

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DISSERTAÇÃO

**ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE MATERIAL GRANULADO
BIOCLÁSTICO (*Lithothamnium calcareum*) APLICADO NA REMOÇÃO
DE CARGA ORGÂNICA E POLUENTES NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES EM BIORREATOR AERÓBIO.**

MARCOS FROTA MORENZ NOGUEIRA

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE MATERIAL GRANULADO
BIOCLÁSTICO (*Lithothamnium calcareum*) APLICADO NA REMOÇÃO
DE CARGA ORGÂNICA E POLUENTES NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES EM BIORREATOR AERÓBIO.**

MARCOS FROTA MORENZ NOGUEIRA

Sob a Orientação do Professor:
Luís Américo Calçada

e Coorientação do Professor:
Alexandre Lioi Nascentes

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, Área de Concentração em Tecnologia Química.

Seropédica, RJ
Janeiro de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N778e Nogueira, Marcos Frota Morenz, 1987-
Estudo do efeito da adição de material granulado
bioclástico (Lithothamnium calcareum) aplicado na
remoção de carga orgânica e poluentes no tratamento de
efluentes em biorreator aeróbio. / Marcos Frota Morenz
Nogueira. - 2019.
98 f.: il.

Orientador: Luís Américo Calçada .
Coorientador: Alexandre Lioi Nascentes .
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de pós-graduação em
Engenharia Química, 2019.

1. Biotecnologia. 2. Lodos ativados. 3.
Biorreator. 4. Alga calcária. 5. Lixiviado. I. Calçada
, Luís Américo , 1966-, orient. II. Nascentes ,
Alexandre Lioi , 1976-, coorient. III Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de pós
graduação em Engenharia Química. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MARCOS FROTA MORENZ NOGUEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Química**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, área de Concentração em Tecnologia Química.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 28 / 01 /2019

Prof. Dr. Luís Américo Calçada
(Departamento de Engenharia Química/IT/UFRRJ)
(Orientador)

Prof. PhD. Hélio Fernandes Machado Junior
(Departamento de Engenharia Química/IT/UFRRJ)

Dr. Paulo Afonso de Almeida
(Chefe de Departamento – CEDAE, RJ)

Dedico esta dissertação aos meus pais, Celso Nogueira e Eliana Frota Morenz, e ao meu irmão Celso Frota Morenz Nogueira que sempre fizeram o possível para que eu tivesse a oportunidade de estudar, por todo amor, ensinamento, carinho e companheirismo na vida. Saibam que essa foi a maior herança que vocês poderiam me deixar.

AGRADECIMENTOS

Eu sou grato a Deus pelas oportunidades que me concedeu, por ser minha fortaleza e auxílio presente em todos os momentos. O caminho foi inexplicavelmente melhor com você ao meu lado.

Agradeço aos meus amados pais, Eliana Frota Morenz e Celso Nogueira e ao meu irmão, Celso Morenz, pelo apoio, incentivo, motivação, ajuda e todo o cuidado ao longo desse tempo. Sem vocês nada disso seria possível. Agradeço ao meu sobrinho Álvaro. Agradeço aos meus tios(as): Elizabeth, Mirton e Rosemary e a minha avó Maria José.

Agradeço a minha amada namorada Renata Belz Kruger, sempre esteve ao meu lado, proporcionando paz e conforto. A sua companhia faz a vida ser maravilhosa.

Agradeço aos meus orientadores Luís Américo Calçada e Alexandre Lioi Nascentes, pela oportunidade de expandir o meu conhecimento. Agradeço aos professores Paulo Jansen e Luís Augusto Meleiro por toda ajuda e pelos equipamentos para os experimentos.

Agradeço ao meu amigo Marcelo Baêta pela amizade que ultrapassa os limites do tempo e espaço. Agradeço aos meus amigos Fernando Tertuliano e Matheus Oliveira, pelas orações, conversas, apoio e diversão nos momentos de descontração. Agradeço aos meus amigos de mestrado Caroline, Carlos, Daniela e Beatriz por compartilhar todos os sentimentos durante essa etapa da vida. Agradeço aos parceiros de laboratório: Bianca Xavier, Jéssica Ferreira, Larissa de Sá e Pedro Chaves.

Agradeço imensamente ao meu amigo e chefe, Carlos Favoreto, pela oportunidade de trabalhar e aprender com excelentes profissionais. Sempre serei muito grato por todo o auxílio que me proporcionou ao longo desse tempo. Agradeço também aos meus amigos de trabalho: Raul, Emílio Lins, Luciene, Allana, João, Fagner, Luíza, Gabriel, Patrícia, Águeda e Vinicius. Agradeço imensamente ao meu amigo Walter Rezzo por todas as caronas, amostras, conversas e incontáveis vezes que me ajudou de todas as maneiras possíveis. Agradeço aos meus amigos do LEF, Sérgio, Eduardo e Elias pela oportunidade de aprender cada vez mais com vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

RESUMO

NOGUEIRA, Marcos Frota Morenz. Estudo do efeito da adição de material granulado bioclástico (*Lithothamnium calcareum*) aplicado na remoção de carga orgânica e poluentes no tratamento de efluentes em biorreator aeróbio. 2019. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, Tecnologia Química). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Nos últimos anos, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para aumentar a eficiência dos processos de tratamento de efluentes, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais e não comprometer a disponibilidade dos recursos hídricos do planeta. Uma das soluções para a destinação correta dos efluentes é a implementação de reatores biológicos visando a remoção de carga orgânica presente nos efluentes com a finalidade de alcançar os valores permitidos pela legislação. Dentre as tecnologias existentes, destacam-se, os reatores biológicos convencionais, reatores com membranas, processos físico-químicos, lagoas de estabilização, filtros biológicos, osmose reversa e outros. O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar uma alternativa aos tratamentos convencionais, utilizando no interior do biorreator um material denominado granulado bioclástico (*Lithothamnium calcareum*) oriundo de rochas marinhas, com alta capacidade de adsorção. O efluente sintético utilizado foi formulado com base em reagentes específicos no laboratório com o propósito de preservar as características físico-químicas ao longo dos experimentos. O estudo comparativo foi realizado em uma unidade experimental, com o uso de um biorreator de bancada com capacidade operacional de 1,00 L, em quatro experimentos, sendo eles: experimento 01 – lodos ativados aeração prolongada; experimento 02 – lodos ativados aeração prolongada com adição de granulado bioclástico (20 g/L); experimento 03 – processo PACT com adição de carvão ativado pulverizado (20 g/L); experimento 04 – lodos ativados aeração prolongada com adição de lixiviado (1% v/v) e granulado bioclástico (20 g/L). Neste trabalho de dissertação, a metodologia aplicada na avaliação do processo de tratamento consistiu em caracterizar o efluente sintético de entrada no reator, executar o experimento em batelada de acordo com cada etapa no período de 23 horas, proceder a sedimentação durante 1 hora, retirar uma alíquota da amostra do reator na parte superior e realizar a caracterização do efluente tratado. Nesses experimentos foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), cor, turbidez, DBO, DQO e fósforo total. O cálculo da eficiência do processo foi avaliado em termos de remoção de DBO, DQO e fósforo total. Os resultados obtidos indicaram que o experimento 02 contendo o granulado bioclástico adicionado ao processo convencional de lodos ativados, apresentou os melhores valores de eficiência na remoção de DBO (96,65 %), DQO (94,28 %) e P (77,74 %). Os resultados mostraram que tais materiais apresentam potencial para ser utilizados como uma alternativa de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: biotecnologia, lodos ativados, alga calcária, biooxidação, lixiviados.

ABSTRACT

NOGUEIRA, Marcos Frota Morenz. Study of the effect of the addition of bioclastic granular material (*Lithothamnium calcareum*) applied in the removal of organic matter and pollutants in the treatment of effluents in aerobic bioreactor. 2019. 98p. Dissertation (Master in Chemical Engineering, Chemical Technology). Technology Institute, Chemical Engineering Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro. Seropédica-RJ.

In recent years, several technologies have been developed to increase the efficiency of effluent treatment processes, with the aim of mitigating environmental impacts and not compromising the availability of the planet's water resources. One of the solutions for the correct disposal of effluents is the implementation of biological reactors aiming at the removal of organic matter present in the effluents in order to reach the values allowed by the legislation. Among the existing technologies, stand out the conventional biological reactors, reactors with membranes, physical-chemical processes, stabilization ponds, biological filters, reverse osmosis and others. The main objective of this research was to evaluate an alternative to the conventional treatments, using a bioclastic granular material (*Lithothamnium calcareum*) from the marine rocks with high adsorption capacity inside the bioreactor. The synthetic effluent used was formulated based on specific reagents in the laboratory in order to preserve the physico-chemical characteristics throughout the experiments. The comparative study was carried out in an experimental unit, with the use of a bench bioreactor with operational capacity of 1.00 L, in four experiments, being: experiment 01 - activated sludge prolonged aeration; experiment 02 - activated sludge prolonged aeration with addition of bioclastic granulate (20 g/L); experiment 03 - PACT process with addition of pulverized activated carbon (20 g/L); experiment 04 - activated sludge prolonged aeration with addition of leachate (1% v/v) and bioclastic granulate (20 g/L). In this work, the methodology applied in the evaluation of the treatment process consisted in characterizing the synthetic effluent entering the reactor, performing the batch experiment according to each experiment in the 23 hours period, proceeding with sedimentation for 1 hour, aliquot of the reactor sample at the top and perform the characterization of the treated effluent. In these experiments, the following parameters were analyzed: temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen (OD), color, turbidity, BOD, COD and total phosphorus. The calculation of the efficiency of the process was evaluated in terms of removal of BOD, COD and total phosphorus. The results obtained indicate that experiment 02 containing the bioclastic granulate added to the conventional activated sludge process presented the best efficiency values in the removal of BOD (96,65%), COD (94.28%) and P (77.74%). The results showed that these materials have the potential to be used as an effluent treatment alternative.

Keywords: biotechnology, activated sludge, limestone, biooxidation, leachate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Solubilidade do oxigênio em água a várias temperaturas, na pressão atmosférica de 1,00 atm (760 mmHg). (FIORUCCI, 2004).....	4
Figura 2. Etapas da transformação do ciclo do nitrogênio. (Metcalf e Eddy, 2003).....	5
Figura 3. Geração de Resíduo Sólido Urbano (RSU) no Brasil. (ABRELPE, 2017).....	7
Figura 4. Representação de um aterro sanitário. (CICLUS, 2016).....	8
Figura 5. Balanço hídrico da formação de lixiviado. (MORAVIA, 2010).....	8
Figura 6. <i>Lithothamnium calcareum</i> . Fonte: Algarea Mineração S/A, 2016.	10
Figura 7. Esquema e simbologia do processo de lodos ativados, aeração prolongada. Adaptado, Cavalcanti (2001).....	12
Figura 8. Foto da unidade experimental. (Fonte: Autor).....	19
Figura 9. Módulo de vaso de reação do equipamento.	20
Figura 10. Módulos do equipamento. (Fonte: Manual de instruções. TEC-BIO v.2.4).....	20
Figura 11. Janela principal do software de controle. (Fonte: Manual de instruções. TEC-BIO).....	21
Figura 12. Fluxograma da unidade experimental. (Fonte: Autor).....	23
Figura 13. Amostra de lixiviado. (Fonte: Autor).....	25
Figura 14. (a) Agitador eletromagnético; (b) amostra do granulado bioclástico.....	26
Figura 15. Medidor respirométrico para determinação de DBO. (Fonte: HACH).....	30
Figura 16. Espectro de absorção de luz em diversos comprimentos de onda (λ).	30
Figura 17. Componentes de um espectrofotômetro para análise da absorção.	31
Figura 18. Representação da Lei de Lambert-Beer.	31
Figura 19. Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900.	32
Figura 20. Porcentagem mássica retida no conjunto de peneiras granulométricas.....	40
Figura 21. Amostras do granulado bioclástico em diferentes faixas granulométricas.	40
Figura 22. Valores experimentais e modelo linear – DQO (baixa concentração).	42
Figura 23. Valores experimentais e modelo linear – DQO (alta concentração).....	44
Figura 24. Valores experimentais e modelo linear – P (baixa concentração).....	45
Figura 25. Valores experimentais e modelo linear – P (alta concentração).	47
Figura 26. Valores de temperatura em cada etapa experimental.	51
Figura 27. Valores de pH em cada etapa experimental.	52
Figura 28. Valores de condutividade elétrica em cada etapa experimental.....	53
Figura 29. Valores de cor observados em cada etapa experimental.	54
Figura 30. Valores de turbidez observados em cada etapa experimental.....	54
Figura 31. Valores de DBO observados em cada etapa experimental.	55
Figura 32. Valores de DQO observados em cada etapa experimental.	56
Figura 33. Valores de fósforo total observados em cada etapa experimental.	57
Figura 34. Valores comparativos de eficiência observados em cada etapa experimental.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores típicos de parâmetros em efluentes sanitários. (Jordão, 2005).....	6
Tabela 2. Composição média do resíduo sólido urbano. (IPT/CEMPRE, 2000).....	6
Tabela 3. Composição média do lixiviado em aterros no Brasil. (ABES, 2009).....	9
Tabela 4. Comparação CAP x CAG (METCALF & EDDY, 2003).....	14
Tabela 5. Condições experimentais do reator em sistema batelada em cada etapa.	22
Tabela 6. Condições operacionais do biorreator.	22
Tabela 7. Composição do esgoto sintético.....	24
Tabela 8. Formulação do esgoto sintético concentrado.....	24
Tabela 9. Caracterização do lixiviado (CTR, 2018).	25
Tabela 10. Procedimento de operação.	28
Tabela 11. Parâmetros de qualidade analisados.....	29
Tabela 12. Formulação das soluções para a curva-padrão – baixa concentração.....	33
Tabela 13. Formulação das soluções para a curva-padrão – alta concentração.	34
Tabela 14. Formulação das soluções para a curva-padrão – baixa concentração.....	35
Tabela 15. Formulação das soluções para a curva-padrão – alta concentração.	35
Tabela 16. Caracterização do efluente sintético.....	37
Tabela 17. Caracterização do efluente sintético com lixiviado.....	38
Tabela 18. Distribuição granulométrica do granulado bioclástico.....	39
Tabela 19. Formulação das soluções para a curva-padrão (baixa concentração).	41
Tabela 20. Valores de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).	42
Tabela 21. Valores de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).	43
Tabela 22. Formulação das soluções para a curva-padrão (alta concentração).....	43
Tabela 23. Valores de absorvância para a curva-padrão (alta concentração).....	43
Tabela 24. Leituras de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).	44
Tabela 25. Formulação das soluções para a curva-padrão (baixa concentração).	45
Tabela 26. Valores de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).	45
Tabela 27. Leituras de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).	46
Tabela 28. Formulação das soluções para a curva-padrão (alta concentração).....	46
Tabela 29. Valores de absorvância para a curva-padrão (alta concentração).....	46
Tabela 30. Leituras de absorvância para a curva-padrão (alta concentração).....	47
Tabela 31. Parâmetros de qualidade analisados.....	48
Tabela 32. Resultados – Etapa 01.	49
Tabela 33. Resultados – Etapa 02.	49
Tabela 34. Resultados – Etapa 03.	50
Tabela 35. Resultados – Etapa 04.	50
Tabela 36. Resumo da eficiência dos processos.	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Efluentes.....	2
2.1.1 Parâmetros de qualidade	2
2.1.1.1 Temperatura.....	2
2.1.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH).....	2
2.1.1.3 Condutividade elétrica	3
2.1.1.4 Cor e Turbidez	3
2.1.1.5 Oxigênio dissolvido (OD), Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)	3
2.1.1.6 Nutrientes (Nitrogênio e Fósforo).....	5
2.1.2 Características dos efluentes	6
2.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e lixiviado de aterro sanitário	6
2.2.1 Resíduos sólidos e Composição.....	6
2.2.2 Aterro sanitário e lixiviado	7
2.3 Granulados Bioclásticos (<i>Lithothamnium calcareum</i>).....	10
2.4 Processos de Tratamento de Efluentes.....	11
2.4.1 Processo de Lodos Ativados	11
2.4.1.1 Aspectos gerais.....	11
2.4.1.2 Parâmetros operacionais	12
2.4.2 Processo PACT - <i>Powdered Activated Carbon Treatment</i>	13
2.5 Trabalhos com o uso do PACT.....	15
2.6 Trabalhos com o uso de granulado bioclástico.....	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 Materiais e Equipamentos	17
3.2 Reagentes	18
3.3 Unidade Experimental.....	19
3.4 Procedimento Experimental	22
3.4.1 Preparo do efluente sintético	24
3.4.2 Lixiviado.....	25
3.4.3 Preparo do granulado bioclástico	26
3.4.4 Preparo do biorreator	27

3.4.5 Operação e monitoramento do reator	28
3.5 Procedimento Analítico.....	28
3.5.1 Parâmetros analisados	28
3.5.2 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	29
3.5.3 Método colorimétrico – Lei de Lambert-Beer.....	30
3.5.4 Curva-padrão de calibração	33
3.5.4.1 Demanda química de oxigênio (DQO).....	33
3.5.4.2 Fósforo (P)	34
3.5.5 Método de cálculo de eficiência no processo de tratamento.	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Caracterização do efluente sintético.....	37
4.2 Separação e obtenção do granulado bioclástico.	38
4.3 Curvas de calibração	41
4.3.1 Demanda química de oxigênio (DQO).....	41
4.3.1 Fósforo (P)	45
4.4 Procedimento analítico e parâmetros analisados.....	48
4.4.1 Resultados dos parâmetros - Etapas 01, 02, 03 e 04	49
4.4.2 Temperatura e pH	51
4.4.3 Condutividade elétrica	52
4.4.4 Cor e Turbidez	53
4.4.5 DBO e DQO	55
4.4.6 Fósforo	56
4.5 Cálculo da eficiência nos processos de tratamento.....	57
5 CONCLUSÕES.....	60
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
8 ANEXOS	66
Anexo A. Modelo de ficha de análise.....	66
Anexo B. Certificados de calibração	66
Anexo C. Procedimentos Padrão de Análise - PPA.....	66

1 INTRODUÇÃO

Historicamente sabe-se que a fixação e permanência do homem em qualquer região do planeta, tem sido em função das disponibilidades quantitativas e qualitativas, das principais fontes de energia necessárias para a sua existência. Em geral, as principais formas de energia são por meio da luz solar, ar atmosférico, água e alimentos. Os fatores limitantes para a formação de colônias em determinados lugares estão relacionados com as quantidades de água e alimento disponíveis. Entretanto, as atividades antrópicas não são eficientes no consumo de energia, em consequência disso, ocorre a geração de diversos tipos de resíduos que retornam para o meio ambiente, entre os quais predominam os resíduos sólidos urbanos (RSU), também conhecido como lixo urbano e os efluentes de origem das águas residuais, podendo ser efluentes sanitários, industriais e outros. De acordo com a agência nacional de águas (ANA), em 2013 foram gerados no Brasil aproximadamente 9,10 mil toneladas de DBO por dia, sendo que apenas 43% desse efluente é coletado e tratado. Os efluentes podem e devem ser submetidos a algum tipo de processo de purificação e tratamento antes de serem lançados em corpos aquáticos, para garantir a sustentabilidade e o equilíbrio do meio ambiente.

Nos últimos anos, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para aumentar a eficiência dos processos de tratamento de efluentes, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais e não comprometer a disponibilidade dos recursos hídricos do planeta. Uma das soluções para a destinação correta dos efluentes é a implementação de reatores biológicos visando a remoção de carga orgânica presente nos efluentes com a finalidade de alcançar os valores permitidos pela legislação. Dentre as tecnologias existentes, destacam-se, os reatores biológicos convencionais, reatores com membranas, processos físico-químicos, lagoas de estabilização, filtros biológicos, osmose reversa e outros.

Diante desse cenário nacional e mundial, este trabalho teve como objetivo principal propor e avaliar a eficiência de uma alternativa aos processos de tratamento convencionais, combinando um sistema de lodos ativados com a adição de um material granulado bioclástico com elevadas propriedades de adsorção no tanque de aeração, investigando a capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes, durante o processo de tratamento dos efluentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica destacando-se os conceitos fundamentos relacionados aos efluentes sanitários, tais como suas características, composição e propriedades físico-químicas, além de explorar os parâmetros de qualidade e as principais tecnologias usadas atualmente nos processos de tratamento de efluentes. Além desses, retratam-se alguns trabalhos que pontuam a utilização de granulados bioclásticos na remoção de determinados compostos presentes em efluentes.

2.1 Efluentes

Segundo Jordão e Pessoa (1995), os efluentes podem ser classificados em dois grandes grupos: os efluentes sanitários e os industriais. Os efluentes sanitários são definidos como águas residuais provenientes de residências, edifícios comerciais, instituições ou quais edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização para fins domésticos. Os principais componentes são em sua grande parte água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

2.1.1 Parâmetros de qualidade

Os parâmetros de qualidade podem ser conceituados como as grandezas que indicam as características de uma determinada amostra, como por exemplo, a água, efluente sanitário ou industrial e de corpos receptores (Cavalcanti, 2012). Os principais parâmetros utilizados para avaliação de eficiência de processos de tratamento e relacionados às exigências da legislação nacional são listadas a seguir.

2.1.1.1 Temperatura

A temperatura é a grandeza física responsável por mensurar o estado de agitação das partículas de uma determinada amostra. Os valores desse parâmetro são importantes e devem ser monitorados, pois estão diretamente relacionados com a concentração de saturação de oxigênio dissolvido na amostra e nas taxas da cinética de reação nos processos bioquímicos. A concentração de O.D diminui com o aumento da temperatura e a atividade biológica aumenta com a elevação da temperatura. Desta forma, uma faixa ótima de operação de processos de tratamento biológico são mantidos entre 25 a 35 °C.

2.1.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é um parâmetro importante de controle, uma vez que afeta gosto, corrosividade, eficiência de processo de desinfecção e processos de tratamento, tais como coagulação e

oxidação biológica. O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio. Os efluentes sanitários normalmente apresentam valores típicos de pH entre 6,50 e 7,50.

