado pelo sistema em estudo. Além disso, para cada dia de coleta, tem-se quais os tipos de análises de laboratório, sem erro de leitura, que foram realizadas em sequência.

Tabela 04: Dias de coletas e ensaios de laboratório.

DATAS	DBO₅	DQO	N-NH₄⁺
12/04/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
19/04/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
04/05/2017	Análise realizada	Análise com erro de leitura	Análise com erro de leitura
11/05/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
18/05/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
25/05/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
02/06/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
08/06/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
14/06/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
22/06/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
29/06/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
13/07/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
19/07/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise com erro de leitura
27/07/2017	Análise realizada	Análise com erro de leitura	Análise realizada
03/08/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
09/08/2017	Análise com erro de leitura	Análise realizada	Análise realizada
14/09/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
21/09/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
28/09/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada
05/10/2017	Análise com erro de leitura	Análise realizada	Análise realizada
11/10/2017	Análise realizada	Análise realizada	Análise realizada

Fonte: do autor (2017).

4.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO₅)

Durante os 6 meses de análises químicas no laboratório, foram obtidos os seguintes resultados para as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) para os efluentes brutos (EB), coletados através da tubulação de entrada de esgoto no Reator em Batelada Sequencial (SBR), e os efluentes tratados, coletados na tubulação de saída de água clarificada do sistema, conforme a Tabela 05.

Tabela 05: Resultados das análises de laboratório para a DBO₅.

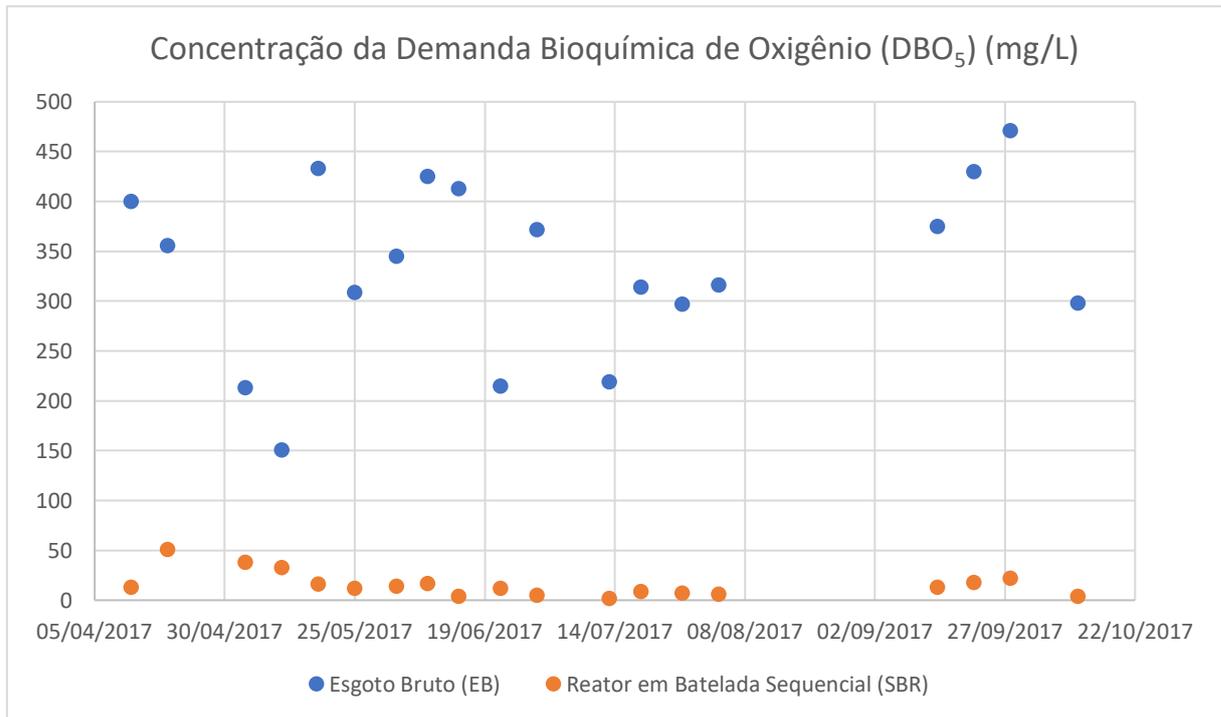
Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) (mg/L)			
Data	Esgoto Bruto (EB)	Reator em Batelada Sequencial	Eficiência (%)
12/04/2017	400	13	96,75%
19/04/2017	356	51	85,67%
04/05/2017	213	38	82,16%
11/05/2017	151	33	78,15%
18/05/2017	433	16	96,30%
25/05/2017	309	12	96,12%
02/06/2017	345	14	95,94%
08/06/2017	425	17	96,00%
14/06/2017	413	4	99,03%
22/06/2017	215	12	94,42%
29/06/2017	372	5	98,66%
13/07/2017	219	2	99,09%
19/07/2017	314	9	97,13%
27/07/2017	297	7	97,64%
03/08/2017	316	6	98,10%
14/09/2017	375	13	96,53%
21/09/2017	430	18	95,81%
28/09/2017	471	22	95,33%
11/10/2017	298	4	98,66%
Média	334,32	15,58	94,61%
Desvio-Padrão	88,17	12,75	5,89%
Limite máximo	479,35	36,55	104,30%
Limite mínimo	189,28	-5,39	84,91%
Limite superior	479,35	36,55	100,00%
Limite inferior	189,28	0,00	84,91%

Fonte: do autor (2017).

De acordo com a Tabela 02, localizada na página 25, a eficiência esperada pelo equipamento para a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) é de 97,9 %, segundo o fabricante. Pode-se observar que a média dos resultados obtidos em laboratório se encontra abaixo desse desempenho esperado, entretanto, o intervalo de variação das análises, a 90 % de nível de confiança, faz com que a eficiência esperada pelo fabricante se encontre dentro desses limites, mostrando-se assim que o equipamento atendeu às expectativas do produtor.

No Gráfico 01, verifica-se a variação da concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) do efluente bruto e do tratado ao longo do tempo.

Gráfico 01: Concentração da DBO₅ ao longo das análises realizadas.

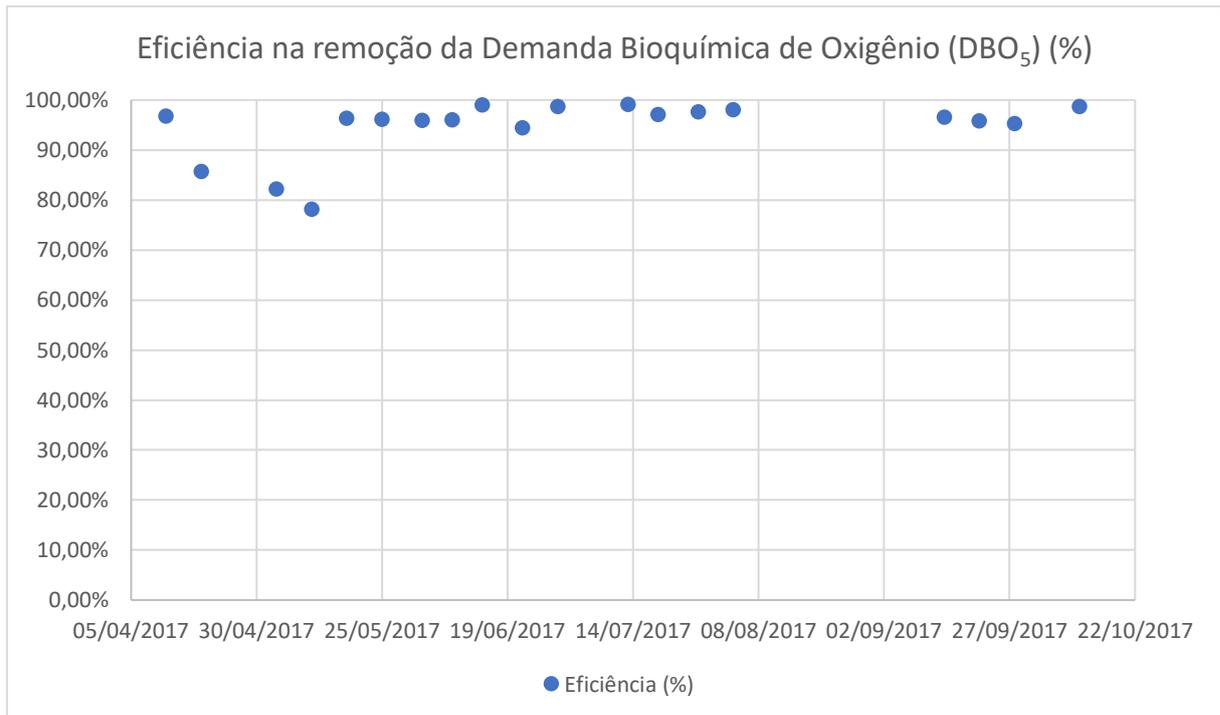


Fonte: do autor (2017).

Observa-se que, ao longo dos 6 meses de análises, a concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) do Esgoto Bruto (EB) variou entre um intervalo de 150 mg/L até 500 mg/L. Isso se deve ao fato de que o efluente que chega à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) recebe contribuições de águas parasitárias pluviais durante a época de chuvas. As coletas realizadas posteriores a precipitações com alta intensidade pluviométrica apresentaram um valor baixo de concentração de poluentes, incluído a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), pois as águas parasitárias pluviais, que entram nas redes coletoras de esgoto da cidade, diluíram os agentes poluidores.

Nota-se que a média aritmética da concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) do Esgoto Bruto (EB) foi de 334,32 mg/L, enquanto que a do efluente tratado foi de 15,58 mg/L. Para o primeiro, a variação do intervalo das amostras, a um nível de confiança de 90 %, foi entre 189,28 mg/L e 479,35 mg/L, enquanto que, para o segundo, os valores ficaram entre 0,00 mg/L e 36,55 mg/L. De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, esse efluente tratado pode ser descartado ao meio ambiente pois apresenta uma concentração inferior a 120 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅).

No Gráfico 02, verifica-se a eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) realizada pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR) ao longo tempo.

Gráfico 02: Eficiência na remoção da DBO₅ ao longo das análises realizadas.

Fonte: do autor (2017).

Observa-se que, no Gráfico 02, três das quatro primeiras análises de eficiência apresentaram valor inferior a 90 %, fora do padrão comum verificado ao longo do tempo. Isso pode estar relacionado ao fato de que, durante as primeiras semanas de operação do equipamento, fez-se necessário fazer alguns ajustes ao sistema, além do fato de que a máquina necessitaria de tempo para produzir lodo ativado em quantidades necessárias para a realização da decomposição da matéria orgânica. Cabe destacar que o Reator em Batelada Sequencial (SBR) começou a operar no mês de abril de 2017 na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Com os resultados das análises de laboratório, verificou-se que a eficiência média da remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) foi de 94,61 %, com um intervalo de variação, a 90 % de nível de confiança, entre 84,91 % e 100,00 %.

4.1.2. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

Ao longo de um semestre de análises químicas realizadas no Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), foram obtidos os seguintes resultados, encontrados na Tabela 06, para as concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) para os Esgoto Bruto (EB) e efluente tratado pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR).

Tabela 06: Resultados das análises de laboratório para a DQO.

Concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L)			
Data	Esgoto Bruto (EB)	Reator em Batelada Sequencial	Eficiência (%)
12/04/2017	843	61	92,76%
19/04/2017	505	130	74,26%
11/05/2017	281	46	83,63%
18/05/2017	663	33	95,02%
25/05/2017	468	39	91,67%
02/06/2017	585	97	83,42%
08/06/2017	675	122	81,93%
14/06/2017	699	114	83,69%
22/06/2017	309	51	83,50%
29/06/2017	182	42	76,92%
13/07/2017	428	17	96,03%
19/07/2017	336	71	78,87%
03/08/2017	378	41	89,15%
09/08/2017	675	122	81,93%
14/09/2017	597	60	89,95%
21/09/2017	776	109	85,95%
28/09/2017	829	48	94,21%
05/10/2017	1190	55	95,38%
11/10/2017	899	61	93,21%
Média	595,68	69,42	86,92%
Desvio-Padrão	251,78	34,85	6,69%
Limite máximo	1009,86	126,75	97,92%
Limite mínimo	181,51	12,09	75,92%
Limite superior	1009,86	126,75	97,92%
Limite inferior	181,51	12,09	75,92%

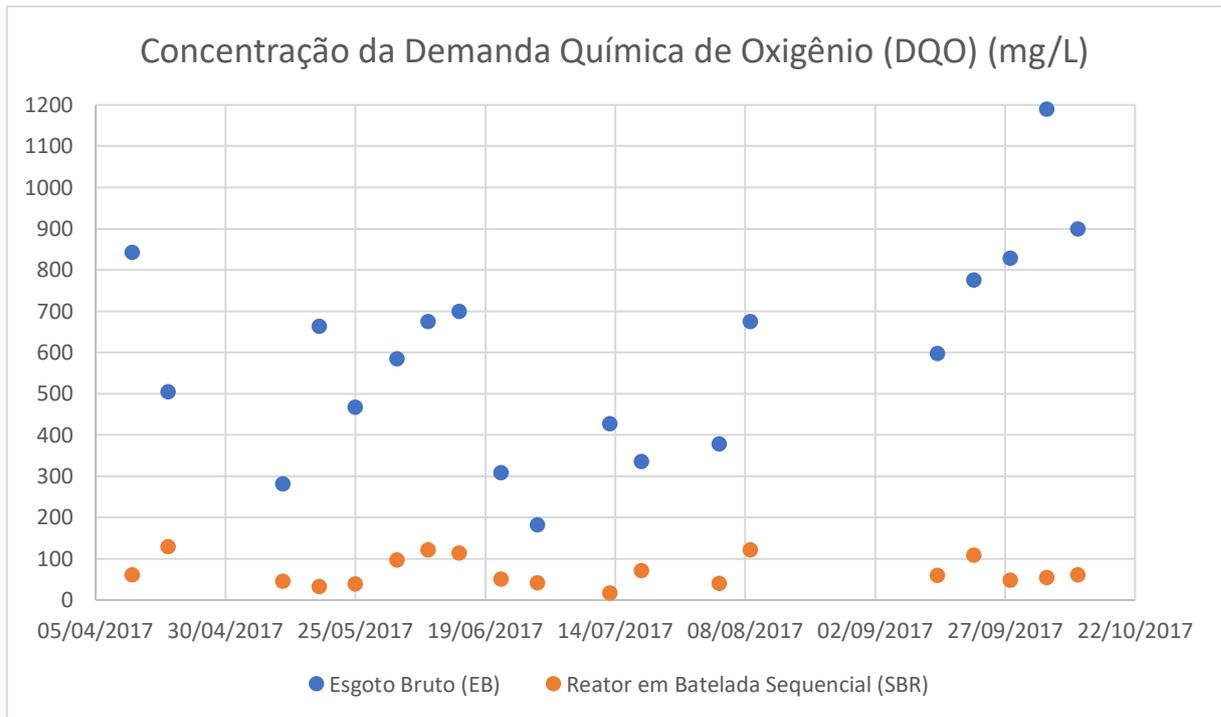
Fonte: do autor (2017).

De acordo com a Tabela 02, localizada na página 25, a eficiência esperada pelo equipamento para a remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) é de 95,1 %. Pode-se observar que a média da eficiência se encontra abaixo desse desempenho esperado, porém, o intervalo de variação das análises, a 90 % de confiança, faz com que a eficiência esperada pelo fabricante se encontre dentro desses limites, atendendo-se às expectativas do produtor.

Nota-se que a média aritmética da concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) do Esgoto Bruto (EB) foi de 595,68 mg/L, enquanto que a do efluente tratado foi de 69,42 mg/L. Para o primeiro, a variação do intervalo das amostras, a 90 % de nível de confiança, foi entre 181,51 mg/L e 1009,86 mg/L, já para o segundo foi entre 12,09 mg/L e 126,75 mg/L. Na Resolução CONAMA nº 430/2011, não há restrições para níveis de concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO) para o descarte de efluentes tratados.

No Gráfico 03, verifica-se a variação da concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) do efluente bruto e do tratado ao longo do tempo.