2.1.1.3 Condutividade elétrica

O parâmetro condutividade mede a capacidade de uma amostra conduzir corrente elétrica. A condutividade está associada ao teor de sólidos totais dissolvidos (STD) na solução aquosa, ou seja, relacionado com a presença de íons na amostra. Os valores são expressos em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e o valor típico da água potável é de $0,05 \mu\text{S}/\text{cm}$, para efeitos comparativos.

2.1.1.4 Cor e Turbidez

De maneira geral, podemos assumir que o parâmetro cor está relacionado com a quantidade de matéria em solução na amostra, ou seja, sólidos dissolvidos totais (SDT), enquanto, o parâmetro turbidez está relacionado com a quantidade de matéria em suspensão na amostra, ou seja, sólidos suspensos totais (SST). A cor de valor igual a 1,00 unidade uH (Hazen), é produzida por 1 mg de platina (1,00 litro de solução de K_2PtCl_6). A turbidez de valor igual a 1 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) ou uT é produzida por 1 mg de óxido de silício (1,00 litro de solução de SiO_2).

2.1.1.5 Oxigênio dissolvido (OD), Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)

De acordo com Ferreira (2002) o parâmetro oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros para analisar as características químicas e biológicas da amostra. A concentração de O.D por variar em função da temperatura, salinidade e da pressão. De forma geral, a solubilidade dos gases aumenta com a diminuição da temperatura e da salinidade. Na Figura 1 é possível verificar a solubilidade do oxigênio em água a várias temperaturas, na pressão atmosférica de 1,00 atm. O oxigênio dissolvido nas águas é essencial para a manutenção da vida de vários organismos aquáticos. Normalmente, os ambientes aquáticos necessitam de pelo menos 50 % da concentração de saturação de oxigênio dissolvido (aprox. $4,00 \text{ mg}/\text{L}$) para o desenvolvimento de peixes de melhor qualidade. No entanto, quando ocorre o lançamento de um determinado efluente em um corpo d'água, imediatamente as características químicas, físicas e biológicas são alteradas. Desta forma, gerando uma demanda bioquímica de oxigênio sobre a disponibilidade de oxigênio dissolvido no local. Por exemplo, ocorre um aumento da carga orgânica, refletindo-se no aumento da DBO (demanda bioquímica de oxigênio), da DQO

(demanda química de oxigênio) e, conseqüentemente, uma depleção da concentração do oxigênio dissolvido, devido ao uso do oxigênio nas atividades metabólicas de microrganismos aeróbios, os quais utilizam a matéria orgânica lançada e os compostos químicos como fonte de energia para o seu desenvolvimento. Sendo assim, o parâmetro oxigênio dissolvido é fundamental para a respiração dos microrganismos aeróbios para a realizam a degradação bioquímica da matéria orgânica, transformando os compostos orgânicos em substâncias mais simples, estabilizados e gases.

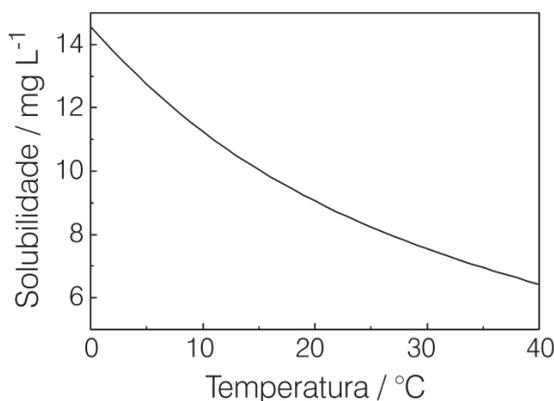


Figura 1. Solubilidade do oxigênio em água a várias temperaturas, na pressão atmosférica de 1,00 atm (760 mmHg). (FIORUCCI, 2004)

De forma resumida, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a medida indireta para quantificar a matéria orgânica presente na amostra. Este parâmetro é de fundamental importância para a definição do grau de poluição do efluente e para determinar o dimensionamento e cálculos de eficiência dos processos de tratamento. Os resultados de DBO indicam a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica presente numa amostra, após um período de 5 dias e a uma temperatura padrão de 20 °C. Os efluentes sanitários apresentam valores típicos de DBO variando entre 100 e 400 mg/L.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar o conteúdo orgânico total de uma amostra, sendo oxidado por dicromato ou permanganato de potássio em uma solução ácida. Em geral, a DQO dos efluentes sanitários varia entre 200 e 800 mg/L. A relação entre esses dois parâmetros (DQO/DBO) varia em torno de 1,70 e 2,50.

2.1.1.6 Nutrientes (Nitrogênio e Fósforo)

No contexto de tratamento de efluentes, os elementos nitrogênio e fósforo são caracterizados como nutrientes que limitam a capacidade de crescimento de outros organismos. O nitrogênio constitui aproximadamente 78 % em volume da atmosfera terrestre, sendo também o composto essencial de proteínas em todos os seres vivos e detectável em diversos depósitos minerais na forma de nitratos. Na matéria orgânica presente nos efluentes sanitários, o nitrogênio está presente na forma de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato ou gás nitrogênio. O ciclo do nitrogênio da natureza depende da ação de bactérias específicas para a decomposição e posterior fotossíntese para recomposição da matéria orgânica. A Figura 2 apresenta o ciclo do nitrogênio. O fósforo está presente nos efluentes sanitários na forma de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. A forma de poluição mais conhecida por causa de nutrientes é o da alta produção de algas em lagos e reservatórios de água doce, denominado de eutrofização, quando os efluentes sanitários não tratados são lançados em lagos e reservatórios, permitindo a produtividade das algas de forma excessiva.

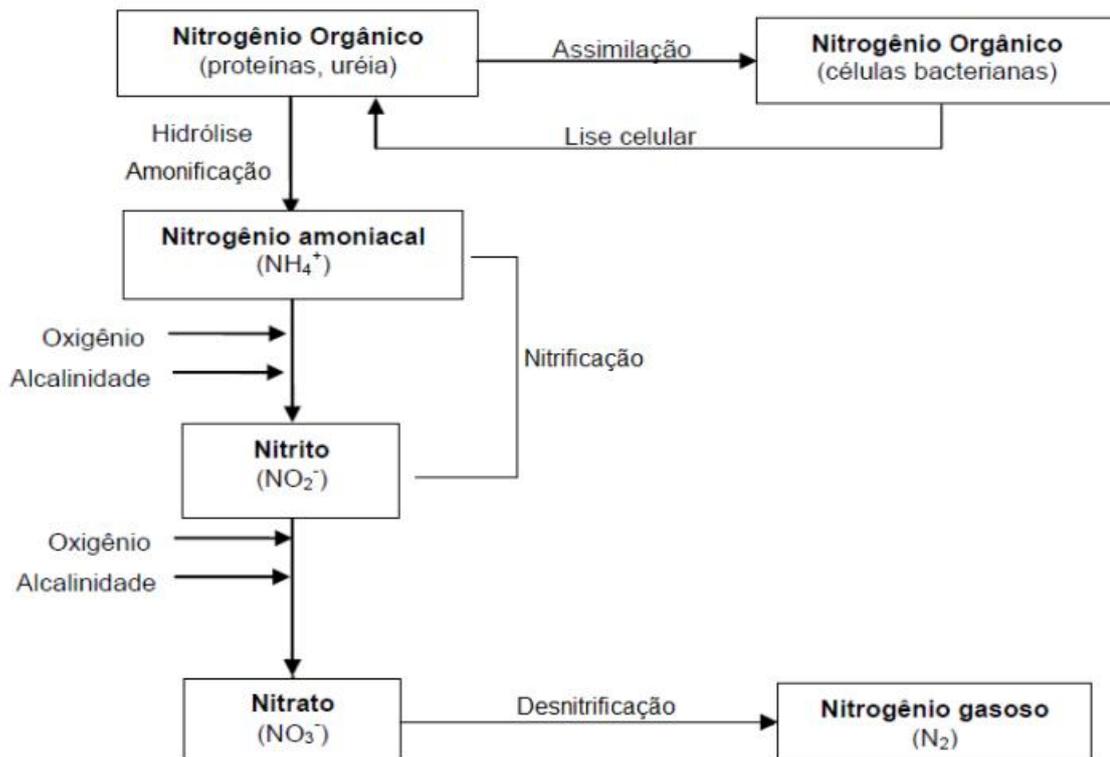


Figura 2. Etapas da transformação do ciclo do nitrogênio. (Metcalf e Eddy, 2003)

2.1.2 Características dos efluentes

A Tabela 1 apresenta os valores típicos para os principais parâmetros de qualidade nos efluentes sanitários.

Tabela 1. Valores típicos de parâmetros em efluentes sanitários. (Jordão, 2005)

Parâmetro	Unidade	Fraco	Médio	Forte
Temperatura	°C		$T \approx T_{amb}$	
pH	[-]		6,50 – 7,50	
DBO	mg/L	100	200	400
DQO	mg/L	200	400	800
Nitrogênio total	mg/L	20	40	85
Fósforo Total	mg/L	5	10	20

2.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e lixiviado de aterro sanitário

2.2.1 Resíduos sólidos e Composição

De acordo com a ABNT:NBR 10004/2004, os resíduos sólidos podem ser classificados em dois grupos, sendo eles: resíduos classe I (perigosos) e os resíduos classes II (não inertes e inertes). Os resíduos sólidos urbanos, vulgarmente chamados como lixo urbano, são gerados por meio das atividades antrópicas, basicamente distribuídas em doméstica, comercial e industrial, e com isso são classificados como resíduo classe II. Segundo Bidone e Povineli (1999), esses resíduos são originados basicamente pelo descarte de lixo residencial, comercial, varrição, feiras livres e outros. A composição física é bastante variável, justificada principalmente, pelas diferenças econômicas e culturais do país. A Tabela 2 apresenta as principais materiais encontrados nos resíduos sólidos urbanos no país, segundo o Manual de Gerenciamento Integrado do Resíduos Sólidos (IPT/CEMPRE, 2000).

Tabela 2. Composição média do resíduo sólido urbano. (IPT/CEMPRE, 2000)

Composição	Principais exemplos	Percentual em peso (%)
Papel e papelão	Jornais, revistas, caixas e embalagens	24,50
Plástico	Garrafas, frascos e embalagens	2,90
Vidro	Garrafas, frascos e copos	1,60
Metal ferroso	Latas	2,30
Matéria orgânica	Restos de comida	52,50
Outros	Roupas, resíduos domésticos.	16,20
Total		100,00

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2017), a população brasileira apresentou um crescimento na geração de RSU de 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração per capita de RSU apresentou um aumento de 0,48%. O relatório informa que a geração total de resíduos aumentou 1% no mesmo período, atingindo um total de 214.868 toneladas diárias de RSU no país. A Figura 3 apresenta os valores de geração de RSU total e a contribuição per capita.

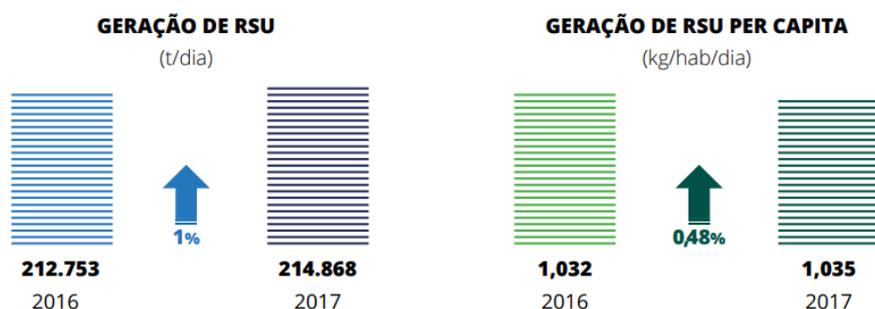


Figura 3. Geração de Resíduo Sólido Urbano (RSU) no Brasil. (ABRELPE, 2017)

2.2.2 Aterro sanitário e lixiviado

Segundo a ABNT (1992), o aterro sanitário consiste em uma técnica de engenharia adequada para a disposição de resíduos em solo com o objetivo de mitigar os impactos ambientais, danos à saúde pública e a segurança, no qual deve ser acompanhada da compactação, destinando os diversos materiais sólidos em uma menor área e volume possível. O procedimento é seguido do seu soterramento no encerramento das atividades, constituindo assim as células de lixo. A Figura 4 apresenta o fluxograma de funcionamento e estrutura das instalações típicas de um aterro sanitário. As células possuem uma camada de geomembrana impermeabilizada em sua base que impede o contato dos resíduos com o solo e o lençol freático, evitando assim a contaminação dos recursos naturais. As estruturas possuem um sistema de drenagem de gás e de lixiviado (chorume) que é enviado para a estação de tratamento. Ambos os produtos são gerados por meio da decomposição anaeróbia da matéria orgânica confinada no interior das células do aterro.



Figura 4. Representação de um aterro sanitário. (CICLUS, 2016)

Segundo a ABNT: NBR 8419 (1992), o lixiviado, conhecido popularmente como chorume, pode ser definido como um efluente líquido percolado contaminado devido ao resíduo depositado e emitido por um aterro sanitário ou lixão, produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como característica a cor escura, o mau cheiro e a elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

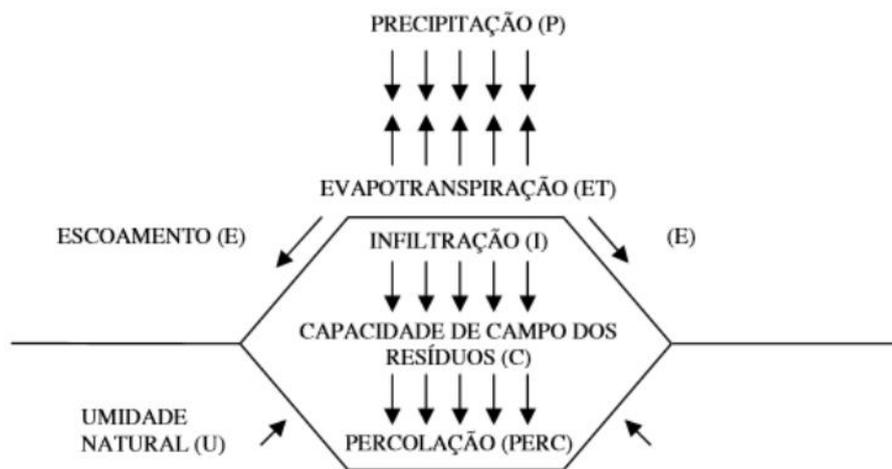


Figura 5. Balanço hídrico da formação de lixiviado. (MORAVIA, 2010)

A Tabela 3 apresenta as principais variáveis da composição do lixiviado gerado em aterros sanitários do país.

Tabela 3. Composição média do lixiviado em aterros no Brasil. (ABES, 2009)

Variável	Faixa Máxima	Faixa Mais Provável	FVMP* (%)
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	750 – 11.400	750 – 7.100	69
Dureza (mg/L CaCO ₃)	95 – 3.100	95 – 2.100	81
Condutividade (µS/cm)	2950 – 2.500	2950 – 17.660	77
DBO (mg/L O ₂)	<20 – 30.000	<20 – 8.600	75
DQO (mg/L O ₂)	190 – 80.000	190 – 22.300	83
Óleos e graxas (mg/L)	10 – 480	10 – 170	63
Fenóis (mg/L C ₆ H ₅ OH)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58
NTK (mg/L N)	80 – 3.100	Não há	-
N-amoniaco (mg/L N)	0,4 – 3.000	0,4 – 1.800	72
N – orgânico (mg/L N)	5 – 1.200	400 – 1.200	80
N – nitrito (mg/L N)	0 – 50	0 – 15	69
N – nitrato (mg/L N)	0 - 11	0 - 3,5	69
P-total (mg/L)	0,1 – 40	0,1 – 15	63
Sulfeto (mg/L)	0 – 35	0 – 10	78
Sulfato (mg/L)	0 – 5.400	0 – 1.800	77
Cloreto (mg/L)	500 – 5.200	500 – 3.000	72
Sólidos Totais (mg/L)	3.200–21.900	3.200 – 14.400	79
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	630 – 20.000	630 – 5.000	60
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	2.100–14.500	2.100 – 8.300	74
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	5 – 2.800	5 – 700	68
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	5 – 530	5 – 200	62
Ferro (mg/L)	0.01 – 260	0,01 – 65	67
Manganês (mg/L)	0.04 – 2,6	0,04 – 2,0	79
Cobre (mg/L)	0.005 – 0,6	0,05 – 0,15	61
Níquel (mg/L)	0.03 – 1,1	0,03 – 0,5	71
Cromo (mg/L)	0.003 – 0,8	0,003 – 0,5	89
Chumbo (mg/L)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64
Zinco (mg/L)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70

*FVMP: Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

2.3 Granulados Bioclásticos (*Lithothamnium calcareum*)

Os granulados bioclásticos são materiais sólidos de origem marinha provenientes de algas calcárias fossilizadas. O termo bioclástico remete ao fato de ser um composto formado por fragmentos de material esquelético orgânico (DIAS, 2001). Devido as suas características estruturais e superficiais, esse material torna-se um composto com excelente potencial para tratamento de efluentes. De acordo com Briand (1976), as diversas aplicações dos bioclásticos podem ser: agricultura, potabilização de águas, indústria de cosméticos, dietética, procedimentos cirúrgicos, nutrição animal, tratamento de água, desnitrificação de águas e outros.



Figura 6. *Lithothamnium calcareum*. Fonte: Algarea Mineração S/A, 2016.

A plataforma continental brasileira representa, a nível global, a maior extensão coberta por sedimentos carbonáticos, sendo o potencial de exploração econômica dos depósitos destas algas maiores do que os depósitos franceses (DIAS, 2000). A plataforma francesa possui 33 bilhões de m³, mas apenas 600 milhões de m³ são de reservas exploráveis, por causa da profundidade, sobreposição de áreas de pesca ou reserva ecológica (LOPES, 2012). A empresa Algarea Mineração S/A é a responsável pela exploração do *Lithothamnium calcareum* no Brasil. As reservas estão localizadas na costa do estado do Espírito Santo a aproximadamente 24 km do litoral de Itapemirim a uma profundidade de 13 a 20 metros. O material é extraído por meio de navios equipados com dragas com caçambas e passam pelo processo de beneficiamento com lavagem, secagem, moagem e classificação. Segundo Rocha (2001), cerca de 4,0 milhões t/ano de diversos tipos de algas são extraídas em todo mundo, mostrando a grande importância tanto do ponto de vista socioeconômico como ambiental para a humanidade. Segundo Lopes (2012) durante o processo de fossilização desenvolve-se um esqueleto rico em carbonato de cálcio (cerca de 95 a 99%) e carbonato de magnésio e outros minerais em menores quantidades.

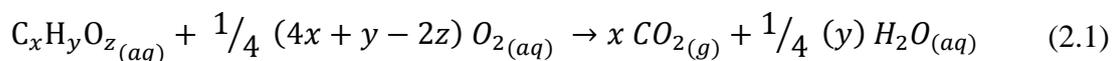
2.4 Processos de Tratamento de Efluentes

De acordo com Von Sperling (1996) os processos de tratamento de efluentes podem ser definidos como um conjunto de operações unitárias com o objetivo de remover compostos potencialmente poluidores ou realizar a transformação física ou química dessas substâncias em formas aceitáveis e estáveis. Os processos podem ser classificados de acordo com os seus mecanismos de atuação, sendo eles: físicos, químicos e biológicos. Os processos biológicos podem ser subdivididos em dois grandes grupos, os aeróbios e os anaeróbios. Durante o tratamento de efluentes nos processos aeróbios, os microrganismos são responsáveis por biooxidar a matéria orgânica utilizando o oxigênio molecular (O_2) como receptor de elétrons.

2.4.1 Processo de Lodos Ativados

2.4.1.1 Aspectos gerais

Segundo Nour (2001), o processo de lodos ativados, modelo aeração prolongada, é um dos sistemas mais utilizados nas operações de tratamento de efluentes. O sistema de lodos ativados foi desenvolvido na Inglaterra por Arden e Lockett em 1914. A unidade operacional é composta principalmente de um biorreator, também denominado de tanque de aeração, de um decantador secundário, onde ocorre a etapa de sedimentação, de um sistema de recirculação do lodo e um sistema de aeração, onde um equipamento eletromecânico faz a injeção de ar no reator. O lodo ativado sedimentado no decantador secundário é basicamente composto por microrganismos, sendo recirculado para o biorreator com o objetivo de manter alta a concentração de microrganismos no sistema e otimizar a eficiência e a velocidade do processo de degradação da matéria orgânica. A Equação 2.1 descreve o mecanismo de uma reação genérica do metabolismo aeróbio de um composto orgânico, representado por $C_xH_yO_z$.



2.4.1.2 Parâmetros operacionais

A Figura 7 apresenta as variáveis fundamentais para a operação do processo de lodos ativados, aeração prolongada.

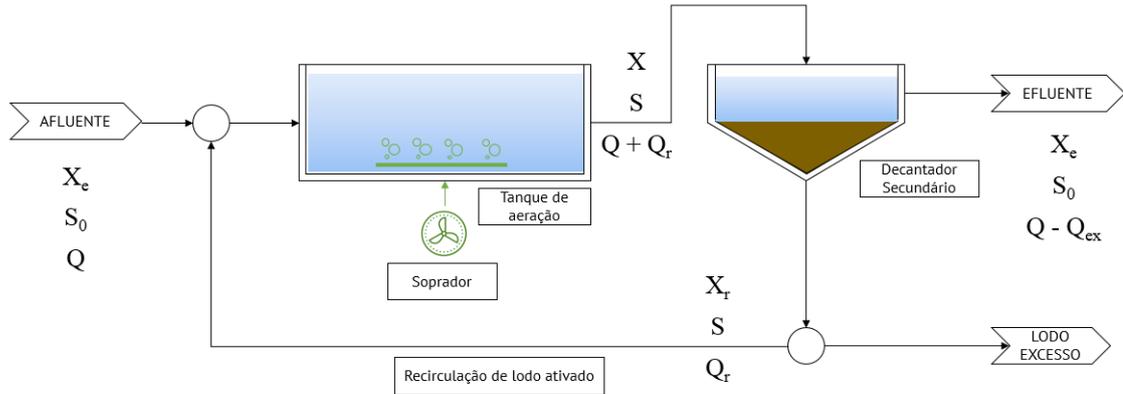


Figura 7. Esquema e simbologia do processo de lodos ativados.
Adaptado, Cavalcanti (2001).