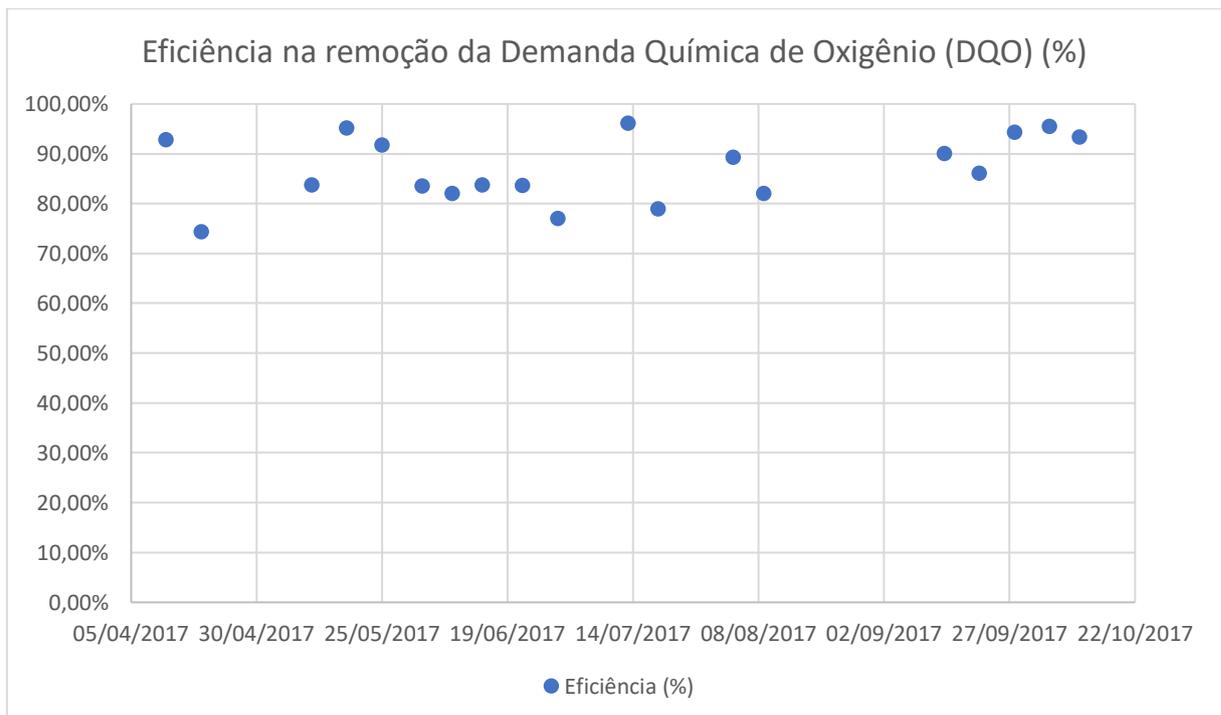
Gráfico 03: Concentração da DQO ao longo das análises realizadas.



Fonte: do autor (2017).

No Gráfico 04, verifica-se a eficiência na remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) realizada pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR) ao longo tempo.

Gráfico 04: Eficiência na remoção da DQO ao longo das análises realizadas.



Fonte: do autor (2017).

Observa-se que, ao longo dos 6 meses de análises, a concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) do Esgoto Bruto (EB) variou entre um intervalo de 180 mg/L e 1200 mg/L.

Isso se deve ao fato de que o efluente que chega à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) recebe contribuições de águas parasitárias pluviais durante a época de chuvas, diluindo assim a quantidade de matéria orgânica presente no esgoto. Neste caso, nota-se que nos meses de junho e julho, quando a precipitação meteorológica na cidade de João Pessoa é mais elevada, os resultados das diluições foram mais baixos.

Com os resultados das análises de laboratório, verificou-se que a eficiência média da remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi de 86,92 %, com um intervalo de variação, a 90 % de nível de confiança, entre 75,92 % e 97,92 %.

4.1.3. NITROGÊNIO AMONIACAL (N-NH₄⁺)

As concentrações de Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄⁺) para as amostras de efluentes brutos e tratados e a eficiência na remoção desse poluente se encontram na Tabela 07.

Tabela 07: Resultados das análises de laboratório para o N-NH₄⁺.

Concentração do Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄⁺) (mg/L)			
Data	Esgoto Bruto (EB)	Reator em Batelada Sequencial	Eficiência (%)
19/04/2017	63,00	18,00	71,43%
04/05/2017	36,00	13,00	63,89%
11/05/2017	31,00	5,50	82,26%
18/05/2017	65,00	18,75	71,15%
25/05/2017	49,00	8,75	82,14%
02/06/2017	70,00	5,00	92,86%
08/06/2017	76,50	6,00	92,16%
22/06/2017	32,50	3,25	90,00%
29/06/2017	32,00	14,00	56,25%
13/07/2017	60,00	6,75	88,75%
19/07/2017	51,00	9,75	80,88%
27/07/2017	70,50	10,50	85,11%
03/08/2017	41,50	4,50	89,16%
09/08/2017	76,50	6,00	92,16%
14/09/2017	69,00	4,50	93,48%
21/09/2017	67,50	7,00	89,63%
28/09/2017	58,50	7,05	87,95%
05/10/2017	72,50	4,00	94,48%
11/10/2017	49,00	4,30	91,22%
Média	56,37	8,24	83,94%
Desvio-Padrão	15,73	4,65	10,83%
Limite máximo	82,25	15,89	101,76%
Limite mínimo	30,48	0,60	66,13%
Limite superior	82,25	15,89	100,00%
Limite inferior	30,48	0,60	66,13%

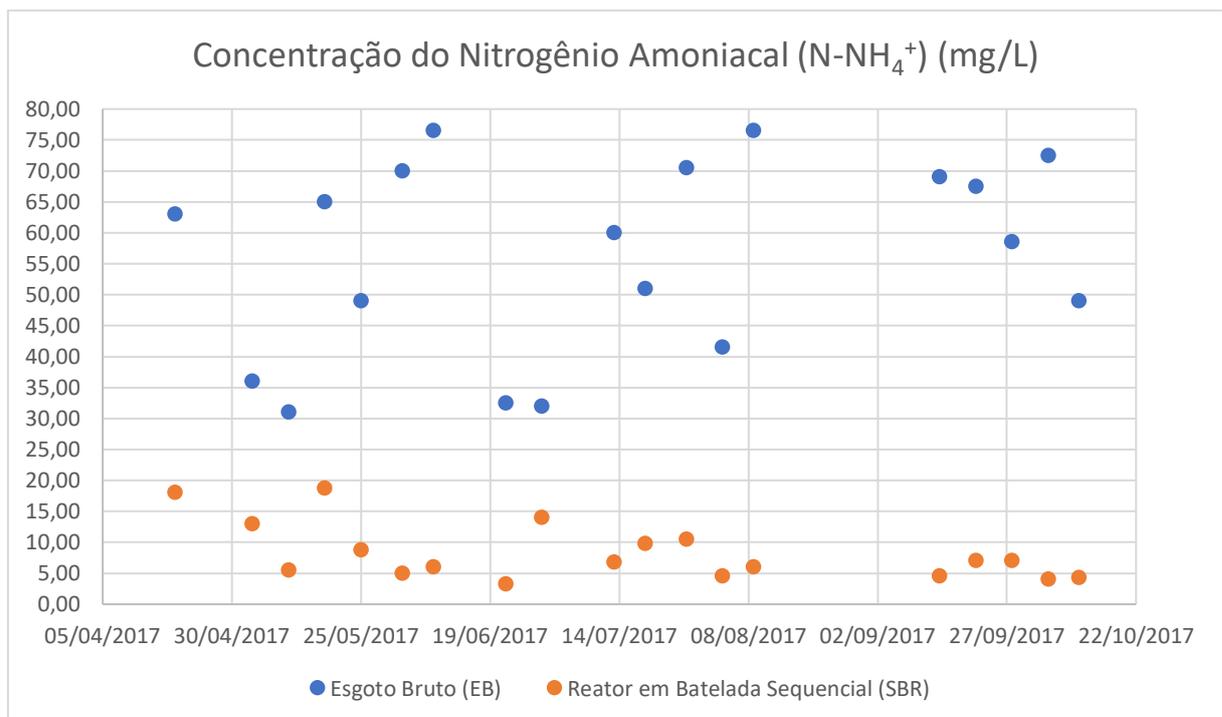
Fonte: do autor (2017).

De acordo com a Tabela 02, localizada na página 25, a eficiência esperada pelo equipamento para a remoção da concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) é de 98,6 %. Observa-se que a média da eficiência se encontra abaixo desse desempenho esperado, porém, o intervalo de variação das análises, a 90 % de confiança, faz com que a eficiência esperada pelo fabricante se encontre dentro desses limites, atendendo-se às expectativas do produtor. Entretanto, cabe destacar que, em nenhuma das amostras coletadas, a eficiência de remoção da concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) foi igual ou superior ao valor esperado.

Nota-se que a média aritmética da concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) do Esgoto Bruto (EB) foi de 56,37 mg/L, enquanto que a do efluente tratado foi de 8,24 mg/L. Para o primeiro, a variação do intervalo das amostras, a 90 % de nível de confiança, foi entre 30,48 mg/L e 82,25 mg/L, já para o outro foi entre 0,60 mg/L e 15,89 mg/L. De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, esse efluente tratado pode ser descartado ao meio ambiente pois apresenta uma concentração inferior a 20 mg/L de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+).

Verifica-se a variação da concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) do efluente bruto e do tratado ao longo do tempo no Gráfico 05.

Gráfico 05: Concentração de N-NH_4^+ ao longo das análises realizadas.

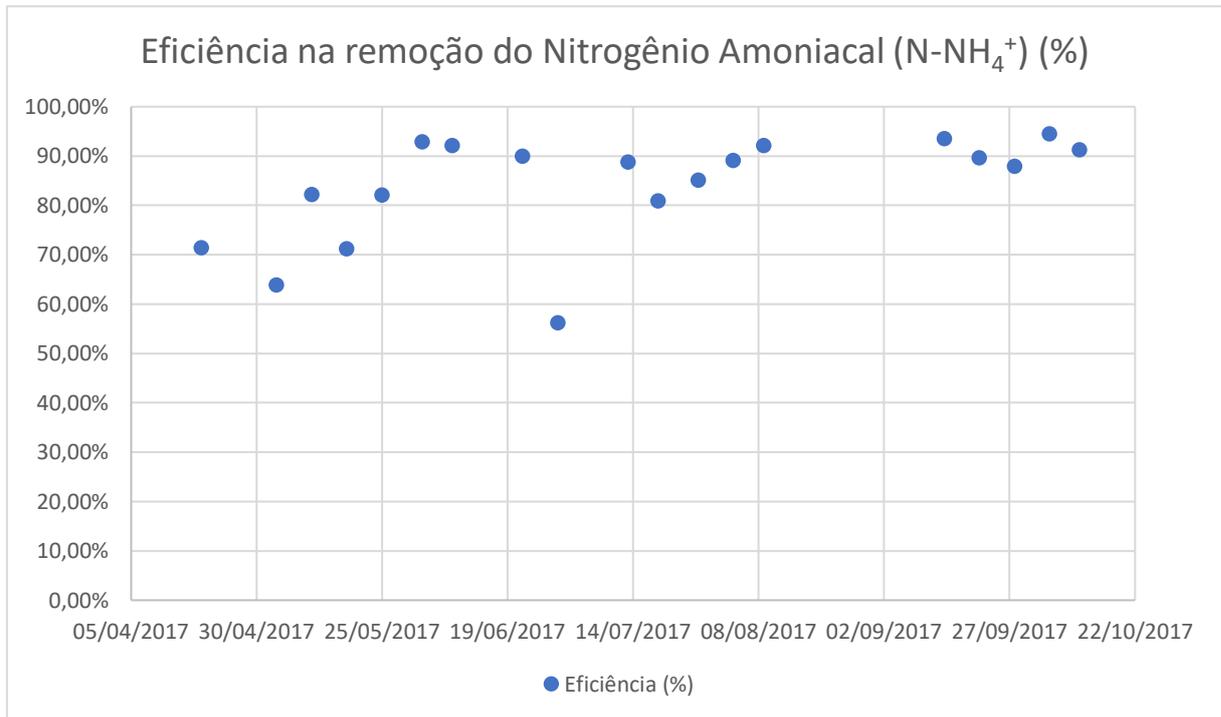


Fonte: do autor (2017).