Onde,

X_o = concentração de sólidos em suspensão no afluente (mgSSV/L ou gSSV/m³)

X_e = concentração de sólidos em suspensão no efluente (mgSSV/L ou gSSV/m³)

S_o = concentração de substrato no afluente (mgDBO/L ou DBO/m³)

S ou X = concentração de sólidos ou substrato no reator (mg/L ou g/m³)

X_r = concentração de sólidos no lodo reciclado (mg/L ou g/m³)

Q = vazão (m³/d)

Q_r = vazão de recirculação ou reciclo (m³/d)

Q_{ex} = vazão de lodo excedente (m³/d)

No processo de lodos ativados aeração prolongada são definidos alguns parâmetros operacionais, listados a seguir:

a) Relação Alimento/Microrganismo (A/M): Esse parâmetro expressa relação entre o alimento presente no efluente (substrato) e a quantidade de microrganismo no tanque de aerção (SSVTA). Estudos mostram que existe uma correlação aproximada entre a relação A/M e a eficiência de remoção de DBO no processo. A norma brasileira recomenda a faixa de 0,05 a 0,15 kgDBO/ kgSSTVA.d.

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \times S_o}{X_{av} \times V} \quad (2.2)$$

b) Tempo de Retenção Hidráulica (TRH): O TRH é o tempo médio de permanência do efluente líquido no reator biológico (BITTON, 1999);

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (2.3)$$

c) Idade do lodo (θ_c): Representa o tempo médio de permanência de cada partícula de lodo no sistema e é definido como a razão entre a massa de lodo presente no sistema e a massa de lodo descartado.

$$\theta_c = \frac{m_r}{m'} \quad (2.4)$$

Onde,

m_r = massa de lodo presente no reator.

m' = massa de lodo biológico retirada do reator por unidade de tempo.

d) Índice volumétrico do lodo (IVL): Este parâmetro representa o volume ocupado por um grama de sólidos em suspensão (seco), após sedimentação de 30 minutos.

$$IVL = \frac{Q_r}{(Q + Q_r) \times X_{av}} \quad (2.5)$$

onde,

X_{av} = Concentração de organismos vivos.

2.4.2 Processo PACT - *Powdered Activated Carbon Treatment*

O processo PACT foi desenvolvido, no início dos anos 70, pela Dupont com o objetivo de promover a remoção de alguns compostos que apresentam baixa biodegradabilidade. (BORNHARDT, 1997). O princípio do tratamento consiste em combinar o processo de lodos ativados com a adição de carvão ativado pulverizado (CAP) no interior do tanque de aeração, onde ocorre simultaneamente o efeito sinérgico da oxidação biológica e a adsorção física.

Segundo Eckenfelder (1989), o carvão e o adsorvato permanecem no reator por um tempo igual à idade do lodo, enquanto na ausência do CAP, o adsorvato permaneceria no sistema por apenas o tempo correspondente ao TRH. Desse modo, a idade do lodo afeta a eficiência do CAP e para lodos de maior idade, a remoção de orgânicos por unidade de carvão é aumentada.

Como no processo de lodos ativados é necessário se fazer a remoção do lodo excedente para se controlar a idade de lodo, parte do CAP é removida do sistema a cada retirada de lodo, sendo necessária uma reposição do carvão para que sua concentração no reator se mantenha constante. No caso de remoção de lodo realizada diretamente no tanque de aeração, a reposição diária pode ser calculada pela Equação 2.6, recomendada por Eckenfelder (1989), a seguir.

$$X_{ca} = \frac{X_{ci} \times \theta_c}{TRH} \quad (2.6)$$

onde,

X_{ca} = Concentração de CAP no interior do reator (mg/L)

X_{ci} = Reposição de CAP (mg/L)

θ_c = Idade do Lodo (d)

TRH = Tempo de retenção hidráulica (d)

A Tabela 4 apresenta alguns parâmetros de caracterização do carvão ativado em comparação com o material na forma granular e pulverizado.

Tabela 4. Comparação CAP x CAG (METCALF & EDDY, 2003)

Parâmetro	Unidade	CAG	CAP
Área superficial	m/g	700-1300	800-1800
Massa específica	kg/m ³	400-500	360-740
Densidade da partícula úmida	kg/L	1,0-1,5	1,3-1,4
Tamanho de partícula		0,1-2,36mm	5-50 µm
Número de iodo		600-1100	800-1200
Cinzas	%	≤ 8	≤ 6

2.5 Trabalhos com o uso do PACT.

Nesta seção são apresentados os principais trabalhos mais recentes com a utilização do processo PACT direcionado para o tratamento de efluentes.

Machado (2010) estudou os processos de lodos ativados combinado com carvão ativado em pó no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo. Neste trabalho, foram utilizados dosagens de CAP em 1, 2 e 5 g/L e os resultados encontrados relataram uma eficiência de 85 a 95 % para DQO e valores em torno de 90% para nitrogênio amoniacal.

Maia (2012) pesquisou o uso de adição de carvão ativado no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e doméstico, onde foram realizados ensaios de biotratabilidade com a utilização de dois diferentes tipos de carvão ativado (CAP – carvão ativado pulverizado e CAG – carvão ativado granulado). Os dois tipos foram usados em experimentos em batelada nas concentrações de 3, 5 e 10 g/L, que mostraram que o CAP apresentou maiores níveis de remoção de matéria orgânica, obtendo valores de eficiência de 74% na remoção de COT (carbono orgânico total), 65% de DQO e 79% do nitrogênio amoniacal do lixiviado do aterro sanitário.

Bou (2015) examinou o tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sintético por meio do processo PACT. A pesquisa foi realizada com um planejamento experimental de 16 reatores em batelada em escala de bancada. As concentrações de CAP foram variadas em 0, 2, 4 e 6 g/L e a proporção de lixiviado/esgoto em 0, 2, 5 e 10 % v/v. Os resultados obtidos no encerramento da pesquisa permitiram concluir que quanto menor a proporção de lixiviado e maior a concentração de CAP melhor é a eficiência do sistema, conseguindo atingir aproximadamente 77 % da remoção de DQO no processo contendo 2% de lixiviado/esgoto e 2 g/L de CAP.

Dias (2017) avaliou os processos de tratamento PACT com amostras de diferentes misturas de lixiviado/esgoto sintético (0, 2, 5 e 10%) e concentrações de CAG (0, 2, 4 e 6 g/L) operando em tempos de residência de 23h e idade de lodo de 28 dias. Na pesquisa, conclui-se que o processo mais eficiente foi com o uso de CAP atingindo uma remoção de 79% de matéria orgânica em termos de DQO.

2.6 Trabalhos com o uso de granulado bioclástico.

Nesta seção são apresentados os principais trabalhos mais recentes com a utilização do material granulado bioclástico (*Lithothamnium calcareum*).

Santana (2016) avaliou a remoção de nitrogênio amoniacal de lixiviados de aterros sanitários por meio da aplicação de granulados bioclásticos. O procedimento experimental utilizado para a realização deste trabalho constituiu-se em um agitador magnético, com rotação de 280 rpm, em batelada e escala de bancada e um béquer de 250mL. A concentração de granulado foi fixada em 80 g/L e 250 ml de lixiviado bruto, durante um período de residência de 15 horas. Os resultados obtidos apontaram uma eficiência de 42,23 % na remoção de nitrogênio amoniacal em um tempo de residência de 2 horas de contato.

Caletti (2017) investigou a eficiência do *Lithothamnium calcareum* na remoção do fósforo de lixiviado de aterro sanitário. Neste trabalho foi realizado em duas etapas, a primeira com ensaios de remoção em amostras de fósforo formuladas a partir de solução de KH_2PO_4 , variando a concentração em 0,00 (branco); 1,40; 12,30 e 152,60 mg/L e mantendo uma concentração fixa de granulado em 40 g/L. A segunda etapa foi realizada com ensaios de remoção em amostras de 1,00 litro de lixiviado aplicando diferentes concentrações de granulado (1, 5, 10, 20, 30 e 40 g/L). Os resultados apontaram na primeira etapa de 100%, 91% e 83%, respectivamente e para a segunda etapa 81,50 % na remoção de fósforo com a aplicação de 40 g/L e eficiência de 77 % com a aplicação de 20 g/L de granulado bioclástico.

Nascimento (2017) estudou a cinética de remoção de fosfato por granulado bioclástico, de soluções sintéticas de diferentes concentrações de fósforo (5, 50 e 500 mg/L). As soluções foram preparadas utilizando KH_2PO_4 . A concentração de granulado foi fixada em 40 g/L e os procedimentos experimentais foram conduzidas em *Jar Test* com rotação de 180 rpm em um período de 24 horas. Os resultados demonstraram elevada eficiência na remoção de fosforo, sendo os valores de 99,93 %, 92,36 % e 78,44%, respectivamente.

Veneu (2017) avaliou a aplicação de granulados bioclásticos para a remoção de chumbo, cádmio e níquel em soluções aquosas. Neste trabalho foram investigados os efeitos do pH da solução, faixa granulométrica e concentração do material granulado, concentração inicial do íon metálico na solução e o efeito do tempo de contato nos processos de remoção. Os resultados obtidos durante a pesquisa mostraram eficiência elevadas superiores a 97% na remoção de chumbo e cádmio das soluções aquosas nas faixas de pH em torno de 3 a 7, tamanho da partícula menores do 38 μm , concentração de granulado de 1,00 mg/L e tempo de contato em torno de 20min.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais utilizados e a metodologia adotada na realização dos experimentos. A pesquisa foi realizada na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) nas instalações do Instituto de Tecnologia (IT) no campus de Seropédica/RJ. Os equipamentos foram executados nos Laboratório de Escoamento de Fluidos (LEF) e Laboratório de Monitoramento Ambiental I – Água e Efluentes, no qual um biorreator foi submetido a uma série de 04 (quatro) etapas de experimentos com o objetivo de avaliar a eficiência na remoção de carga orgânica e poluentes durante as diferentes fases de tratamento de amostras de efluente sintético. No final, são apresentadas as técnicas analíticas utilizadas para a caracterização dos parâmetros de qualidade do efluente.

3.1 Materiais e Equipamentos

Os materiais e equipamentos utilizados nos experimentos são listados a seguir:

- 1 – Biorreator Tec-Bio. Fabricante: TECNAL. Volume operacional: 1,00 litros.
- 2 – Agitador eletromagnético para conjunto de peneiras. Marca: BERTEL
- 3 – Conjunto de peneiras de análise granulométrica. Marca: BERTEL. MESH: 14 (1.18 μm) / 20 (850 μm) / 28 (600 μm) / 35 (425 μm) / 48 (300 μm) / 100 (150 μm) / Fundo.
- 4 – Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900
- 5 – Balança analítica. Marca: SHIMADZU. Modelo: AUY220.
- 5 – Balança analítica. Marca: BALMAK. Modelo: LBP 15.
- 6 – DBOTRAK II. Medidor respirométrico. Marca: HACH. 2952400-BR. Acompanha os seguintes itens: DBOTRAK II Garrafa âmbar (6 unidades); Barra magnético para agitador (6 unidades); Copo de selagem de borracha (6 unidades); DBO solução nutriente *buffer pillow*; Hidróxido de sódio PA, comprimido. Teor: 98%.
- 7 – Incubadora B.O.D refrigerada tipo geladeira. Marca: SOLAB. Modelo: SL 200/334.
- 8 – Termo reator. Marca: HACH. Modelo DRB200
- 9 – Medidor de pH e temperatura. Marca: QUALXTRON. Modelo: QX 1500 Plus.
- 10 – Condutivímetro. Marca: DIGIMED. Modelo: DM-32
- 11 – Medidor de Turbidez. Marca: HANNA Instrumentos. Modelo: HIS3703
- 12 – Medidor de oxigênio dissolvido. Marca: LUTRON. Modelo: DO5519
- 13 – Conjunto de tubos de ensaio com tampa rosqueável de 10 mL
- 14 – Provetas graduadas;

- 15 – Balão volumétrico de vidro com tampa;
- 16 – Pipeta volumétrica automática com ponteiros;
- 17 – Béquer de vidro;
- 18 – Frasco em vidro incolor com tampa azul de rosca em polipropileno.
- 19 – Vidro de relógio;
- 20 – Cronômetro digital. Marca: UNILAB. Modelo: RS-008;
- 21 – Papel de Filtro Quantitativo. Marca: Unifil. Modelo: C42
- 22 – Estufa digital de esterilização e secagem. Marca: STEEL. Modelo: SSD 85L
- 23 – Chapa de aquecimento. Marca: TECNAL. Modelo: TE-038/2-MP
- 24 – Funil de vidro.
- 25 – Equipamentos de proteção individual: jaleco, óculos de proteção, luva de látex e máscara.

3.2 Reagentes

Os reagentes utilizados são listados a seguir, de acordo com as respectivas aplicações:

Reagentes utilizados na preparação do efluente sintético:

- 1 – Extrato de carne (em pó). Código: 2139. Frasco com 500 g. Marca: ISOFAR
- 2 – Ureia, PA. Frasco com 500 g. Marca: PROQUIMIOS
- 3 – Sulfato de magnésio, PA. Frasco com 500 g. Marca: PROQUIMIOS
- 4 – Cloreto de sódio, PA. Cristalizado. Frasco com 500 g. Marca: PROQUIMIOS
- 5 – Fosfato de potássio monobásico, PA. Frasco com 500 g. Marca: PROQUIMIOS
- 6 – Cloreto de cálcio, PA (DIHIDRATADO). Frasco com 500 g. Marca: PROQUIMIOS
- 7 – Peptona de caseína. Código: 2116. Frasco com 500 g. Marca: ISOFAR
- 8 – Água ultrapura. Marca: ALFAKIT. Código: 1870. Volume: 500 mL.

Reagentes utilizados na preparação das curvas de calibração:

- 1 – Padrão de D.Q.O (Demanda Química de Oxigênio) ($1000 \pm 0,06$ mg/L). Código: 1123. Frasco com 100 mL. Marca: ALFAKIT.
- 2 – Padrão de fósforo total ($100 \pm 0,06$ mg/L). Código: 4807. Frasco com 100 mL. Marca: ALFAKIT.

Reagentes utilizados na determinação de parâmetros de qualidade:

- 1 – Spectro Kit DQO BC. Código: 5836. Marca: ALFAKIT.
- 2 – Spectro Kit DQO Efluentes. Código: 949. Marca: ALFAKIT.
- 3 – Spectro Kit Fósforo Total A/C. Código: 1515. Marca: ALFAKIT.
- 4 – Spectro Kit Fósforo Vanadomolibdico. Código: 213. Marca: ALFAKIT.

Reagentes utilizados nas etapas desenvolvidas no reator:

- 1 – Granulado bioclástico. Faixa granulométrica menor do que 150 μm . Origem: ALGAREA.
- 2 – Carvão ativado puríssimo. Código: 1252. Frasco com 500 g. Marca: ISOFAR.
- 3 – Lixiviado. Origem: Centro de Tratamento de Resíduos (CTR – Seropédica).
- 4 – Lodo ativado biológico. Origem: Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)

3.3 Unidade Experimental

Os experimentos foram realizados em um biorreator de bancada tipo tanque agitado e aerado, TEC-BIO, TECNAL, Brasil. O biorreator dispõe de volume total de 1,50 L, utilizando um volume operacional de 1,00 L, com altura de 0,450 m (vaso de vidro com a tampa de inox). O sistema dispõe de sensores para a medição de parâmetros, como por exemplo, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, nível, agitação e pressão. O equipamento consiste em um módulo de aeração, um módulo de bombas peristálticas com 04 (quatro) unidades com capacidade de bombeamento de 20 mL/minuto, um módulo de medição e atuação, um módulo de banho termostaticado, um módulo de suporte do vaso, um vaso de reação em vidro encamisado para controle de temperatura, uma tampa em aço inox, um motor de agitação, acessórios e um software de controle e monitoramento do sistema. As Figura 8 e Figura 9 apresentam o equipamento instalado no laboratório:



Figura 8. Foto da unidade experimental. (Fonte: Autor, 2018)



Figura 9. Módulo de vaso de reação do equipamento.
(Fonte: Autor, 2018)

Na Figura 10 pode ser identificados os seguintes componentes:



01 – Módulo de
aeração
(TEC-BIO-A)



02 – Módulo de
bombas peristálticas
(TEC-BIO-B)



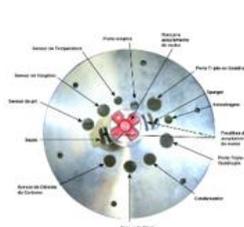
03 – Módulo de
medição e atuação
(TEC-BIO-C)



04 – Módulo de banho
termostatizado
(TEC-BIO-T)



05 - Módulo de suporte
e do vaso de reação
(TEC-BIO-V)



06 – Tampa
confeccionada em
aço inox.



07 – Motor com
sensor de velocidade
acoplado.



08 – Frascos para
coleta de amostra.

Figura 10. Módulos do equipamento. (Fonte: Manual de instruções. TEC-BIO v.2.4).
(Fonte: Autor, 2018)

O sistema de monitoramento e controle do reator possui um *software* associado ao equipamento que possibilitou monitorar as variáveis de interesse no processo de reação e fazer intervenções para obter o comportamento desejado durante o desenvolvimento da pesquisa. O programa tem capacidade de monitorar e realizar o controle do nível do líquido dentro do reator, monitoramento da pressão, temperatura, pH e da concentração de oxigênio dissolvido no sistema. Na Figura 11 é apresentada a janela principal do *software* do sistema, onde é possível realizar a operação, monitoramento, diagnóstico, calibração e configuração do sistema.

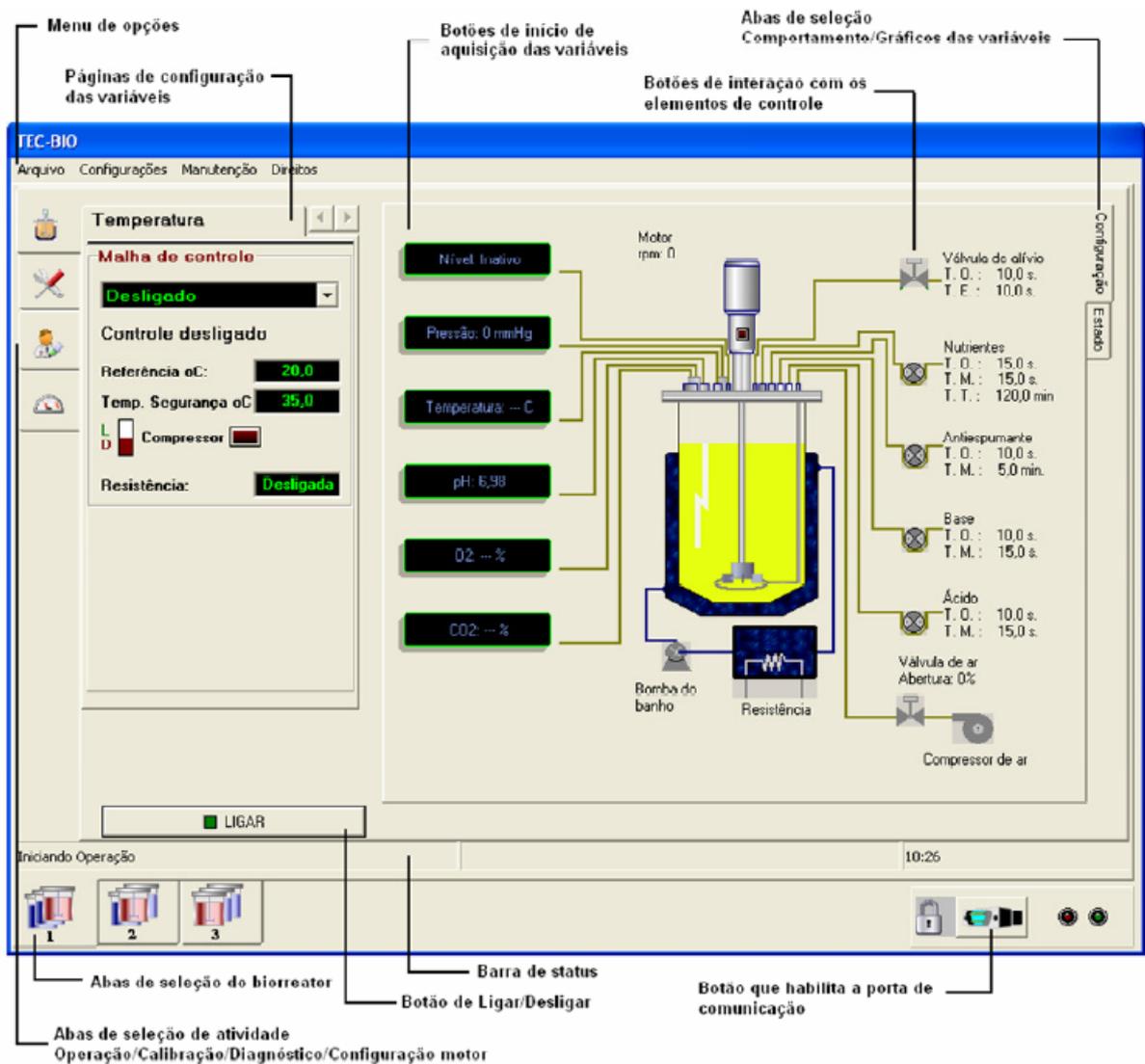


Figura 11. Janela principal do software de controle. (Fonte: Manual de instruções. TEC-BIO)

3.4 Procedimento Experimental

O desenvolvimento experimental foi realizado em 04 (quatro) procedimentos com a operação do reator em modo batelada em escala de bancada. Desta forma, a pesquisa está dividida nos experimentos apresentadas a seguir:

Experimento 01 – Processo de lodos ativados, modelo aeração prolongada;

Experimento 02 – Processo de lodos ativados, modelo aeração prolongada com a adição de granulado bioclástico no reator;

Experimento 03 – Processo PACT®; Processo de lodos ativados, modelo aeração prolongada com a adição de carvão ativado pulverizado no reator;

Experimento 04 – Processo de lodos ativados, modelo aeração prolongada com a adição de granulado bioclástico e 1,00 % v/v de lixiviado no reator;

A Tabela 5 apresenta as condições utilizadas em cada experimento reacional.