Observa-se que, ao longo dos 6 meses de análises, a concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) do Esgoto Bruto (EB) variou entre um intervalo de 30 mg/L e 80 mg/L. Para o efluente tratado, essa variação ficou entre 3,00 mg/L e 20,00 mg/L, destacando assim que todas as amostras coletadas obedeceram a Resolução CONAMA nº 430/2011.

No Gráfico 06, verifica-se a eficiência na remoção de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) realizada pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR) ao longo tempo.

Gráfico 06: Eficiência na remoção de N-NH_4^+ ao longo das análises realizadas.



Fonte: do autor (2017).

Com os resultados das análises de laboratório, verificou-se que a eficiência média da remoção da concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) foi de 83,94 %, com um intervalo de variação, a 90 % de nível de confiança, entre 66,13 % e 100,00 %. Nota-se que, no decorrer do semestre de análises laboratoriais, apenas dois resultados de eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) ficaram abaixo de 70 %.

4.2. COMPARAÇÃO COM SISTEMA TRADICIONAL BRASILEIRO

Os sistemas de tratamento e deposição de esgotos residenciais mais comuns no Brasil são aqueles que possuem um tanque séptico acoplado a um reservatório de tratamento complementar e um local para deposição final do efluente. As alternativas mais tradicionais e abordadas pela NBR 13969 (ABNT, 1997) são os sistemas de filtro anaeróbio submerso, filtro aeróbio, filtro de areia, vala de filtração, lodo ativado a batelada (*sigla: LAB*, mesmo sistema em estudo neste presente trabalho acadêmico) e lagoa com plantas acoplados a um tanque séptico. Na Tabela 08, encontram-se as faixas prováveis de remoção de poluentes de acordo com os tipos de sistemas prediais de tratamento de esgotos mais comuns no Brasil.

Tabela 08: Eficiência na remoção de poluentes dos sistemas tradicionais brasileiros.

Remoção (%)	Sistema de tanque séptico em conjunto com					
	Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	Lodo ativado a batelada	Lagoa com plantas
DBO₅	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
N-NH₄⁺	-----	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90

Fonte: NBR 13969 (ABNT, 1997).

Na Tabela 09, encontram-se os parâmetros estatísticos, com 90 % nível de confiança, do estudo desenvolvido em função da operação do Reator em Batelada Sequencial (SBR).

Tabela 09: Parâmetros estatísticos da operação do SBR.

Remoção de poluentes (%)				
Parâmetros	Valor esperado	Média	Limite inferior	Limite superior
DBO₅	97,9	94,61	84,91	100,00
DQO	95,1	86,92	75,92	97,92
N-NH₄⁺	98,6	83,94	66,13	100,00

Fonte: do autor (2017).

Comparando-se os dados ilustrados nas Tabela 08 e 09, observa-se que o desempenho do equipamento do Reator em Batelada Sequencial (SBR) instalado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é mais eficiente que os sistemas prediais tradicionais brasileiros em conjunto com o tanque séptico. Entretanto, cabe destacar que as médias de remoção de poluentes do sistema em estudo se encontram dentro das margens esperadas para a remoção de poluentes do lodo ativado a batelada, segundo a NBR 13969 (ABNT, 1997), apesar de que os limites inferiores e superiores dos dados práticos serem maiores que os limiares das margens esperadas pela norma técnica brasileira. Logo, conclui-se que o equipamento em estudo é eficiente para o tratamento de efluentes líquidos no Brasil.

O Reator em Batelada Sequencial (SBR) também apresentou uma eficiência superior ao experimento prático de tanque séptico com filtro anaeróbio com diferentes meios de suportes, estudado por Ávila (2005). Nele, a média de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) foi entre 48,7 % e 58,3 %, enquanto que o Reator em Batelada Sequencial (SBR) apresentou um valor de 94,61 %. Já para a Demanda Química de Oxigênio (DQO), Ávila (2005) apontou uma eficiência média entre 46,5 % e 55,1 %, enquanto que o equipamento aqui em análise resultou em 86,92 %.

Comparando-se com Souza (2014), que estudou filtros anaeróbios, com diferentes meios de suporte, que possuam um dispositivo limitador de picos de vazão, o Reator em Batelada Sequencial (SBR) se mostrou também mais eficiente na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Para o primeiro

parâmetro, Souza (2014) apontou uma eficiência média entre 31,5 % e 32,8 %, enquanto que para o segundo, os valores foram entre 40,3 % e 43,3 %. Cabe destacar também que, segundo Souza (2014), o efluente tratado pelos filtros anaeróbios lá estudados geraram um efluente final com concentrações de Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$) entre 20 mg/L e 40 mg/L, valores acima do que o esgoto tratado produzido pelo Reator em Batelada Sequencial (SBR).

4.3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O Reator em Batelada Sequencial (SBR) é um equipamento que necessita do uso de energia elétrica para que possa tratar o esgoto. Isso acontece pelo fato de haver uma bomba de elevação de ar presente no equipamento para que a mesma possa realizar a aeração do efluente líquido, a fim de facilitar e acelerar a decomposição da matéria orgânica, gerando assim custos.