Tabela 5. Condições experimentais do reator em sistema batelada em cada procedimento.

Experimento 01	Experimento 02	Experimento 03	Experimento 04
Lodo Ativado	Lodo Ativado	Lodo Ativado	Lodo Ativado
Efluente sintético	Efluente sintético	Efluente sintético	Efluente sintético
-	Granulado bioclástico	Carvão ativado	Granulado bioclástico
-	-	-	Lixiviado (1% v/v)

A Tabela 6 apresenta as condições operacionais utilizadas no biorreator.

Tabela 6. Condições operacionais do biorreator.

Experimento	Duração (dia)	Temperatura (°C)	TDH (h)	Rotação/agitação (RPM)	Aeração (L/min)
01	5	25	23	100	2,00
02	3	25	23	100	2,00
03	3	25	23	100	2,00
04	3	25	23	100	2,00

A Figura 12 apresenta o fluxograma resumindo as etapas experimentais que serão detalhadas a seguir.

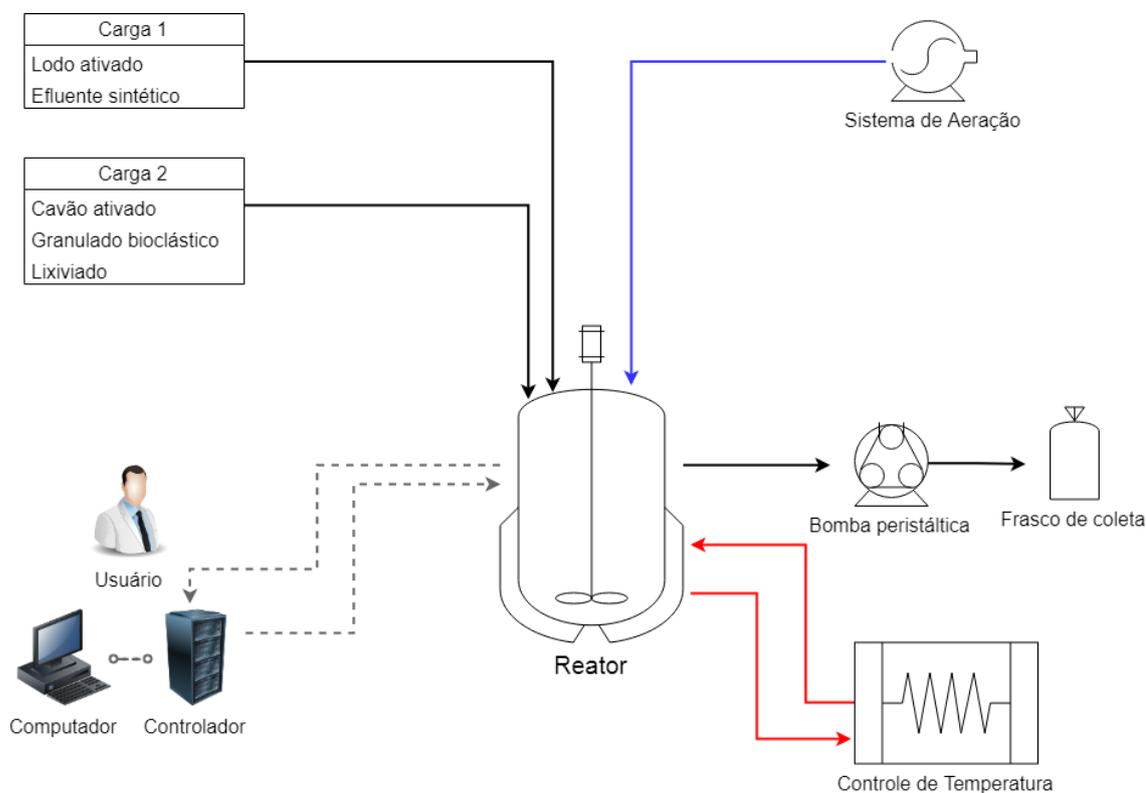


Figura 12. Fluxograma da unidade experimental. (Fonte: Autor)

O equipamento requer a utilização de um computador com sistema operacional compatível com o *software* de aquisição de dados e uma porta de comunicação serial (RS-232). O computador é ligado ao módulo de medição e atuação (TEC-BIO-C) através da porta serial fêmea, localizada na parte frontal inferior direita do equipamento. Na Figura 12 é possível visualizar a interface do usuário com o computador/controlador atuando na unidade experimental. Na parte superior do biorreator foi possível realizar a alimentação das cargas de acordo com as etapas planejadas para o procedimento experimental. Após a inserção das cargas, o sistema de aeração foi acionado e mantido em valor constante de 2,00 L/min, o sistema de controle da temperatura acionado e mantido no valor constante de 25 °C e o motor do sistema de agitação acionado e mantido no valor constante de 100 RPM. Após 23 horas de tempo de retenção hidráulica o sistema era desligado e iniciado o processo de sedimentação durante 1 hora. Em seguida, com o auxílio de uma bomba peristáltica e mangueira de silicone, a amostra foi coletada da parte superior do reator e transferida para um frasco de coleta.

3.4.1 Preparo do efluente sintético

A amostra de efluente sintético usado neste experimento foi preparada a partir das orientações contidas em Reis (2007) e Holler e Trösch (2001). A formulação é apresentada na Tabela 7, com as devidas modificações realizadas para garantir concentrações de acordo com a literatura brasileira do perfil de esgoto sanitário dos principais parâmetros físico-químicos compatíveis com as faixas típicas relatados por Von Sperling (1996).

Tabela 7. Composição do esgoto sintético.

Item	Componente	Concentração (mg/L)
1	Peptona de caseína	360
2	Extrato de carne	250
3	Ureia	100
4	Fosfato monobásico de potássio	26
5	Cloreto de sódio	14
6	Cloreto de cálcio di-hidratado	8
7	Sulfato de magnésio	4

O efluente sintético foi preparado na forma concentrada e mantido sob refrigeração. A formulação para a síntese do volume de 1,00 L do efluente sintético apresenta-se na Tabela 8. As quantidades de reagentes desta formulação são suficiente para produzir 20,00 L de efluente sintético diluído.

Tabela 8. Formulação do esgoto sintético concentrado.

Item	Componente	Massa (g)
1	Peptona de caseína	7,20
2	Extrato de carne	5,00
3	Ureia	2,00
4	Fosfato monobásico de potássio	0,52
5	Cloreto de sódio	0,28
6	Cloreto de cálcio di-hidratado	0,16
7	Sulfato de magnésio	0,08

O procedimento experimental para a síntese do efluente sintético concentrado consistiu em adicionar os reagentes, devidamente pesados em uma balança analítica de precisão, em um balão volumétrico de 1.000,00 mL, completando o volume com água ultrapura. A solução preparada foi homogeneizada até a dissolução completa e mantido sob refrigeração. A carga de

efluente sintético para alimentar o reator era produzido a partir do efluente sintético concentrado retirando-se uma alíquota de 50,00 mL do concentrado e avolumava-se com água destilada até completar 1.000,00 mL no balão volumétrico.

3.4.2 Lixiviado

O lixiviado utilizado nos experimentos foi coletado na Central de Tratamento de Resíduos do Rio de Janeiro – CTR, localizado no município de Seropédica, RJ. Foram coletados 2,0 L de amostra de lixiviado bruto. A amostra foi utilizada na formulação do efluente de carga da Etapa 04 no procedimento experimental na concentração de 1,00 % v/v. A Tabela 9 apresenta os valores típicos de caracterização do lixiviado de origem da CTR – Seropédica.

Tabela 9. Caracterização do lixiviado (CTR, 2018).

Item	Parâmetro	Símbolo	Resultado	Unidade
1	Temperatura	T	24,10	°C
2	Potencial hidrogeniônico	pH	8,45	[-]
3	Condutividade	-	19.458,00	μS/cm
4	Cor	-	4725,00	Pt/Co
5	Turbidez	-	164,00	NTU
6	Oxigênio dissolvido	OD	-	mg/L
7	Demanda bioquímica de oxigênio	DBO _{5,20}	2.444,00	mg/L
8	Demanda química de oxigênio	DQO	5.871,00	mg/L
9	Nitrogênio amoniacal	N	1.401,00	mg/L
10	Fósforo total	P	20,90	mg/L

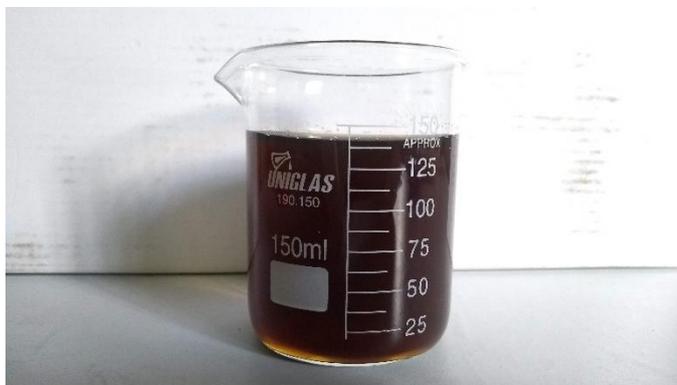


Figura 13. Amostra de lixiviado. (Fonte: Autor, 2018)

3.4.3 Preparo do granulado bioclástico

A amostra de granulado bioclástico foi fornecida pela empresa ALGAREA MINERAÇÃO S/A, localizada com sede na Rua Carlos Seidl, número 02, Caju – Rio de Janeiro, RJ CEP 20 931-003. A exploração desse material é realizada em um jazida localizada no estado do Espírito Santo, aproximadamente a 24 km do litoral de Itapemirim a uma profundidade de 13 a 20 m. O beneficiamento industrial do granulado é realizado executando as etapas de secagem, moagem, ensacamento e estocagem do minério. A amostra foi separada em diferentes faixas granulométricas através da realização de ensaios no agitador eletromagnético com conjunto de peneiras da marca BERTEL. O procedimento foi realizado no Laboratório de Escoamento de Fluidos (LEF) e uma alíquota de 450 g da amostra inicial (3500 g) foi processada constantemente por 30 minutos, usando uma série de 06 (seis) módulos de peneiras BERTEL com aberturas de MESH: 14 (1180 μm) / 20 (850 μm) / 28 (600 μm) / 35 (425 μm) / 48 (300 μm) / 100 (150 μm) e Fundo. Os módulos de peneiras foram ordenados de forma sequencial vertical ascendente, com a de fundo isenta de aberturas na primeira posição (parte inferior) e o módulo de peneira de maior abertura (1180 μm) na última posição (parte superior). Por fim, o equipamento foi fechado com a tampa e os parafusos de fixação para dar início ao procedimento. O objetivo desse preparo não visa obter o levantamento do perfil granulométrico do material e sim realizar a separação para obter o composto em uma faixa de menor granulometria para a aplicação no reator (<150 μm), ou seja, o material retido no módulo de fundo, com o propósito de otimizar a eficiência no processo de tratamento.

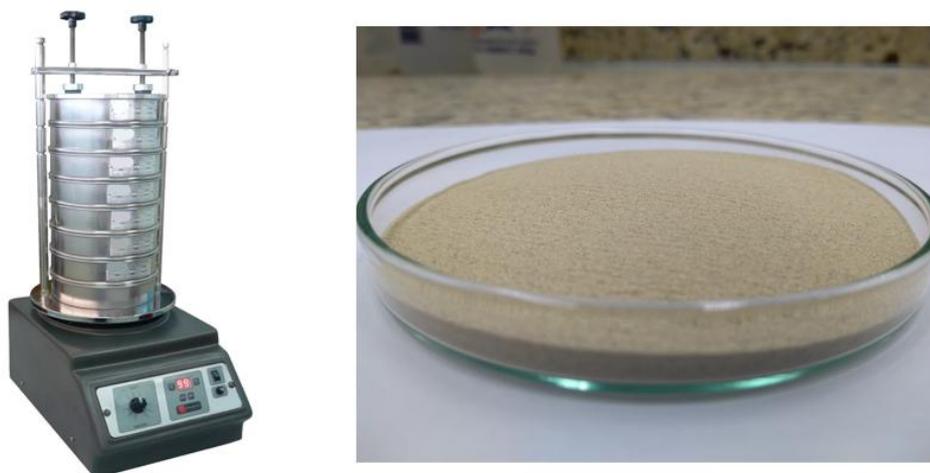


Figura 14. (a) Agitador eletromagnético; (b) amostra do granulado bioclástico.
(Fonte: Autor, 2018)

3.4.4 Preparo do biorreator

A mistura reacional foi preparada contendo 70% (v/v) de efluente sintético e 30% (v/v) de lodo ativado biológico para um volume de 1,00 L. Após a inserção da carga no reator, a tampa do mesmo foi fechada e o sistema de aeração acionado sendo mantido na faixa de 2,0 L/min, o sistema de agitação constante em 100 rpm e a temperatura do reator mantida constante em 25 °C com o auxílio do sistema de controle e atuação no processo. Para a avaliação do tratamento combinado para a etapa 04, o efluente sintético foi formulado com a adição de 1,00% (v/v) de lixiviado em sua composição.

Inicialmente, o reator foi submetido ao processo de inoculação com lodo concentrado proveniente da linha de recirculação, coletado de uma estação de tratamento de efluente sanitário (ETE) de grande porte localizada na cidade do Rio de Janeiro, RJ.

O reator de escala de laboratório, ver Figura 9, com capacidade operacional de 1,00 L foi preenchido com 300,00 mL de lodo ativado e 700,00 mL de efluente sintético diluído. Posteriormente, de acordo com cada etapa experimental, foi adicionado a carga de carvão ativado ou granulado bioclástico no reator, de acordo com o planejamento experimental.

Durante a execução dos procedimentos experimentais manteve-se a idade do lodo em torno de 28 dias. Desta forma, a cada batelada era retirado 35 mL da mistura reacional do interior do vaso de reação durante o processo de aeração. Nas etapas 02, 03 e 04 no qual se faz o uso de carvão ativado e granulado bioclástico, ao realizar o procedimento de remoção da mistura reacional, esse material também era retirado. Sendo assim, para garantir a concentração de 20 g/L de material adsorvente no interior do reator durante a batelada, era necessário realizar a reposição diária. A equação proposta por Eckenfelder (Equação 3.1), foi utilizada para o cálculo da reposição, sendo necessário inserir 0,70 g de material a cada batelada.

$$X_{ca} = \left(\frac{X_{ci} * \theta_c}{TRH} \right), \quad (3.1)$$

onde:

X_{ca} = Concentração de material adsorvente dentro do reator (g/L);

X_{ci} = Quantidade de reposição (g/L);

θ_c = idade do lodo (dias);

TRH = Tempo de residência hidráulico (dias);

3.4.5 Operação e monitoramento do reator

Os ensaios de tratamento seguiram os seguintes procedimentos de operação e monitoramento do reator, de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10. Procedimento de operação.

Item	Procedimento
1	Alimentação do reator com lodo ativado (300 mL);
2	Alimentação do reator com efluente sintético (700 mL);
3	Adição de material adsorvente (dependendo da etapa);
4	Fechar o reator;
5	Ligar o sistema de medição e atuação;
6	Iniciar o sistema de aeração, agitação e controle de temperatura;
7	Promover a reação durante 23h;
8	Remover com o auxílio de uma seringa, 35 mL da mistura reacional;
9	Desligar o sistema de aeração e agitação, durante 60 minutos;
10	Após o processo de sedimentação, retirar 700 mL da parte superior do vaso de reação (clarificado) com o auxílio da bomba peristáltica e o frasco de coleta.
11	Adicionar 700 mL de efluente sintético;
12	Adição de material adsorvente (dependendo da etapa);
13	Religar o sistema de aeração, agitação e controle de temperatura;
14	Realizar as análises na amostra coletada no item 10.

3.5 Procedimento Analítico

3.5.1 Parâmetros analisados

O procedimento para a análise consistiu em desligar, por meio do *software*, os mecanismos de agitação e aeração do reator por 60 minutos. Desta forma, no interior do reator ocorria o processo de decantação, proporcionando a separação do clarificado e do lodo biológico. As alíquotas foram coletadas com o auxílio da bomba peristáltica e mangueira de silicone do equipamento, transferindo a amostra para um frasco de vidro para imediato início da caracterização do efluente tratado.

As análises foram realizadas de acordo com as metodologias definidas pela APHA, *American Public Health Association* (APHA, 2005), utilizando os afluentes (entrada) e efluentes (saídas).

Os parâmetros de qualidade são grandezas que indicam as características das amostras analisadas. As metodologias estão detalhadas na Tabela 11.

Tabela 11. Parâmetros de qualidade analisados.

Item	Parâmetro	Unidade	Material/Equipamento
1	Temperatura	°C	QUALXTRON. Modelo: QX 1500 Plus.
2	pH	[-]	QUALXTRON. Modelo: QX 1500 Plus.
3	Condutividade	µS/cm	Condutivímetro. DIGIMED. Modelo: DM-32
4	Cor	Pt/Co	Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900
5	Turbidez	NTU	Turbidímetro. HANNA Instrumentos. Modelo: HIS3703
6	OD	mg/L	Medidor de oxigênio dissolvido. Marca: LUTRON
7	DBO	mg/L	DBOTRAK II. Medidor respirométrico. Marca: HACH
8	DQO	mg/L	Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900
9	Fósforo total	mg/L	Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900

3.5.2 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a medição indireta da quantidade de matéria orgânica presente na amostra e é um dos principais parâmetros de controle para se determinar o grau de poluição de uma amostra. A DBO é um teste feito a 20 °C em um ambiente controlado. O período de teste foi realizado durante 05 (cinco) dias. O método é baseado na medição da quantidade de oxigênio dissolvido consumido pelos microrganismos que oxidam a matéria orgânica em uma amostra. Para a determinação desse parâmetro foi utilizado o equipamento DBOTRAK II. Medidor respirométrico. Marca: HACH. 2952400-BR. No qual acompanha os seguintes itens: DBOTRAK II Garrafa âmbar (6 unidades); Barra magnético para agitador (6 unidades); Copo de selagem de borracha (6 unidades); DBO solução nutriente *buffer pillow*; Hidróxido de sódio PA, comprimido. Teor: 98%. O método foi realizado de acordo com as recomendações do fabricante.



Figura 15. Medidor respirométrico para determinação de DBO. (Fonte: HACH, 2018)

3.5.3 Método colorimétrico – Lei de Lambert-Beer

Os métodos colorimétricos e a espectrofotometria são procedimentos analíticos no qual se faz a determinação da concentração de espécies químicas coradas (cromóforo) mediante a absorção de energia radiante (luz). A luz pode ser compreendida como uma forma de radiação de onda eletromagnética que possui dois componentes, uma contribuição elétrica e outra magnética, apresentando características de onda e de partícula (fóton). O movimento oscilatório possui um comprimento de onda, que é a distância entre dois máximos de onda.

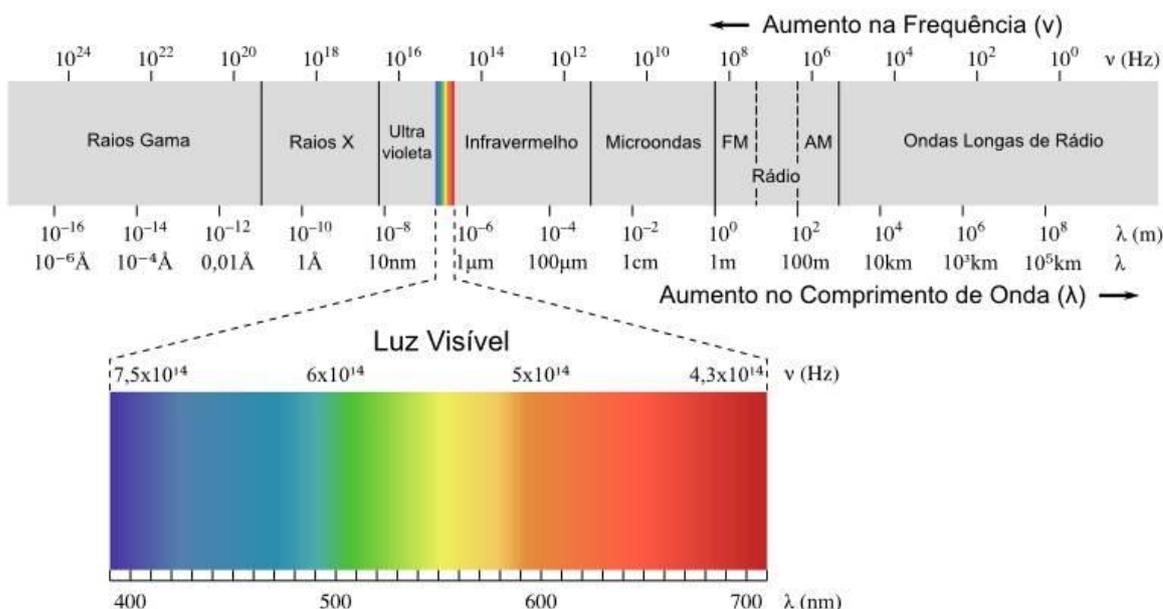


Figura 16. Espectro de absorção de luz em diversos comprimentos de onda (λ). (Fonte: Borges, 2014)

Quando um feixe de luz monocromática atravessa uma solução com moléculas absorventes, parte da luz é absorvida pela solução e o restante é transmitido. A absorção de luz depende basicamente da concentração das moléculas absorventes e da espessura da solução (caminho óptico). Uma solução quando iluminada por luz branca, apresenta uma cor que é resultante da absorção relativa dos vários comprimentos de onda que a compõem, que pode ser analisados por um espectrofotômetro (Figura 19). Esta absorção, em cada comprimento de onda, depende da natureza da substância, de sua concentração e da espessura da mesma que é atravessada pela luz.