Segundo o fabricante do equipamento instalado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o consumo de energia elétrica é da ordem de 30 kWh/ano per capita (PUROO, ATB Tecnologias Ambientais Ltd. – em alemão: *ATB Umwelttechnologien GmbH* – 2015). Para o projeto em estudo, dimensionado para uma residência unifamiliar para 6 pessoas, o consumo elétrico ficou em 180 kWh/ano ou 15 kWh/mês, conforme relação abaixo.

$$\text{Consumo elétrico} = \text{Número de pessoas} \times \text{Taxa} \quad (11)$$

$$\text{Consumo elétrico} = 6 \text{ pessoas} \times 30 \text{ kWh}/(\text{ano} \cdot \text{pessoa}) \quad (12)$$

$$\text{Consumo elétrico} = 180 \text{ kWh}/\text{ano} = 15 \text{ kWh}/\text{mês} \quad (13)$$

$$\text{Consumo elétrico} = 180 \text{ kWh}/\text{ano} \times \frac{1 \text{ ano}}{12 \text{ meses}} \quad (14)$$

$$\text{Consumo elétrico} = 15 \text{ kWh}/\text{mês} \quad (15)$$

Com os dados do consumo médio elétrico do sistema, fez-se uma consulta ao final da primeira quinzena do mês de novembro de 2017 e se verificou que a tarifa média simples da energia elétrica no Brasil é de R\$ 0,49/kWh (Aneel, 2017). No mês de novembro de 2017, a taxa de imposto cobrada na conta de energia elétrica residencial foi de 52,54 % do valor bruto consumido, representando um valor de 34,44 % da tarifa total a ser paga. Com isso, pode-se determinar um custo financeiro elétrico médio do sistema, caso o mesmo fosse aplicado em larga escala pelo país, através do produto da tarifa pelo consumo da eletricidade.

$$\text{Custo elétrico} = \text{Tarifa de energia} \times \text{Consumo elétrico} \times \text{Impostos} \quad (16)$$

$$\text{Custo elétrico} = R\$ 0,49/\text{kWh} \times 15 \text{ kWh}/\text{mês} \times \left(1 + \frac{52,54 \%}{100 \%}\right) \quad (17)$$

$$\text{Custo elétrico} = R\$ 11,32/\text{mês} \quad (18)$$

Durante o ano de 2017, o salário mínimo mensal vigente é de R\$ 937,00. Então o custo financeiro elétrico médio para manter o Reator em Batelada Sequencial (SBR) funcionando para uma residência unifamiliar de 6 pessoas é menor que 2 % do salário mínimo do Brasil. De acordo com cálculos realizados abaixo, esse gasto energético representa 1,21 % desse valor.

$$\text{Porcentagem em relação ao salário mínimo} = \frac{R\$ 11,32/\text{mês}}{R\$ 937,00/\text{mês}} \times 100 \% \quad (19)$$

$$\text{Porcentagem em relação ao salário mínimo} = 1,21 \% \quad (20)$$

Portanto, o custo energético para a utilização do sistema se revela pouco oneroso para os padrões de vida da sociedade brasileira.

4.4. CUSTO DE AQUISIÇÃO DO SISTEMA

O Reator em Batelada Sequencial (SBR) instalado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do bairro de Mangabeira, na cidade de João Pessoa, foi adquirido pelo Projeto *Brazil Managed Aquifer Recharge* (BRAMAR) com a finalidade de desenvolver linhas de pesquisa para tratamento de efluentes. Nesse projeto, há parcerias entre o Governo Federal Brasileiro e o da Alemanha com universidades e empresas alemãs e brasileiras. Além disso, há alunos e professores nacionais e intercambistas desenvolvendo as pesquisas em andamento.

O Projeto *Brazil Managed Aquifer Recharge* (BRAMAR), financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e pelo *Bundesministerium für Bildung und Forschung* (BMBF, em português: Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha), comprou o Reator em Batelada Sequencial (SBR) do fabricante PUROO, ATB Tecnologias Ambientais Ltd. (em alemão: *ATB Umwelttechnologien GmbH*) a um custo de € 4.090,00 (quatro mil e noventa euros). Entretanto, devido ao caráter acadêmico do equipamento comprado, houve um desconto de 25 % na compra, chegando a um valor de € 3.067,50. Com a adição de uma taxa de imposto de 19 % sobre a compra do produto, o custo final de aquisição do equipamento foi de € 3.650,00, conforme pode ser verificado nos cálculos a seguir.

$$\text{Custo de aquisição bruto (CAB)} = € 4.090,00 \quad (21)$$

Determinando-se o fator de desconto:

$$\text{Fator de desconto (FD)} = 1 - \frac{\text{Porcentagem de desconto}}{100 \%} \quad (22)$$

$$\text{Fator de desconto (FD)} = 1 - \frac{25 \%}{100 \%} = 1 - 0,25 \quad (23)$$

$$\text{Fator de desconto (FD)} = 0,75 \quad (24)$$

Determinando-se o fator de imposto:

$$\text{Fator de imposto (FI)} = 1 + \frac{\text{Porcentagem de imposto}}{100 \%} \quad (25)$$

$$\text{Fator de imposto (FI)} = 1 + \frac{19 \%}{100 \%} = 1 + 0,19 \quad (26)$$

$$\text{Fator de imposto (FI)} = 1,19 \quad (27)$$

Para se encontrar o custo de aquisição final, faz-se a seguinte relação:

$$\text{Custo de aquisição} = CAB \times FD \times FI \quad (28)$$

Substituindo as equações 24 e 27 na equação 28, tem-se:

$$\text{Custo de aquisição} = € 4.090,00 \times 0,75 \times 1,19 \quad (29)$$

$$\text{Custo de aquisição} = € 3.650,00 \quad (30)$$

Utilizando-se o valor médio de mercado de € 1,00 (um euro), na primeira quinzena do mês de novembro de 2017, a R\$ 3,80 (três reais e oitenta centavos), acha-se que o custo de aquisição do equipamento, em moeda brasileira, é de R\$ 13.870,00, conforme relações abaixo.

$$\text{Custo de aquisição} = € 3.650,00 \times \frac{\text{R\$ } 3,80}{€ 1,00} \quad (31)$$

$$\text{Custo de aquisição} = \text{R\$ } 13.870,00 \quad (32)$$

Portanto, o custo de aquisição do equipamento é alto. Esse valor atualmente representa 14,8 salários mínimos, dificultando a possibilidade de acesso pela população de baixa renda.

$$\text{Relação custo de aquisição ao salário mínimo} = \frac{\text{Custo de aquisição}}{\text{Salário Mínimo}} \quad (33)$$

$$\text{Relação custo de aquisição ao salário mínimo} = \frac{\text{R\$ } 13.870,00}{\text{R\$ } 937,00} \quad (34)$$

$$\text{Relação custo de aquisição ao salário mínimo} = 14,8 \quad (35)$$

5. CONCLUSÕES

Constata-se que o Reator em Batelada Sequencial (SBR) é um sistema muito eficiente em relação à sistemas acoplados a tanques sépticos. Quanto aos parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) e Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4^+$), ele atendeu às normas de descarte de efluente tratado, pela Resolução CONAMA nº 430/2011.

Durante as análises de laboratório, observou-se que nos dias em que houve intensa precipitação de chuvas, a eficiência na remoção de poluentes e a concentração deles nas amostras brutas (sem ter passado por nenhum tipo de tratamento) foram inferiores às médias observadas ao longo do tempo. Isso se deve ao fato de estar sendo usado o Esgoto Bruto (EB) de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como efluente a ser tratado, pois, em casos de intensa precipitação de chuvas, há contribuições de águas pluviais parasitárias ao sistema de esgotamento sanitário urbano, reduzindo assim as concentrações de poluentes inicialmente.

O custo do consumo de energia elétrica utilizada pelo equipamento se mostrou barato e viável em geral para toda a sociedade brasileira. Entretanto, seu custo de aquisição se mostrou oneroso, custando em torno de 14,8 salários mínimos brasileiros, em valores do ano de 2017. Esse alto preço de mercado se justifica ao fato de que o Reator em Batelada Sequencial (SBR) em estudo é um equipamento sofisticado importado de uma empresa alemã e que, naquele país, as residências que estejam ligadas à rede de coleta e tratamento de águas residuais pagam taxas financeiras de contribuição de esgoto em função da quantidade de água consumida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7229*. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9648*. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13969*. Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Estados Unidos, 1999.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Ranking das Tarifas*. Publicado em nov. 2015. Atualizado em nov. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

AQUALYTIC COMPANY. *Sistema CBO AL606*. Manual de instruções. Versão em português. Dortmund (Alemanha), 2011.

ATB UMWELTTECHNOLOGIEN GMBH. *PUROO – Fully Biological SBR small wastewater treatment plants*. Porta Westfalica (Alemanha), 2015.

ATB UMWELTTECHNOLOGIEN GMBH. *PUROO – Installation Instructions*. Porta Westfalica (Alemanha), 2014.

ÁVILA, Renata Oliveira de. *Avaliação do desempenho de Sistemas de Tanque Séptico – Filtro Anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

BORGES, J. A.; SILVA, G. G. A.; NUNES G. B.; BERGOZZA, P.; COSTA, J. A. V.; de SOUZA, M. R. A. Z.. *Determinação de Nitrogênio Amoniacal em efluente líquido da digestão anaeróbia de macro e microalgas*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), 20, 2014, Florianópolis. *Resumos...* Universidade Federal do Rio Grande. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3_sa_east_1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/co-beq2014/0129-26897-164228.pdf>. Acesso em: 16 out. 2017.

BRASIL. *Lei Federal nº 11.445*, 5 jan. 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036, de 11 de maio de 1990, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 12 out. 2017.

BRASIL. *Resolução CONAMA nº 430*, 13 mai. 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 26 out. 2017.

FERNANDES, Carlos. *Esgotos Sanitários*. 1.ed. João Pessoa: Editora Universitária / UFPB, 1997.

GOOGLE. Google Earth. Versão 1.8.3036. 2017. Estação de Tratamento de Esgoto do bairro de Mangabeira. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/ge/agree.html>>. Acesso em: 17 out. 2017.

HACH COMPANY. *Nitrogen, Ammonia*. USEPA Nessler Method. Loveland, Colorado (Estados Unidos), 2014.

HACH COMPANY. *Oxygen Demand, Chemical*. USEPA Reactor Digestion Method. Loveland, Colorado (Estados Unidos), 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Atlas de saneamento 2000*. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/atlas-de-saneamento-2000.html>>. Acesso em: 12 out. 2017.

INSTITUTO PENSAMENTO VERDE. *A importância do tratamento do esgoto doméstico*. 26 out. 2013. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/importancia-tratamento-esgoto-domestico/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Situação do Saneamento no Brasil*. 2015. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 12 out. 2017.

MASSOUD, May A.; TARHINI, Akram; NASR, Joumana A.. *Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries*. Elsevier: Journal of Environmental Management. v.90, p.652-659, 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB –*. mai. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conselhos_Nacionais_020520131.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

SOUZA, Líria Alves de. *Demanda Bioquímica de Oxigênio*. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/demanda-bioquimica-oxigenio.htm>>. Acesso em: 15 out. 2017.

SOUZA, Líria Alves de. *Demanda Química de Oxigênio*. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/demanda-quimica-oxigenio.htm>>. Acesso em: 15 out. 2017.

SOUZA, Sofia Fernandes Lemos de. *Influência do uso de dispositivo limitador de picos de vazão na eficiência de remoção de matéria orgânica em filtros anaeróbios*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2014.

UOL – Universo On-Line. *UOL Economia – Cotações*. 2017. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/euro-uniao-europeia/>>. Acesso em: 08 nov. 2017.