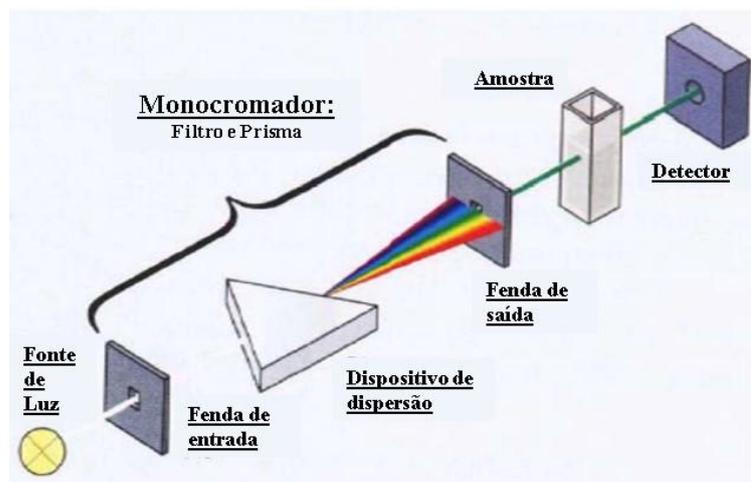


Figura 17. Componentes de um espectrofotômetro para análise da absorção. (Fonte: Borges, 2014)

As leis de Lambert-Beer constitui o fundamento da espectrofotometria. Elas são tratadas simultaneamente, processo no qual a quantidade de luz absorvida ou transmitida por uma determinada solução depende da concentração do soluto e da espessura da solução (1).

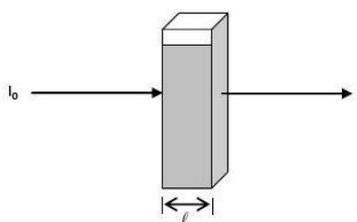


Figura 18. Representação da Lei de Lambert-Beer. (Fonte: Borges, 2014)

A lei de Lambert-Beer pode ser expressa matematicamente pela relação:

$$A = - \log_{10} T \quad (3.2)$$

$$T = I_1 / I_0 \quad (3.3)$$

onde,

I_0 = intensidade da luz incidente

I_1 = intensidade da luz que atravessa o meio

L = distância que a luz atravessa

A = absorvância

T = Transmitância.

Neste trabalho, foi utilizado um espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900, conforme apresentado na Figura 19.



Figura 19. Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900. (Fonte: HACH, 2018)

3.5.4 Curva-padrão de calibração

A curva-padrão de calibração consiste na relação gráfica entre os valores de absorvância (A) e da concentração conhecida da substância a ser analisada (mg/L). Desta forma, a partir de uma solução padrão faz-se o preparo das soluções diluídas na faixa de concentração desejada e com base na análise gráfica é possível verificar a linearidade do método e calcular o fator de conversão entre os valores de absorvância (A) e concentração (mg/L). Sendo assim, inicialmente, se faz a verificação no espectrofotômetro da absorvância (A) das soluções cujas concentrações sejam conhecidas e com os dados obtidos se fez a construção dos respectivos gráficos referente aos parâmetros a serem analisados. A partir dos dados experimentais foi possível determinar os dois parâmetros (a,b) do modelo de ajuste linear.

3.5.4.1 Demanda química de oxigênio (DQO)

A partir da solução padrão de DQO 1000 mg/L foram preparadas soluções de diluição de acordo com as tabelas abaixo. As soluções foram preparadas em balões volumétricos de 10 mL para a faixa de baixa concentração (20 a 150 mg/L) e em balões volumétricos de 50 mL para a faixa de alta concentração (125 a 1000 mg/L).

Tabela 12. Formulação das soluções para a curva-padrão – baixa concentração.

DQO (mg/L)	Volume da solução padrão DQO (mL)	Volume de água ultrapura (mL)
20	1,00	49,00
50	2,50	47,50
100	5,00	45,00
120	6,00	44,00
150	7,50	42,50

A partir das soluções preparadas de diluição conhecida, foi realizado os procedimentos padrão de análise (PPA) de acordo com os métodos estabelecidos pela empresa fornecedora dos reagentes.

O método desenvolvido para análise de DQO em baixas concentrações baseia-se na oxidação da amostra, pela ação de uma solução pouco concentrada de dicromato de potássio potencializada pela adição de ácido sulfúrico. O resultado é uma curva onde os valores de absorvância são negativos, de forma que o branco possui a cor mais intensa (laranja), que diminui de intensidade gradativamente até chegar ao último ponto da curva que apresenta-se verde (claro). Necessita uso de bloco digestor a 150°C por 2 horas. A metodologia é adaptada da literatura de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22ª Ed. 2012. 5220 – D. 5 – 19 – Método Colorimétrico refluxo fechado.

Tabela 13. Formulação das soluções para a curva-padrão – alta concentração.

DQO (mg/L)	Volume da solução padrão DQO (mL)	Volume de água ultrapura (mL)
125	1,25	8,75
300	3,00	7,00
500	5,00	5,00
800	8,00	2,00
1000	10,00	0,00

O método colorimétrico para determinação de DQO na faixa de alta concentração é baseado na oxidação da amostra em meio ácido (ácido sulfúrico) por uma quantidade conhecida de um agente oxidante (dicromato de potássio) forte mediante aquecimento em bloco digestor a 150°C por 2 horas. No método colorimétrico a cor desenvolvida pela amostra é proporcional à concentração de DQO. A metodologia é adaptada da literatura de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22ª Ed. 2012. 5220 – D. 5 – 19 – Método Colorimétrico refluxo fechado.

3.5.4.2 Fósforo (P)

A partir da solução padrão de Fósforo 100 mg/L foram preparadas soluções de diluição de acordo com as tabelas abaixo. As soluções foram preparadas em balões volumétricos de 50 mL para a faixa de baixa concentração (0,10 a 5,00 mg/L) e em balões volumétricos de 20 mL para a faixa de alta concentração (5,00 a 22,00 mg/L).

Tabela 14. Formulação das soluções para a curva-padrão – baixa concentração.

P (mg/L)	Volume da solução padrão (P) mL	Volume de água ultrapura mL
0,50	0,25	49,75
1,00	0,50	49,50
3,00	1,50	48,50
5,00	2,50	47,50

A partir das soluções preparadas de diluição conhecida, foi realizado os procedimentos padrão de análise (PPA) de acordo com os métodos estabelecidos pela empresa fornecedora dos reagentes.

Neste método colorimétrico para baixa concentração para determinação de fósforo, o fosfato reage com o molibdato de amônio em meio acidificado na presença de vanádio para formar um produto de cor amarela com intensidade de cor proporcional a concentração de fósforo na amostra. A metodologia é adaptada da literatura de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22^o Ed. 2012. 4500 C. 4-153. Método Vanadomolibdico.

Tabela 15. Formulação das soluções para a curva-padrão – alta concentração.

P (mg/L)	Volume da solução padrão (P) mL	Volume de água ultrapura mL
5,00	1,00	19,00
10,00	2,00	18,00
15,00	3,00	17,00
20,00	4,00	16,00

O método colorimétrico para determinação de fósforo na faixa de alta concentração é baseado na digestão da amostra sob aquecimento em meio ácido. O fosfato é determinado pela intensidade da cor azul do complexo de molibdênio formado pela redução da cor amarela do fosfomolibdato de amônio. A intensidade da cor azul é proporcional à concentração de fosfato na amostra. A metodologia é adaptada da literatura de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22^o Ed. 2012. 4500 B. 4-152. Digestão da amostra; E 4-155. Método do Ácido Ascórbico.

3.5.5 Método de cálculo de eficiência no processo de tratamento.

O método de análise para verificar a eficiência de remoção dos processos de tratamento proposta em cada etapa, com base no parâmetros de qualidade, foi calculado de acordo com a Equação 3.4.

$$\text{Eficiência na remoção de X (\%)} = \left(\frac{X_{\text{entrada}} - X_{\text{saída}}}{X_{\text{entrada}}} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

onde:

X = Símbolo representativo de um dos parâmetros de qualidade (DBO, DQO, P)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados encontrados, como a formulação e caracterização do efluente sintético, obtenção e separação do granulado bioclástico na faixa granulométrica necessária, obtenção das curvas de calibração para realizar os métodos colorimétricos de determinação dos parâmetros de qualidade do efluente de entrada e saída do reator, os resultados de eficiência em cada etapa dos processos de tratamento e por fim, um estudo comparativo da eficiência entre as etapas de tratamento investigadas.

4.1 Caracterização do efluente sintético

A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos para a caracterização do efluente sintético utilizado nas etapas experimentais, assim como um comparativo com as faixas típicas dos valores apresentados na literatura por Von Sperling (1996).

Tabela 16. Caracterização do efluente sintético.

Parâmetro	Unidade	Efluente sintético				
		Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média	Desvio Padrão
T	°C	22,40	23,80	27,50	24,57	2,15
pH	[-]	7,08	6,70	6,65	6,81	0,19
Condutividade	µS/cm	228,70	219,10	276,20	241,33	24,96
Cor	Pt/Co	292,00	285,00	293,00	290,00	3,56
Turbidez	NTU	6,53	7,11	6,83	6,82	0,24
OD	mg/L	4,10	5,50	4,20	4,60	0,64
DBO _{5,20}	mg/L	370,00	433,00	360,00	387,67	32,31
DQO	mg/L	705,58	717,25	707,25	710,03	5,15
DQO/DBO	[-]	1,91	1,66	1,96	1,83	0,13
Fósforo (P)	mg/L	8,43	8,00	7,03	8,22	0,59

Tabela 17. Caracterização do efluente sintético com lixiviado.

Parâmetro	Unidade	Efluente sintético + 1% (v/v) lixiviado				
		Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média	Desvio Padrão
T	°C	27,10	29,40	27,80	28,10	0,96
pH	[-]	7,55	7,45	7,49	7,50	0,04
Condutividade	µS/cm	701,80	587,50	661,30	650,20	47,32
Cor	Pt/Co	363,33	400,00	393,33	385,55	15,95
Turbidez	NTU	9,70	9,32	11,70	10,24	1,04
OD	mg/L	3,80	3,90	4,50	4,07	0,31
DBO _{5,20}	mg/L	N/A	N/A	433,00	433,00	-
DQO	mg/L	759,75	734,75	778,92	757,81	18,08
DQO/DBO	[-]	N/A	N/A	N/A	1,80	-
Fósforo (P)	mg/L	7,74	8,48	7,19	7,80	0,53

De acordo com a avaliação dos resultados obtidos, foi observado que o efluente sintético apresentou valores dentro das faixas típicas para esgotos domésticos. Observou-se que a adição de lixiviado 1% v/v no efluente sintético alterou as suas propriedades físico-químicas em aproximadamente 12% em termos de DBO e 7% em termos de DQO. O pH teve o seu valor acrescido em torno de 10% tornando o seu valor mais alcalino, assumindo uma característica típica do lixiviado bruto. Os parâmetros condutividade, cor e turbidez também apresentaram um incremento expressivo em seus valores quando comparados com o efluente sintético de origem.

4.2 Separação e obtenção do granulado bioclástico.

Na Tabela 18 é possível verificar o ensaio granulométrico com o material granulado bioclástico e os resultados obtidos na separação. Sabe-se que o área superficial específica de um material adsorvente é função de sua granulometria. Desta forma, o material escolhido para ser usado nos ensaios de tratamento foi o de menor faixa granulométrica (< 150 µm). O motivo pelo qual foi escolhido essa faixa para aplicação é baseado em trabalhos de estudo de adsorção em que apresentaram melhores resultados com o uso dessa granulometria.

O cálculo da porcentagem das frações mássicas de granulado bioclástico retidas em cada peneira foi realizado com a Equação 4.1:

$$m_p = \left(\frac{m_i}{m_t} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

onde:

m_p = porcentagem mássica retida em cada peneira (%);

m_i = massa retida em cada peneira (kg);

m_t = massa total da amostra (kg);

Tabela 18. Distribuição granulométrica do granulado bioclástico.

Mesh (#)	Abertura (mm)	Massa (kg)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)
14	1,180	0,065	14,61	14,61%
20	0,850	0,050	11,24	25,84%
28	0,600	0,085	19,10	44,94%
35	0,425	0,055	12,36	57,30%
48	0,300	0,055	12,36	69,66%
100	0,150	0,085	19,10	88,76%
-	0,000 (Fundo)	0,050	11,24	100,00%
TOTAL	-	0,445	100 %	-

A Figura 20 apresenta a distribuição granulométrica da amostra do granulado bioclástico, no qual é possível verificar as porcentagens mássicas retidas em cada faixa de peneira utilizada. Observa-se que a faixa granulométrica do material desejado (< 150 μ m) apresentou 11,24% em relação a massa total utilizada na operação de separação. Uma proposta para trabalhos futuros é avaliar a eficiência das etapas de processo de tratamento com diferentes faixas granulométricas e realizar um comparativo de viabilidade econômica do material baseado nas porcentagens mássicas disponíveis do material granulado.

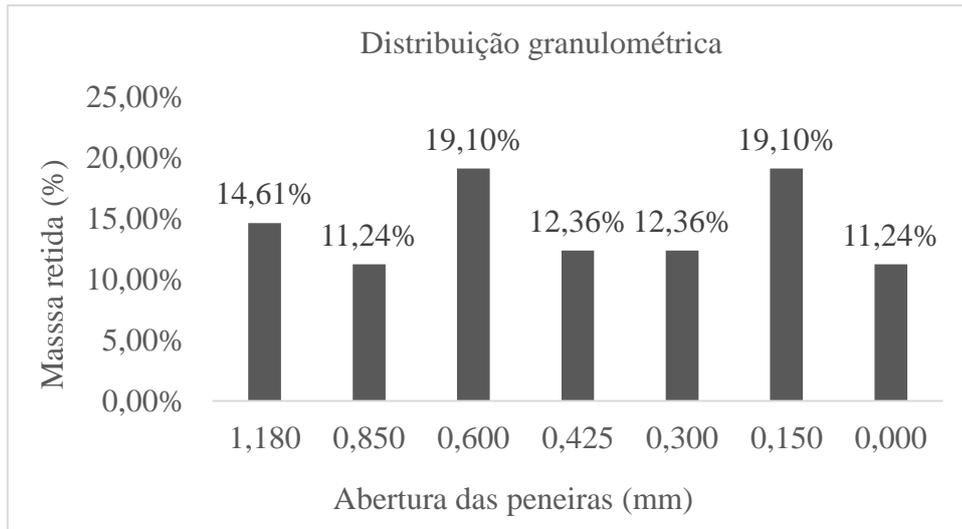


Figura 20. Porcentagem mássica retida no conjunto de peneiras granulométricas.
(Fonte: Autor, 2018)

A Figura 21 apresenta as amostras do granulado bioclástico nas diferentes faixas granulométricas, dispostas da foto da seguinte maneira, da esquerda para a direita: MESH: (Fundo); 100 (150 μm); 48 (300 μm); 35 (425 μm); 28 (600 μm); 20 (850 μm); 14 (1180 μm).



Figura 21. Amostras do granulado bioclástico em diferentes faixas granulométricas.
(Fonte: Autor, 2018)

4.3 Curvas de calibração

Nesta seção foram apresentados os resultados analíticos para a formulação das soluções para o preparo da curva-padrão de baixa e alta concentração, os valores obtidos de leitura de absorbância, os gráficos gerados com as respectivas curvas-padrão de calibração e os resultados dos parâmetros do modelo de ajuste linear. O modelo de ajuste linear dos parâmetros foi escolhido pelo fato de possibilitar executar os cálculos com apenas dois parâmetros (a – coeficiente angular; b – coeficiente linear) e por fornecer valores de R^2 satisfatórios superiores aos recomendados para procedimentos de curva de calibração ($R^2 > 0,95$). Os modelos obtidos para cada parâmetro de qualidade (DQO e P) foi utilizado para determinar as concentrações de soluções desconhecidas durante o processo de investigação nas etapas de tratamento do efluente sintético.

4.3.1 Demanda química de oxigênio (DQO)

As soluções de DQO foram preparada a partir da solução padrão de concentração conhecida de $1000,00 \pm 0,06$ mg/L. As soluções preparadas foram separadas em dois grandes grupos, faixa de baixa concentração (20 a 150 mg/L) e faixa de alta concentração (125 a 1000 mg/L). A faixa alta foi utilizada para determinar as concentrações dos efluentes sintéticos de entrada no reator, uma vez que, em princípio, são as amostras que apresentam os valores mais altos de concentração e a faixa baixa foi utilizada para determinar as concentrações das amostras dos efluentes de saída do reator após os processos de tratamento. Esse procedimento foi adotado para garantir as orientações contidas nos métodos de análise fornecidas pelo fabricante dos kits de determinação da concentração desse parâmetro de qualidade.

Tabela 19. Formulação das soluções para a curva-padrão (baixa concentração).

DQO (mg/L)	Volume da solução padrão DQO (mL)	Volume de água ultrapura (mL)
20	1,00	49,00
50	2,50	47,50
100	5,00	45,00
120	6,00	44,00
150	7,50	42,50

A partir da preparação das soluções de diluição, as amostras foram submetidas aos métodos de análise, de acordo com cada procedimento padrão de análise – PPA (Anexo). As amostras foram preparadas em triplicata e foram realizadas as leituras de absorvância no espectrofotômetro HACH – modelo DR3900 de acordo com o comprimento de onda especificado pelo método colorimétrico. A Tabela 20 é apresenta as leituras de absorvância das amostras e na Tabela 21 os valores obtidos pelo ajuste linear os parâmetros do modelo.

Tabela 20. Valores de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).

DQO (mg/L)	L1 (uA)	L2 (uA)	L3 (uA)	Média (uA)	Desvio Padrão [-]
20	-0,0880	-0,0820	-0,0820	-0,0840	0,0028
50	-0,1560	-0,1560	-0,1560	-0,1560	0,0000
100	-0,2970	-0,2920	-0,2920	-0,2937	0,0024
120	-0,3510	-0,3460	-0,3430	-0,3467	0,0033
150	-0,4400	-0,4380	-0,4380	-0,4387	0,0009

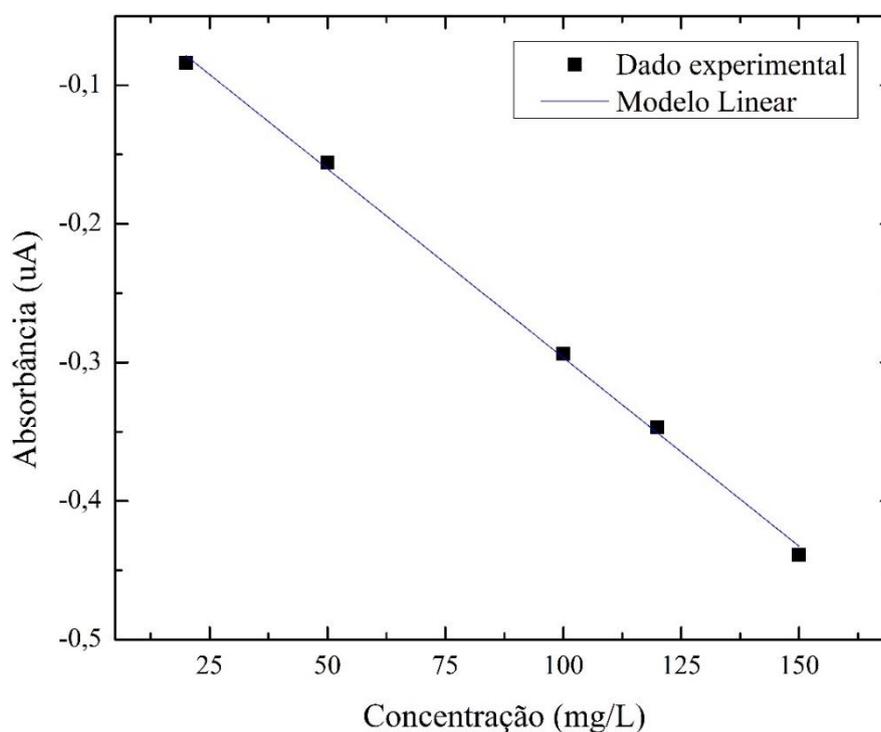


Figura 22. Valores experimentais e modelo linear – DQO (baixa concentração).
(Fonte: Autor, 2018)

Tabela 21. Modelo linear para a curva-padrão (baixa concentração).

x	y	Modelo Linear
Concentração (mg/L)	Absorbância (mL)	Equação: $y = a*x + b$ $R^2 = 0,9987$
20	-0,0840	Parâmetros do modelo: $a = - 0,0027$ $b = - 0,0241$
50	-0,1560	
100	-0,2937	
120	-0,3467	
150	-0,4387	

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos para as soluções para curva-padrão de DQO para faixa de alta concentração.

Tabela 22. Formulação das soluções para a curva-padrão (alta concentração).

DQO (mg/L)	Volume da solução padrão DQO (mL)	Volume de água ultrapura (mL)
125	1,25	8,75
300	3,00	7,00
500	5,00	5,00
800	8,00	2,00
1000	10,00	0,00

Tabela 23. Valores de absorbância para a curva-padrão (alta concentração).

DQO (mg/L)	L1 (uA)	L2 (uA)	L3 (uA)	Média (uA)	Desvio Padrão [-]
50	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0000
125	0,0480	0,0460	0,0460	0,0467	0,0009
300	0,1190	0,1190	0,1180	0,1187	0,0005
500	0,2010	0,2020	0,2010	0,2013	0,0005
800	0,3280	0,3300	0,3300	0,3293	0,0009
1000	0,4090	0,4090	0,4000	0,4060	0,0042

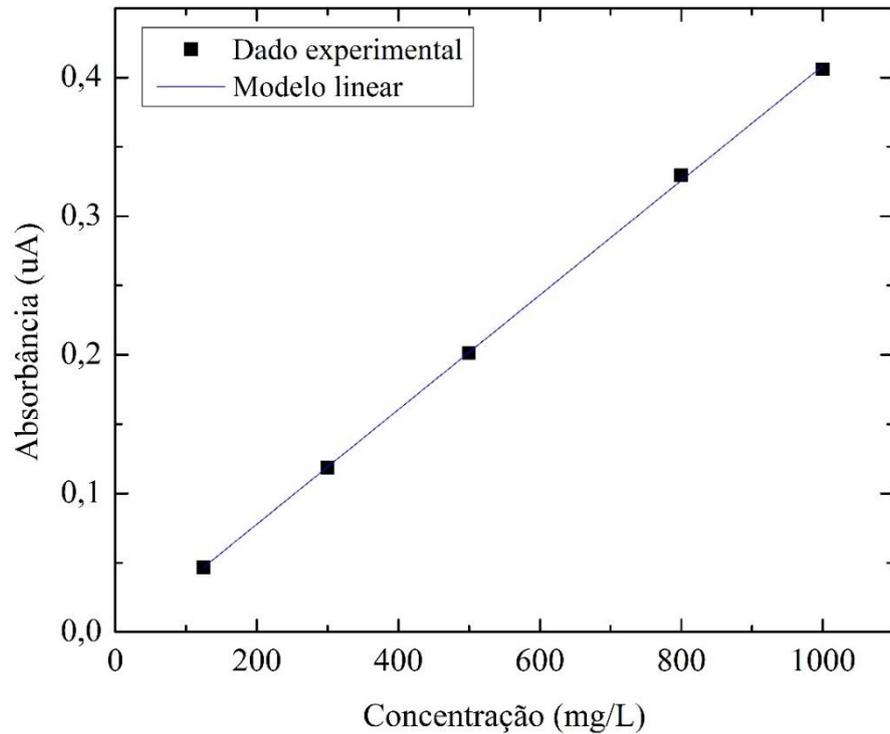


Figura 23. Valores experimentais e modelo linear – DQO (alta concentração).
(Fonte: Autor, 2018)

Tabela 24. Modelo linear para a curva-padrão (alta concentração).

x	y	Modelo Linear
Concentração (mg/L)	Absorbância (mL)	Equação: $y = a \cdot x + b$ $R^2 = 0,9994$
50	0,0250	Parâmetros do modelo: $a = 0,0004$ $b = - 0,0009$
125	0,0467	
300	0,1187	
500	0,2013	
800	0,3293	
1000	0,4060	

4.3.1 Fósforo (P)

As soluções de fósforo total foram preparada a partir da solução padrão de concentração conhecida de $100,00 \pm 0,06$ mg/L. As soluções preparadas foram separadas em dois grandes grupos, faixa de baixa concentração (0,50 a 5,00 mg/L), sendo usadas na determinação de fósforo nas amostras de efluente sintético bruto e faixa de alta concentração (5,00 a 20,00 mg/L), sendo utilizadas para as amostras de efluente após o processo de tratamento.

Tabela 25. Formulação das soluções para a curva-padrão (baixa concentração).

P (mg/L)	Volume da solução padrão (P) (mL)	Volume de água ultrapura (mL)
0,50	0,25	49,75
1,00	0,50	49,50
3,00	1,50	48,50
5,00	2,50	47,50

Tabela 26. Valores de absorvância para a curva-padrão (baixa concentração).

P (mg/L)	L1 (uA)	L2 (uA)	L3 (uA)	Média (uA)	Desvio Padrão [-]
0,50	0,035	0,035	0,035	0,035	0,0000
1,00	0,065	0,066	0,065	0,065	0,0005
3,00	0,180	0,179	0,180	0,180	0,0005
5,00	0,305	0,300	0,300	0,302	0,0024

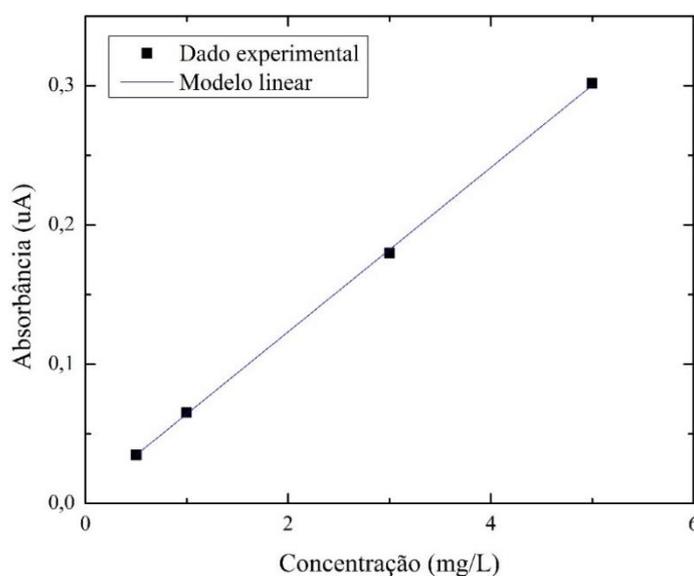


Figura 24. Valores experimentais e modelo linear – P (baixa concentração).
(Fonte: Autor, 2018)

Tabela 27. Modelo linear para a curva-padrão (baixa concentração).

x	y	Modelo Linear
Concentração (mg/L)	Absorbância (mL)	Equação: $y = a \cdot x + b$ $R^2 = 0,9998$
0,50	0,035	Parâmetros do modelo: $a = 0,0590$ $b = 0,0053$
1,00	0,065	
3,00	0,180	
5,00	0,302	

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos para as soluções para curva-padrão de fósforo para faixa de alta concentração.

Tabela 28. Formulação das soluções para a curva-padrão (alta concentração).

P (mg/L)	Volume da solução padrão (P) (mL)	Volume de água ultrapura (mL)
5,00	1,00	19,00
10,00	2,00	18,00
15,00	3,00	17,00
20,00	4,00	16,00

Tabela 29. Valores de absorbância para a curva-padrão (alta concentração).

P (mg/L)	L1 (uA)	L2 (uA)	L3 (uA)	Média (uA)	Desvio Padrão [-]
5,00	0,708	0,722	0,713	0,716	0,0058
10,00	1,574	1,588	1,600	1,587	0,0106
15,00	2,453	2,480	2,504	2,479	0,0208
20,00	3,309	3,343	3,377	3,343	0,0278

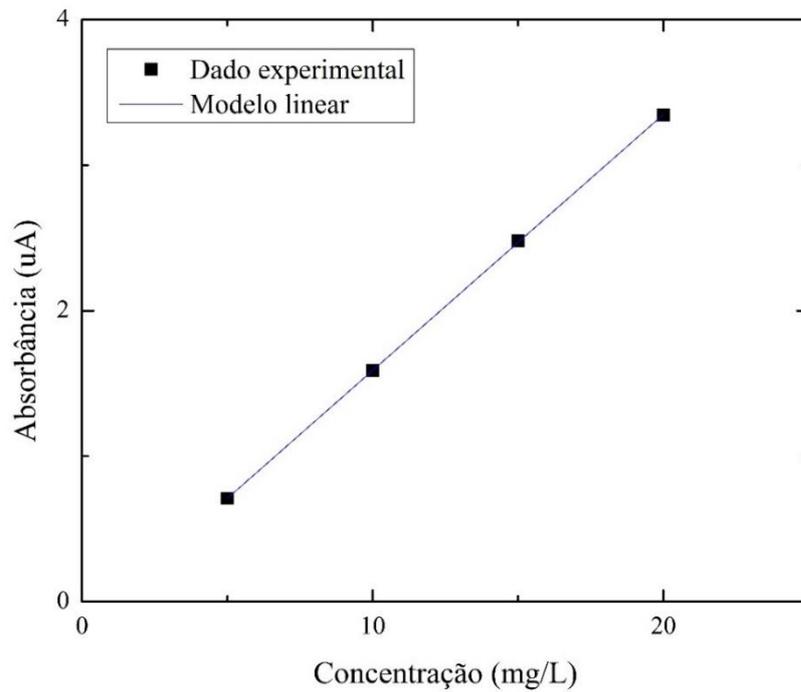


Figura 25. Valores experimentais e modelo linear – P (alta concentração).
(Fonte: Autor, 2018)

Tabela 30. Modelo linear para a curva-padrão (alta concentração).

x	y	Modelo Linear
Concentração (mg/L)	Absorbância (mL)	Equação: $y = a \cdot x + b$ $R^2 = 0,9999$
5,00	0,716	Parâmetros do modelo: $a = 0,1756$ $b = - 0,1637$
10,00	1,587	
15,00	2,479	
20,00	3,343	

4.4 Procedimento analítico e parâmetros analisados

As análises foram realizadas de acordo com as metodologias definidas pela APHA, *American Public Health Association* (APHA, 2005), utilizando os afluentes (entrada) e efluentes (saídas). As metodologias estão detalhadas na Tabela 31.

Tabela 31. Parâmetros de qualidade analisados.

Item	Parâmetro	Unidade	Material/Equipamento
1	Temperatura	°C	QUALXTRON. Modelo: QX 1500 Plus.
2	pH	[-]	QUALXTRON. Modelo: QX 1500 Plus.
3	Condutividade	µS/cm	Condutivímetro. DIGIMED. Modelo: DM-32
4	Cor	Pt/Co	Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900
5	Turbidez	FTU	Turbidímetro. HANNA Instrumentos. Modelo: HIS3703
6	OD	mg/L	Medidor de oxigênio dissolvido. Marca: LUTRON
7	DBO	mg/L	DBOTRAK II. Medidor respirométrico. Marca: HACH
8	DQO	mg/L	Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900
9	Fósforo total	mg/L	Espectrofotômetro. Marca: HACH. Modelo: DR3900

Para a determinação dos valores dos parâmetros de qualidade escolhidos neste trabalho, foi elaborado uma série de procedimentos padrão de análise – PPA (Anexo) para garantir a reprodutibilidade em todos as etapas avaliadas durante os processos de tratamento adotados nesta pesquisa.

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos nas análises dos parâmetros nos efluentes após os processos de tratamento referentes a cada etapa.

4.4.1 Resultados dos parâmetros - Experimentos 01, 02, 03 e 04

Nas Tabelas 32 a 35 são apresentados os resultados obtidos nas avaliações e determinações dos parâmetros em todos os procedimentos experimentais, assim como os valores médios obtidos na avaliação das amostras ao longo do processo e os respectivos desvios padrão com base nos valores de todas as amostras analisadas.

Tabela 32. Resultados – Experimento 01 (lodo ativado + efluente sintético).

Parâmetro	Unidade	Efluente tratado – Experimento 01					Média	Desvio Padrão
		Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Amostra 05		
T	°C	27,80	28,10	26,10	24,70	27,40	26,82	1,26
pH	[-]	6,50	7,07	5,84	5,80	5,95	6,23	0,49
Condutividade	µS/cm	910,50	716,60	604,10	585,70	646,30	692,64	117,86
Cor	Pt/Co	417	635	383	143	123	340,20	190,11
Turbidez	FTU	24,3	27,29	21,5	14,12	5,31	18,50	7,91
OD	mg/L	7,10	7,50	4,70	5,70	6,20	6,24	1,00
DBO _{5,20}	mg/L	54,00	66,00	69,00	58,00	56,20	60,64	5,82
DQO	mg/L	88,92	126,25	106,00	55,82	77,25	90,84	24,08
Fósforo (P)	mg/L	6,91	11,52	14,18	11,96	11,47	11,20	2,37

Tabela 33. Resultados – Experimento 02 (lodo ativado + efluente sintético + granulado).

Parâmetro	Unidade	Efluente tratado – Experimento 02			Média	Desvio Padrão
		Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03		
T	°C	24,50	25,60	25,90	25,33	0,60
pH	[-]	6,51	6,96	6,75	6,74	0,18
Condutividade	µS/cm	1133,50	935,40	878,90	982,60	109,17
Cor	Pt/Co	451	195,67	163,67	270,11	128,57
Turbidez	FTU	55	16,94	14,81	28,92	18,46
OD	mg/L	5,60	5,70	5,60	5,63	0,05
DBO _{5,20}	mg/L	N/A	N/A	13,00	13,00	-
DQO	mg/L	28,08	48,92	44,75	40,58	9,00
Fósforo (P)	mg/L	1,37	1,65	2,48	1,83	0,47

Tabela 34. Resultados – Experimento 03 (lodo ativado + efluente sintético + carvão ativado).

Parâmetro	Unidade	Efluente tratado – Experimento 03				
		Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média	Desvio Padrão
T	°C	26,60	29,60	26,10	27,43	1,55
pH	[-]	7,28	6,57	5,26	6,37	0,84
Condutividade	µS/cm	1027,40	878,80	700,30	868,83	133,72
Cor	Pt/Co	302,33	1296	888,67	829,00	407,85
Turbidez	FTU	21,41	53	44,49	39,63	13,35
OD	mg/L	2,90	5,30	8,90	5,70	2,47
DBO _{5,20}	mg/L	N/A	N/A	56,10	56,10	-
DQO	mg/L	94,65	192,31	123,05	136,67	41,02
Fósforo (P)	mg/L	2,71	5,96	5,47	4,71	1,43

Tabela 35. Resultados- Experimento 04 (lodo ativado + ef. sintético + granulado + lixiviado).

Parâmetro	Unidade	Efluente tratado – Experimento 04				
		Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média	Desvio Padrão
T	°C	27,80	29,50	27,90	28,40	0,78
pH	[-]	8,13	8,10	8,53	8,25	0,20
Condutividade	µS/cm	1487	1407	1215,2	1369,73	114,05
Cor	Pt/Co	1593,33	486,33	1089,67	1056,44	452,54
Turbidez	FTU	94,67	34,62	68,00	65,76	24,57
OD	mg/L	6,40	5,80	7,20	6,47	0,57
DBO _{5,20}	mg/L	79,00	50,00	N/A	64,50	14,50
DQO	mg/L	365,58	193,08	228,08	262,25	74,45
Fósforo (P)	mg/L	6,26	7,54	6,35	6,72	0,58

4.4.2 Temperatura e pH

A Figura 26 apresenta os valores de temperatura que foram analisados em cada procedimento experimental em comparação com a temperatura média aferida para o efluente sintético formulado no laboratório.

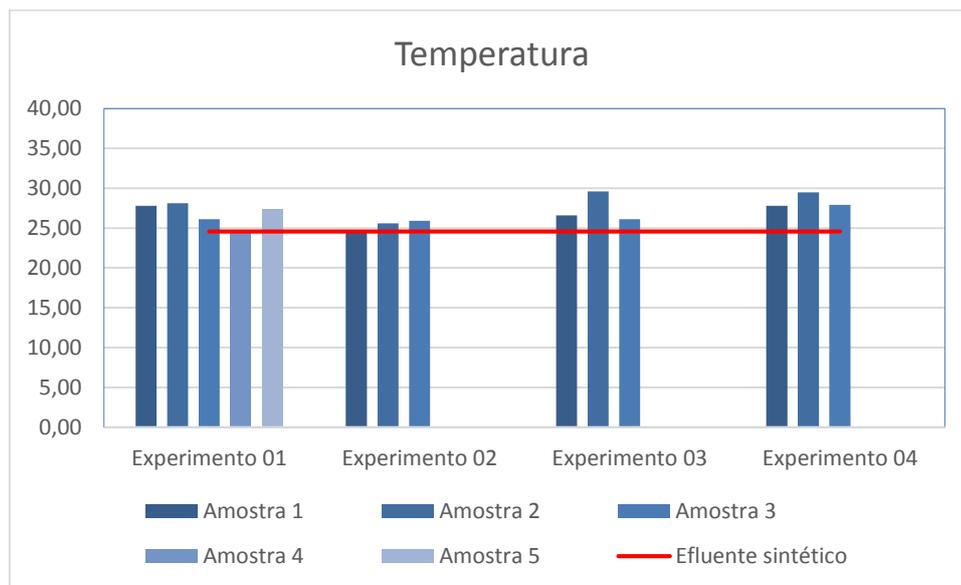


Figura 26. Valores de temperatura em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

Nota-se que em todas as amostragens realizadas a temperatura manteve-se em torno do valor de 25 °C, uma vez que a temperatura de operação do reator era controlada por um módulo termostático. Pode-se observar uma pequena flutuação das medidas em relação à média devido ao tempo de coleta da amostra, preservação e transporte até o laboratório para o início das análises. Ainda de acordo com a Figura 26, é importante informar que a CONAMA N° 430 (2011) determina que as condições de lançamentos de efluentes em corpo receptor deve ser com temperatura inferior a 40 °C.

Na Figura 27 apresenta os valores de pH que foram analisados em cada etapa experimental em comparação com os valores das média aferidas para o efluente sintético formulado no laboratório.

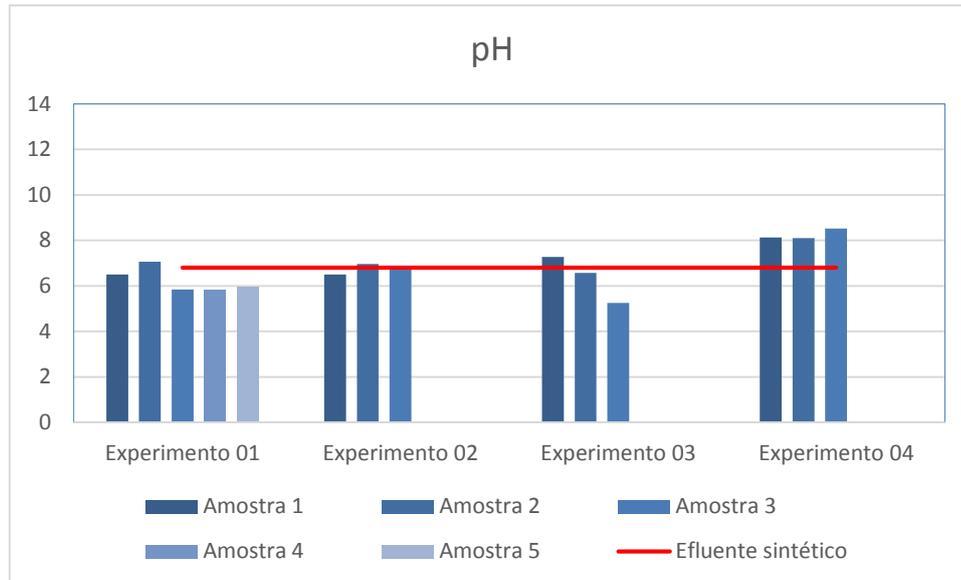


Figura 27. Valores de pH em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

Nota-se que os valores de pH determinados em toda as etapas experimentais, mantiveram-se dentro da faixa de $5,00 < \text{pH} < 9,00$, nos quais são valores de referência preconizados nas legislações de nível federal, estadual e municipal. Na etapa 04, observa-se que houve um incremento nos valores observados do pH em torno de 20% em relação aos valores médios do efluente sintético formulado. Este resultado está correlacionado ao fato da adição de 1% v/v de lixiviado ao efluente, no qual apresenta características alcalinas na sua amostra bruta em torno de 8,00.

4.4.3 Condutividade elétrica

Na Figura 28 apresenta os valores de condutividade elétrica que foram analisados em cada etapa experimental em comparação com a condutividade média aferida para o efluente sintético formulado no laboratório. Sabe-se que que a condutividade está associada ao teor de sólidos totais dissolvidos (STD) na solução aquosa (sais), ou seja, relacionado com a presença de íons na amostra. Os valores são expressos em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e o valor típico da água potável é de $0,05 \mu\text{S}/\text{cm}$, para efeitos comparativos.

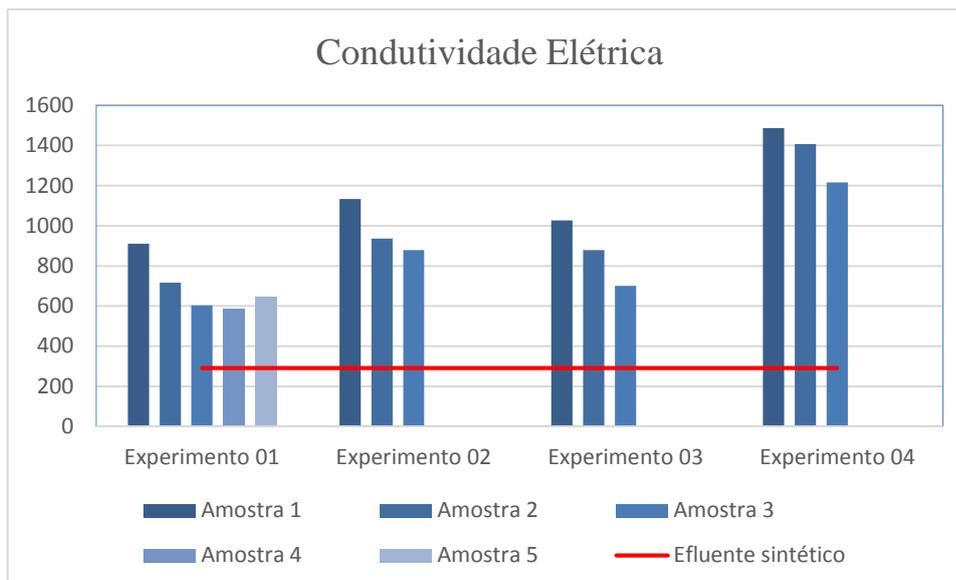


Figura 28. Valores de condutividade elétrica em cada etapa experimental.
(Fonte: Autor, 2018)

Na análise dos resultados, observa-se que em todas as amostras analisadas a condutividade apresentou valores mais elevados do que o efluente sintético original, sendo que no experimento 04 foi observado os maiores valores encontrados. Sabe-se que o lixiviado bruto de aterro sanitário apresenta valores significativos de condutividade devido aos diversos componentes dispersos e aderidos a amostra durante o processo de decomposição da matéria orgânica, principalmente os íons livres, como por exemplo, o cloreto de sódio (NaCl).

4.4.4 Cor e Turbidez

As Figuras 29 e 30 apresentam o perfil de valores observados para os parâmetros cor e turbidez nas amostras do efluente tratado. De forma geral, podemos assumir que o parâmetro cor está relacionado com a quantidade de matéria em solução na amostra, ou seja, sólidos dissolvidos totais (SDT), enquanto, o parâmetro turbidez está relacionado com a quantidade de matéria em suspensão na amostra, ou seja, sólidos suspensos totais (SST). Nota-se que em ambos em ambos parâmetros, os valores mais acentuados foram encontrados nos experimentos 03, no qual fez-se o uso de carvão ativado pulverizado no reator e no experimento 04, no qual fez-se o uso de lixiviado (1% v/v) no reator.

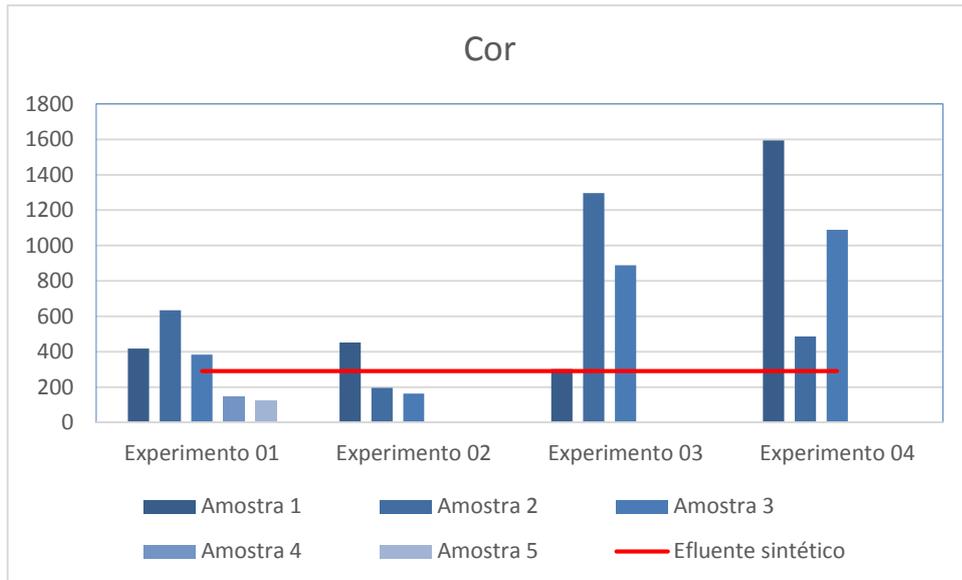


Figura 29. Valores de cor observados em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

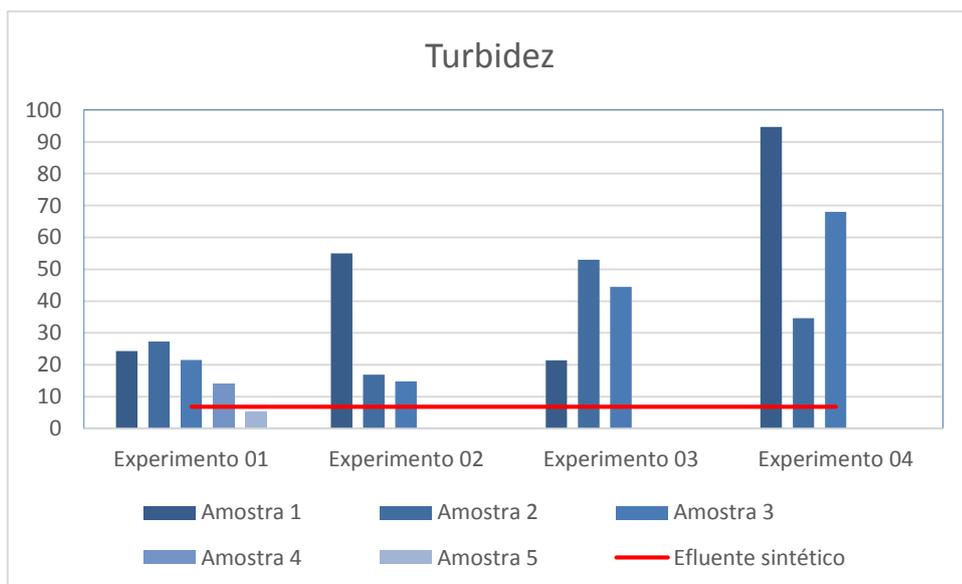


Figura 30. Valores de turbidez observados em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

4.4.5 DBO e DQO

Na Figura 31 apresenta os valores referentes a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que foram analisados em cada etapa experimental em comparação com os valores aferidos para o efluente sintético formulado no laboratório. A DBO é a medida indireta de quantificar a matéria orgânica biodegradável presente na amostra, sendo de fundamental importância para definir qualitativamente e quantitativamente o grau de poluição de uma determinada amostra.

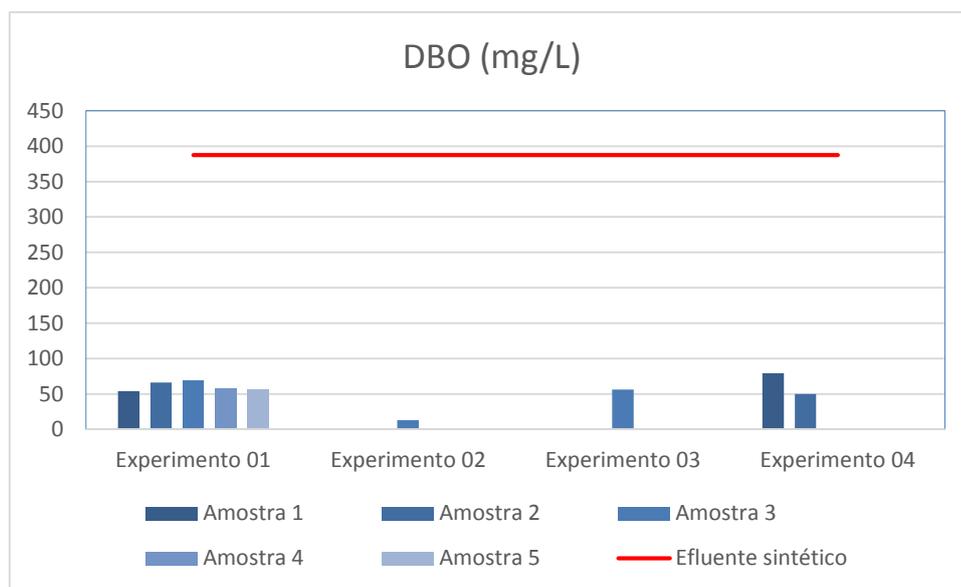


Figura 31. Valores de DBO observados em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que todas as etapas foram eficientes na remoção de matéria orgânica biodegradável das amostras. O experimento 01 no qual fez-se o processo de lodos ativados apresentou valores médios de saída dentro dos resultados esperados, em torno de 60 mg/L. O experimento 02 no qual foi utilizado o processo de lodos ativados com a adição de granulado bioclástico ($C = 20 \text{ g/L}$) representou a fase experimental com os melhores valores de eficiência na remoção, atingindo a DBO no efluente tratado no valor de 13 mg/L, obtendo-se uma eficiência da remoção em torno de 96,65%. Nota-se que as etapas 03 e 04 também apresentam valores na saída do tratamento com resultados satisfatórios, sendo 56,10 mg/L e 64,50 mg/L, respectivamente.

Na Figura 32 apresenta os valores referentes a demanda química de oxigênio (DQO) que foram analisados em cada etapa experimental em comparação com os valores aferidos para o efluente sintético formulado no laboratório. A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar o conteúdo orgânico total de uma amostra.

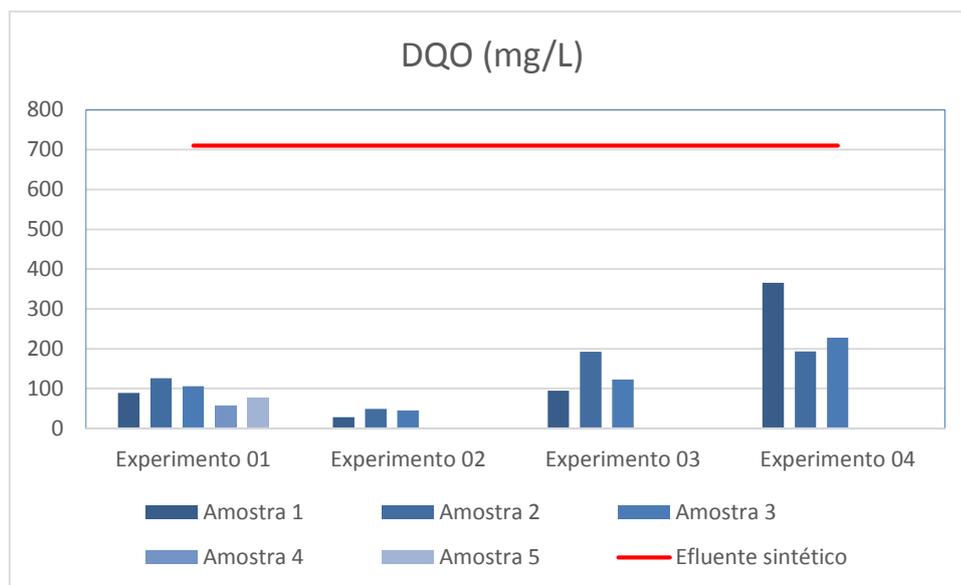


Figura 32. Valores de DQO observados em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

Nota-se na Figura 32 que em todos os experimentos de tratamento foram eficientes na remoção de DQO nas amostras analisadas. Observa-se que o experimento 02 representou a fase com os melhores valores no processo de remoção.

4.4.6 Fósforo

Na Figura 33 apresenta os valores referentes a quantidade de fósforo total que foram analisados em cada etapa experimental em comparação com os valores aferidos para o efluente sintético formulado no laboratório.

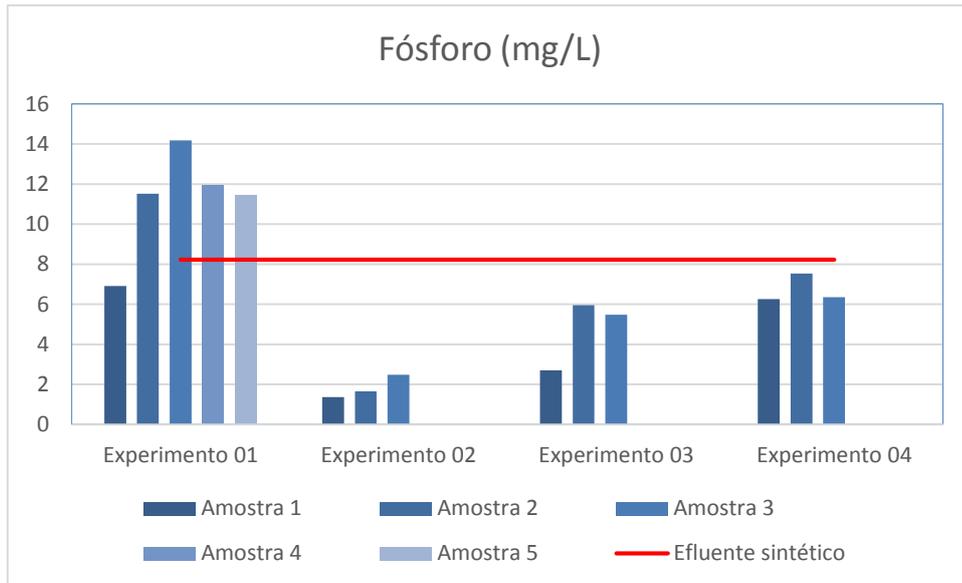


Figura 33. Valores de fósforo total observados em cada etapa experimental. (Fonte: Autor, 2018)

Nota-se que no experimento 01, não foram registrados eficiência em remoção de nutriente, em termo de fósforo. De acordo com a concepção do reator utilizado no laboratório, não foi possível realizar uma condição operacional necessária para realizar a remoção desses elementos. Observa-se também um acréscimo de quantidade de fósforo ao longo das amostragens, podendo estar associado a quantidades de fósforo acumuladas no lodo biológico que foram inoculados durante o processo de alimentação do reator. Nos experimentos 02, 03 e 04 foram observados eficiências satisfatórias na remoção desse nutriente, sendo os melhores valores de saída registrados no procedimento do experimento 02.

4.5 Cálculo da eficiência nos processos de tratamento

O método de análise para verificar a eficiência do sistema com base no parâmetros de qualidade foi calculado de acordo com a Equação 4.2.

$$\text{Eficiência na remoção de X (\%)} = \left(\frac{X_{\text{entrada}} - X_{\text{saída}}}{X_{\text{entrada}}} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

onde:

X = Símbolo representativo de um dos parâmetros de qualidade (DBO, DQO, P)

A Tabela 36 apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da eficiência dos processos de tratamento em cada procedimento experimental.

Tabela 36. Resumo da eficiência dos processos.

Experimentos	Parâmetro	Unidade	Entrada	Saída	Eficiência (%)
01	DBO _{5,20}	mg/L	387,67	60,64	84,36%
	DQO	mg/L	710,03	90,84	87,21%
	Fósforo (P)	mg/L	8,22	11,20	Sem eficiência
02	DBO _{5,20}	mg/L	387,67	13,00	96,65%
	DQO	mg/L	710,03	40,58	94,28%
	Fósforo (P)	mg/L	8,22	1,83	77,74%
03	DBO _{5,20}	mg/L	387,67	56,10	85,53%
	DQO	mg/L	710,03	136,67	80,75%
	Fósforo (P)	mg/L	8,22	4,71	42,70%
04	DBO _{5,20}	mg/L	433,00	64,50	85,10%
	DQO	mg/L	757,81	262,25	65,39%
	Fósforo (P)	mg/L	7,80	6,72	13,85%

O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência da adição de granulado bioclástico, em biorreator aeróbio, aplicado na remoção de carga orgânica em termos de DBO e DQO, além de investigar a capacidade de remoção de nutrientes em termos de fósforo total. Os resultados de eficiência obtidos nos procedimentos experimentais, relatados na Tabela 36, nos mostram que o método proposto foi o que apresentou melhores valores no processo de tratamento, quando comparados com sistemas convencionais utilizados em diversos locais pelo país e pelo mundo.

Na Figura 34 é possível visualizar o gráfico comparativo das eficiências obtidas nos diferentes processos de tratamento, com ênfase para o Experimento 02, no qual foi utilizado a

associação do processo de lodos ativados aeração prolongada com a adição de granulado bioclástico no biorreator.

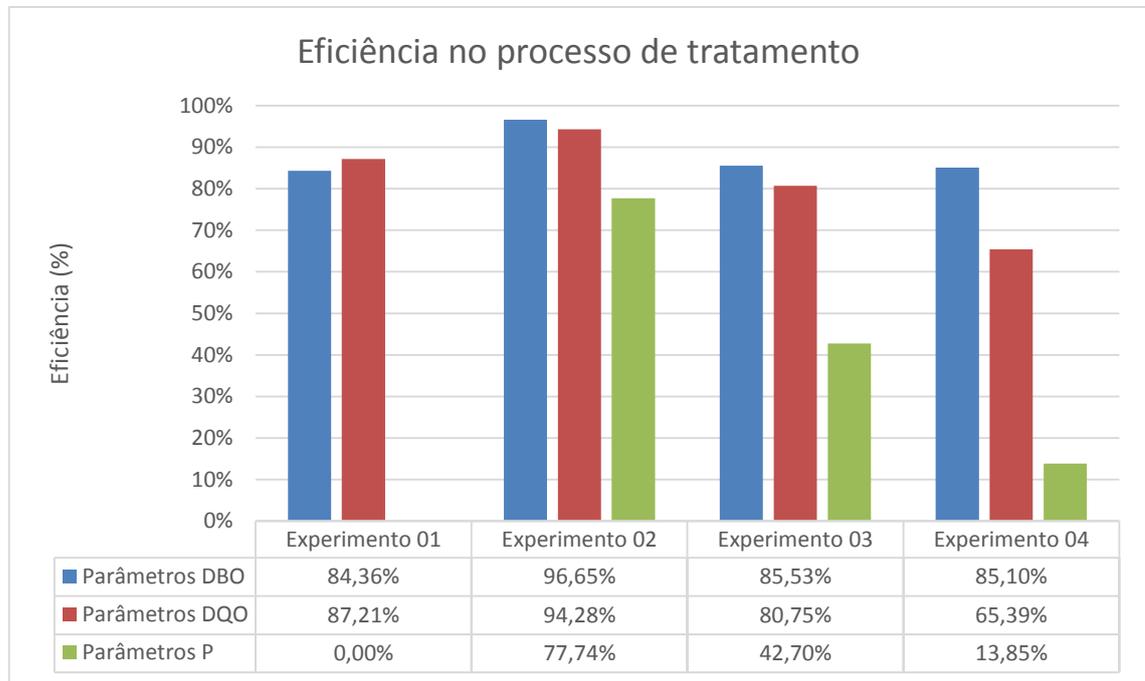


Figura 34. Valores comparativos de eficiência observados em cada etapa experimental.
(Fonte: Autor, 2018)

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidas no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Biorreator

A partir dos dados experimentais de processos de tratamento de efluentes, foi possível concluir que a biorreator aerado utilizado foi capaz de fornecer dados necessários para realizar o estudo e garantir as condições operacionais requeridas em cada sistema proposto.

- Métodos analíticos

Os reagentes utilizados para a formulação do efluente sintético foram capazes de fornecer amostras com características físico-químicas semelhantes aos efluentes sanitários reais. As soluções padrão utilizadas para a elaboração das curvas padrão de calibração proporcionaram dados experimentais com excelentes valores de coeficiente de determinação, $R^2 > 0,98$, durante o ajustamento dos modelos estatísticos lineares, para todos os métodos colorimétricos utilizados.

- Processos de tratamento

Os estudos realizados possibilitaram avaliar o monitoramento dos principais parâmetros de qualidade e controle físico-químico e ainda determinar a eficiência nas etapas dos processos de tratamentos. O material granulado bioclástico proposto como forma alternativa aos sistemas convencionais apresentou ótimos resultados de remoção de matéria orgânica. A Etapa 02 na qual foi utilizado o processo de lodos ativados com a adição de granulado apresentou valores de eficiência na remoção de DBO em 96,65%, de DQO em 94,28% e Fósforo em 77, 74%. Desta forma, pode-se concluir que o material proposta é uma alternativa viável e promissora para aplicação em tratamento de efluentes sanitários.

- Resíduo do processo

Nestes sistemas de tratamento ocorre a geração de um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, chamado de lodo de esgoto. A destinação deste lodo é um grande problema ambiental. Uma alternativa técnica viável de reuso desse resíduo orgânico é a sua utilização como adubo, desde que sejam avaliados alguns aspectos envolvidos, como por exemplo, a composição predominante do material. De forma geral, seu valor fertilizante é muito alto, em função dos teores elevados em nitrogênio e carbono orgânicos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de dar seguimento ao estudo de tratamento de efluentes com a utilização de granulados bioclásticos no biorreator, os próximos passos sugeridos são:

- Avaliar o processo com a adição de granulado bioclástico com diferentes faixas granulométricas e variar as concentrações do mesmo material;
- Investigar o processo de remoção de nitrogênio total utilizando os mesmos procedimentos operacionais da etapa 02;
- Investigar o processo de remoção da série de sólidos utilizando os mesmos procedimentos operacionais da etapa 02;
- Realizar um planejamento experimental para estudar a remoção de alíquotas do efluente tratado em diferentes tempos de residência hidráulico e investigar os tempos de saturação do material granulado bioclástico;
- Avaliar diferentes faixas de adição de lixiviado ao efluente sintético;
- Estudar a avaliação da viabilidade econômica de projeto (custo comparativo do preço do carvão ativado pulverizado e do granulado bioclástico)
- Investigar os mecanismos de sorção envolvidos no processo de tratamento com o uso do granulado bioclástico.
- Estudar a viabilidade de aplicação do resíduo do processo (lodo biológico) em processos de adubação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. NBR 8419, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. NBR 8849, 1985.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2017. São Paulo: ABRELPE, 2017.

ALBUQUERQUE, E.M. Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados. 2012. 276p. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2017). Atlas Esgotos . Brasília, Despoluição de Bacias Hidrográficas, Brasil.

APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. Washington, DC: APHA, AWWA, WPCF. 2012, 1082 p.

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. New York: 21th ed., 2005.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2015. São Paulo: Abrelpe; 2015.

BORGES, 2014. Roteiro de Aulas Práticas – Bioquímica – LCB 208. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). Departamento de Ciências Biológicas. Piracicaba, São Paulo, 2014.

BORNHARDT, C., DREWES, J. E., JEKEL, M. Removal of Organic Halogens (AOX) from Municipal Wastewater by Powdered Activated Carbon (PAC)/ Activated Sludge (AS) Treatment, Water Science & Technology, v. 35, n. 10, pp. 147-153, 1997.

BRAILE, P.M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias Industriais. Ed. CETESB: São Paulo, 1979.

Brasil. Resolução CONAMA n° 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União (DOU n° 249), Brasília, DF. De 30 de dezembro de 2009.

BRASIL. Resolução Conama no 357, de 18 de Março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e da outras providências.* 2005.

Briand, X. Lithothamne – Tradition from the past, to the future in the Agrochemistry. S.E.M.A., B.P. 65, Pointrieux, França, 1976.

CALETTI, Rozileni Piont Kovsky. Capacidade de sorção do *Lithothamnium* no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2017. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Meio Ambiente). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

CAMPOS, 2000. Juacyara Carbonelli Campos. “Processos combinados aplicados ao tratamento de água de produção de petróleo”, Tese D. Sc., Programa de Engenharia Química – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. 2ª ed Ampliada. 2012.

CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.4.Reatores Anaeróbios, DESA - UFMG. 1997.

CICLUS. **Site da Ciclus**, 2016. Disponível em: <http://www.ciclusambiental.com.br/ciclus_ctr.php>. Acesso em: 22 de dezembro 2018.

DIAS, Albiane Carvalho. Lodos Ativados com Adição de Carvão Ativado no Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico. 2017. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Meio Ambiente). Instituto de Tecnologia. Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

DIAS, C.T.M. Granulados bioclásticos: algas calcárias. Revista Brasileira de Geofísica, v. 8, p. 307-318, 2000.

Dupont, D.; Bouanda, J.; Dumonceau, J.; Aplincourt, M. Biosorption of Cu(II) and Zn(II) onto a lignocellulosic substrate extracted from wheat bran, Environmental Chemistry Letters, v. 2, p. 165–168, 2005.

ECKENFELDER, W.W. Industrial Water Pollution Control. Singapore: McGraw Hill, 1989.

FEEMA. DZ-215.R-4 - Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária. Republicada [no] DOERJ de 08 de novembro de 2007. FEEMA, 2007.

FERNANDEZ BOU, Angel Santiago. Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico por Processo PACT. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) – Universidade Federal Fluminense, 2015.

FERREIRA, L. H.; et al. Experimentação em Sala de Aula e Meio Ambiente: Determinação Simples de Oxigênio Dissolvido em Água. Química Nova na Escola. nº 19, Maio de 2004.

FILHO, Edegar B., FIORUCCI, A. R. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. Química Nova na Escola, nº. 22, novembro de 2005.

GOMES, A. S.; Palma, J. J. C.; Silva, C. G. Causas e consequências do impacto ambiental da exploração dos recursos minerais marinhos. Revista Brasileira de Geofísica, 18: 447-454, 2000.

GOMES, L.P. (coord) et al. Resíduos Sólidos. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

GOMES, L.P. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. (Projeto PROSAB). Rio de Janeiro: ABES, 2009. ISBN: 978-85-7022-163-6.

GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, São Paulo, n. 1, 2010. Disponível em: . Acesso em: 22 fevereiro 2013.

HOLLER, S., TROSCHE, W., 2001, "Treatment of urban wastewater in a membrane bioreactor at high organic loading rates", Journal of Biotechnology, v. 92, n. 2, pp. 95- 101.

IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

LIMA, Gabriel de Oliveira. Tratamento Terciário de Efluentes de Refinaria de Petróleo com Carvão Ativado em Pó Visando Seu Reuso. Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2015.

MACHADO, C.R.A. Avaliação do processo de lodos ativados combinado com carvão ativado em pó no tratamento de efluente de refinaria de petróleo. 2010. 128 p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. EQ/UFRJ, 2010.

MAIA, L.S. Uso de carvão ativado em pó no tratamento biológico de lixiviado de aterro de resíduos. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. EQ/UFRJ, 2012.

METCALF AND EDDY INC. Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse, 4a Ed.;McGraw - Hill: New York, 2003; 1848pp.

MIRANDA, T. M. Tratamento De Lixiviado De Aterro Sanitário Com Uso De Maerl. (*Lithothamnium Calcareum*). Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Química, UFRRJ/DEQ/IT, Seropédica, 2015.

MORAVIA, W.G.; LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. *Quim. Nova*, Vol. 34, No. 8, p.1370-1377, 2011.

NASCENTES, A.L. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico;

NASCENTES, A.L.; NASCIMENTO, M.M.P.; BRASIL, F.C.; CAMPOS, J.C.; FERREIRA, J.A. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico: aspectos operacionais e microbiológicos. *Revista Eletrônica Teccen*, v. 6, p. 1-10, 2013.

NASCIMENTO, Mayara Cristina Leal. Cinética de Remoção de Fosfato por Granulado Bioclástico - Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

NT-202.R-10 - CRITÉRIOS E PADRÕES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, INEA – RIO DE JANEIRO, 1986.

OLIVEIRA, DANIEL VIEIRA MINEGATTI DE. Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PEREIRA, E.; OLIVEIRA, L.C.; VALLONE, A.; SAPAG, K.; PEREIRA, M. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: Utilização de FeCl₃ como agente ativante. *Química Nova*, v. 31, p. 1296-1300, 2008.

REIS, L. G. C.; SANT'ANNA JUNIOR, G. L., 1983, "Reator Biológico com Biomassa Fixa e Imersa Aplicado ao Tratamento Aeróbio de Efluentes Concentrados", In: XI Encontro Nacional de Escoamento em Meios Porosos, Rio de Janeiro. Anais do XI ENEMP, 1983. v. II. p. 83-96.

ROCHA, 2006. Rocha, C. M. Tratamento de Efluente Sanitário gerado em shopping Center por Biorreator a membrana. Dissertação de Mestrado. Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química/UFRJ.

SANTANA, T. O. M. D. **Remoção de Nitrogênio Amoniacal de Lixiviados de Aterros Sanitários por Granulados Bioclásticos**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, p. 21-24. 2016.

Souza, Y. L. S. Utilização da alga *Lithothamnium calcareum* para poedeiras de linhagens leves, Dissertação da Faculdade de Medicina Veterinária – UFU, Uberlândia-MG, 59 p., 2012.

Universidade Federal de Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 166pp., tese de Doutorado, 2013.

VENEU, D. M. Utilização de Granulados Bioclásticos (*Lithothamnium calcareum*) para a Remoção de Chumbo, Cádmio e Níquel de Soluções Aquosas. TESE DE DOUTORADO. Rio de Janeiro, 2017.

VENEU, D. M.; YOKOYAMA, L.; da CUNHA, O. G. C.; SCHNEIDER, C. L.; de MELLO MONTE, M. B. Estudos de equilíbrio na sorção de $Cr^{(iii)}$ por granulados bioclásticos. *Holos*, v. 7, p. 62-77, 2016.

Veneu, D.M. Tratamento de Soluções Aquosas Contendo Zinco, Cobre e Cádmio por Processo de Biossorção/Bioflotação, Dissertação de Mestrado – PUC-Rio, 224 p., 2010.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, DESA-UFMG, 1996a.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.2. Princípios do tratamento de esgotos, DESA-UFMG, 1996b.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.3. Lagoas de estabilização, DESA-UFMG, 1996c.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.4. Lodos ativados, DESA-UFMG, 1997.

8 ANEXOS

Neste item, os anexos serão apresentados da seguinte forma:

Anexo A. Modelo de ficha de análise

Anexo B. Certificados de calibração

Anexo C. Procedimentos Padrão de Análise - PPA

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
 INSTITUTO DE TECNOLOGIA
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

FICHA DE ANÁLISE

Aluno Marcos Morenz

Laboratório Laboratório de Análise de Águas e Efluentes

ETAPA	
Amostra	

Data e Hora

Parâmetro	Unidade	PPA	Data e Hora						
			/	/	/	/	/	/	
			:	:	:	:	:	:	
Temperatura	°C	01							
pH	[-]	02							
Condutividade	µS/cm	03							
Cor	Pt/Co	04							
Turbidez	FTU	05							
OD	mg/L	06							
DBO	mg/L	07							
DQO	mg/L	08							
P total	mg/L	09							

Legenda:

- | | |
|-----|--------------------------------|
| PPA | Procedimento Padrão de Análise |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| P | Fósforo |



Certificado de Análise

Tecnologia analítica para sustentabilidade!

ALFA752/2018

Identificação do Item

Padrão: Solução Padrão de DQO 1000 mg L⁻¹

Fabricante: ALFAKIT LTDA

Numeração do Lote: **378/00018**

Preparação do Padrão

A solução padrão de DQO foi obtida a partir do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª ed. 2005; 5220 B 3. 5 - 15, dissolvendo biftalato de potássio de elevada pureza analítica, em água ultrapura, a 25°C. A solução padrão foi envasada em frasco de polietileno de alta densidade contendo aproximadamente o volume de 100 mL de solução. A concentração certificada é baseada na preparação gravimétrica e na pureza do sal utilizado.

Metodologia e Instrumentação Utilizada na fabricação

A balança utilizada é analítica, Shimadzu AUW220, com resolução de 0,0001 g, com certificado RBC nº J70910/18. A vidraria consiste em balão volumétrico de 1000 mL, Classe A, com tampa de polietileno/HS 542 identificação RBC 11915/16. O teste final com o padrão foi feito com a metodologia da **ALFAKIT**, da mesma referência citada no item: **Preparação do Padrão**, em Espectrofotômetro UV – VIS FEMTO CIRRUS 60, calibração RBC LV01710-05804-18. A linearidade das curvas e concentração do padrão foram calibradas com padrão Spectroquant® PhotoCheck MERCK Lote HC 607932 checado e calibrado usando filtros NIST SRM 1930 e Solução NIST de óxido de Hólmio.

Rastreabilidade Metrológica

O valor da solução possui rastreabilidade metrológica garantida através da comparação com o Padrão de **DQO (1000 ± 6) mg L⁻¹ – Lote: 317/00018** – Sendo sua concentração verificada pela utilização de padrão secundário.

Finalidade de uso

A solução padrão de DQO tem sua utilização destinada à análise colorimétrica.

Armazenagem e Manipulação

A solução deve ser armazenada na temperatura de (20 ± 5) °C. Recomenda-se, após o uso, fechar o frasco e armazená-lo sob refrigeração, evitando contato com possíveis contaminantes.

Valor do Padrão e Incerteza Expandida

O valor da solução padrão, a (25 ± 0,5) °C, com sua respectiva incerteza expandida – declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, o qual para uma distribuição t com $v_{\text{eff}} = \infty$ graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%, baseada no “Guia para a Expressão da Incerteza de Medição” – Inmetro/ABNT, 2003 – está discriminado abaixo:

DQO (1000 ± 6) mg L⁻¹

Prazo de Validade

A solução padrão, **lote 358/00018**, é válida até novembro de 2019, na incerteza de medição especificada. A ALFAKIT garante a integridade desta solução padrão até a abertura de sua embalagem.

Aprovação

Aprovação do Certificado: **21/11/2018**

Léo de Oliveira
Químico Responsável
CRQ:13200022



Certificado de Análise

Tecnologia analítica para sustentabilidade!

ALFA754/2018

Identificação do Item

Padrão: Solução Padrão de Fósforo 100 mg L⁻¹

Fabricante: ALFAKIT LTDA

Numeração do Lote: **380/10118**

Preparação do Padrão

A solução padrão de fosfato foi obtida a partir da dissolução de Fosfato de Potássio (KH₂PO₄) com teor de pureza maior que 99% em água tipo I. A solução padrão foi envasada em frasco de polietileno de alta densidade contendo aproximadamente o volume de 100 mL de solução. A concentração certificada é baseada na preparação gravimétrica e na pureza do sal utilizado.

Metodologia e Instrumentação Utilizada na fabricação

Para a diluição do padrão para 100 mg L⁻¹ foi utilizado balão volumétrico de 100 mL, Classe A com tampa de polietileno/HS, identificação VD09827/15 e Micropipeta modelo Transferpette S Brand; com calibração RBC 16262.10, a 25°C. O teste final com o padrão foi feito com a metodologia da **ALFAKIT**, da mesma referência citada no item: **Preparação do Padrão**, em Espectrofotômetro UV – VIS FEMTO CIRRUS 60, calibração certificada n° LV01710-05804-18. A linearidade das curvas e concentração do padrão foram calibradas com padrão Spectroquant® PhotoCheck MERCK Lote HC 5607932.

Rastreabilidade Metrológica

O valor da solução possui rastreabilidade metrológica garantida através da comparação com o Padrão de Fosfato (**1002 ± 5**) mg L⁻¹ – Lote: F18A0671D. Este padrão é rastreado gravimetricamente ao NIST, sendo sua concentração verificada pela utilização de padrão secundário ou primário diretamente rastreado ao NIST.

Finalidade de uso

A solução padrão de fosfato tem sua utilização destinada à análise colorimétrica.

Armazenagem e Manipulação

Armazenagem deve ser entre as temperaturas de (15 a 30) °C.

A conversão de Fosfato para Ortofosfato é necessário multiplicar o valor lido por 1,494.

Valor do Padrão e Incerteza Expandida

O valor da solução padrão, a (25 ± 0,5) °C, com sua respectiva incerteza expandida – declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k = 2, o qual para uma distribuição t com v_{eff} = ∞ graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%, baseada no “Guia para a Expressão da Incerteza de Medição” – Inmetro/ABNT, 2003 – está discriminado abaixo:

Fosfato (100 ± 0,06) mg L⁻¹

Prazo de Validade

A solução padrão, lote **380/10118**, é válida até abril de 2019, na incerteza de medição especificada. A ALFAKIT garante a integridade desta solução padrão até a abertura de sua embalagem.

Aprovação

Aprovação do Certificado: **21/11/2018**

Léo de Oliveira
Químico Responsável
CRQ:13200022

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		01
		Revisão: 00
		22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	01 - TEMPERATURA
Faixa	N/A
Método	N/A
Instrumentos	MEDIDOR DE BANCADA – QUAXTRON – MODELO QX 1500 PLUS
Reagentes	N/A

PROCEDIMENTO	
<p>O monitoramento da temperatura será realizado através de um aparelho eletrônico portátil, específico para análise de efluentes.</p> <p>Etapas da coleta e monitoramento:</p> <p>01 - Coletar a amostra de efluente utilizando os coletores adequados e higienizados.</p> <p>02 - Inserir o eletrodo do equipamento dentro do coletor, até a marca indicada.</p> <p>03 - Aguardar a estabilização.</p> <p>04 - Anotar o resultado nas planilhas de monitoramento</p>	

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		02
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	02 - pH
Faixa	N/A
Método	N/A
Instrumentos	MEDIDOR DE BANCADA – QUAXTRON – MODELO QX 1500 PLUS
Reagentes	N/A

PROCEDIMENTO	
<p>O monitoramento do pH, será realizado através do pHmetro, aparelho eletrônico portátil, digital, específico para análise de efluentes.</p> <p>Etapas da coleta e monitoramento:</p> <p>01 - Coletar a amostra de efluente utilizando os coletores adequados e higienizados.</p> <p>02 - Inserir o eletrodo do pHmetro dentro do coletor, até a marca indicada no equipamento.</p> <p>03 - Aguarda a estabilização.</p> <p>04 - Anotar o resultado nas planilhas de monitoramento diário.</p> <p>Atenção! Verificar se os resultados do pH:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se está entre 5,0 e 9,0. Resultados fora desta faixa, representam sinal de alerta; - No tanque de aeração e no decantador secundário, se estão entre 6 e 8. Resultados fora desta faixa, representam sinal de alerta; 	

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		03
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	03 – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
Faixa	N/A
Método	N/A
Instrumentos	CONDUTIVÍMETRO DIGIMED DM-32
Reagentes	N/A

PROCEDIMENTO
<p>Observação:</p> <p>Após cada leitura o eletrodo deve ser lavado, caso dê bolhas de água, é necessário retirá-la com um papel para que esta não altere o resultado da análise.</p> <p>1 – Apertar e segurar a tecla ESCAPE – Selecione a opção CONDUTIVIDADE. Aparecerá o nome LEITURA que ficará piscando;</p> <p>2 – Apertar ENTRA, em seguida apertar SELEÇÃO até começar a piscar a palavra CALIBRAR, em seguida apertar a tecla ENTRA.</p> <p>3 – Aparecerá a seguinte frase: “COLOQUE CÉLULA NA SOLUÇÃO PADRÃO”, aparecerá a pergunta: “PRONTO?”, a seguir selecione a tecla ENTRA, aguarde, após selecionar a opção CALIBRAR.</p> <p>4 – Após a calibração lave a célula e no aparelho aparecerá a seguinte frase: “LAVE A CÉLULA, PRONTO?”, sem seguida aperte a tecla ENTRA</p> <p>5 – Em seguida aparecerá no display a seguinte frase: “VAMOS A AMOSTRA, PRONTO?” – Pressione a tecla ENTRA e realizar a leitura.</p> <p>Resultado expresso em $\mu\text{S/cm}$</p> <p>6 – Após todas as leituras, para DESLIGAR o aparelho aperte a tecla ESCAPE e a segure até aparecer “DESLIGAR?”, pressione a tecla SELEÇÃO até começar a piscar a palavra “SIM”, e então aperte a tecla ENTRA.</p>

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		04
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	04 - Cor
Faixa	N/A
Método	N/A
Instrumentos	Espectrofotômetro HACH DR3900 2 Cubetas de vidro (Quadradas, 10 mL) Água destilada Papel Toalha Pipeta 10 mL Amostra (20 mL)
Reagentes	N/A

PROCEDIMENTO
<p>1 – Com o espectrofotômetro ligado à energia, pressionar o botão de LIGA/DESLIGA;</p> <p>2 – Aguardar o equipamento realizar os testes internos e caso surja alguma janela, clicar em FECHAR;</p> <p>3 – Clicar em PROGRAMAR ARMAZENADOS, selecionar o programa 120 cor 455 nm e clicar em INICIAR;</p> <p>4 – No recipiente de vidro (cubeta quadrada, 10 mL) destinado ao ZERO, colocar cerca de 10 mL de água destilada. O importante é que o nível de líquido atinja a marca de 10 mL;</p> <p>5 – Retirar a tampa do compartimento de leitura, limpar o recipiente com papel toalha e inserir o recipiente de vidro com a <u>marcação de 10 mL voltada para o lado direito</u> do equipamento.</p> <p>6 – Clicar em ZERO;</p> <p>7 – Substituir o recipiente de vidro com água destilada por um recipiente de vidro contendo cerca de 10 mL da amostra a ser analisada;</p> <p>8 – Clicar em LER; Resultado expresso em Pt/Co. Anotar.</p> <p>9 – Lavar cuidadosamente o recipiente de vidro para a análise de outras amostras, não sendo necessário zerar novamente;</p> <p>10 – Para desligar pressione o botão LIGA/DESLIGA e desligar da energia;</p>

	<p style="text-align: center;">Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química</p> <p style="text-align: center;">PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA</p>	PPA Nº
		05
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	05 - TURBIDEZ
Faixa	N/A
Método	Colorimétrico
Instrumentos	Turbidímetro Portátil – HANNA HI93703C 1 Cubeta (cilíndrica, 10 mL) Papel Toalha Pipeta, 10 mL Amostra (10 mL)
Reagentes	N/A

PROCEDIMENTO
<p>1 – Pressionar o botão ON;</p> <p>2 – Retirar a tampa do compartimento de leitura;</p> <p>3 – Colocar 10 mL da amostra a ser analisada no tubo de vidro previamente lavado e seco;</p> <p>4 – Certificar-se de que não há bolhas de ar formadas na amostra;</p> <p>Rosquear o tubo de vidro na tampa do equipamento</p> <p>Limpar o tubo com um papel toalha;</p> <p>5 – Inserir o tubo de vidro no compartimento de leitura;</p> <p>6 – Pressionar o botão READ. Após alguns segundos o visor exibirá a leitura; Resultado em NTU.</p> <p>7 – Para desligar pressionar o botão OFF.</p> <p>Atenção: Sempre lavar com água destilada e secar o tubo de vidro entre as medições.</p>

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		06
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	06 – OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)
Faixa	N/A
Método	N/A
Instrumentos	MEDIDOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO – LUTRON, MODELO DO5519
Reagentes	N/A

PROCEDIMENTO
<p>Observação: Cuidado com o sensor de OD, pois ele quebra fácil.</p> <p>Calibração: A calibração deve ser realizada em ambiente ventilado. Antes de iniciar a calibração adicione a solução “probe-filing electrolyte” no interior do sensor.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 – Conectar o sensor no equipamento; 2 – Apertar o botão vermelho (power on/off) 3 – Esperar por aproximadamente 3 minutos até o display ler os valores estabilizados e sem flutuação. 4 – Apertar uma vez o botão “func hold” 5 – Apertar uma vez o botão “rec enter”. Será marcado um tempo de 30 segundos. <p>No visor aparecerá valores de %O₂ entre 20,9 e 20,8</p> <ol style="list-style-type: none"> 6 – Já está calibrado. <p>Leitura de OD</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 – Pressionar “func hold” continuamente por pelo menos 2 segundos. O display mudará de %O₂ para mg/L 2 – Afunde o equipamento à uma profundidade de mais ou menos 10 cm no líquido e movimente o sensor circularmente. Espere 1 minuto. Anote o valor expresso em mg/L. 3 – Limpe o sensor com água destilada e seque para a próxima leitura 4 – Coloque a tampa vermelha quando for guardar.

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		07
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	07 – DBO (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO)
Faixa	Variável: 0 a 35 mg/L, 0 a 70 mg/L, 0 a 350 mg/L, 0 a 700mg/L de DBO
Método	HACH DBOTrak II (respirométrico)
Instrumentos	MEDIDOR RESPIROMETRICO DBOTRAK II – HACH Incubadora de DBO (“geladeira”) 6 garrafas de 492 ml de vidro âmbar 6 barras magnéticas 6 copos de vedação Espátula
Reagentes	1 sachê de solução tampão nutriente (Pillows) Comprimidos de Hidróxido de Potássio

PROCEDIMENTO	
---------------------	--

Tabela 4 – Volumes de amostras simplificados

Intervalo de mg/L de DBO	Volume de amostra (mL)
0 a 35	420
0 a 70	355
0 a 350	160
0 a 700	95

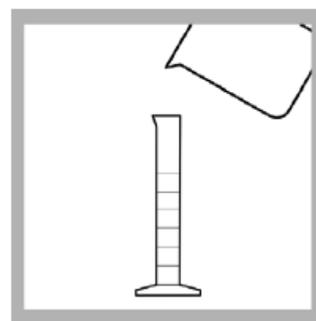
Procedimento:



1. Aqueça ou esfrie a amostra para 19 a 21°C (66°F a 70°F).



2. Homogenize a amostra em um misturador, se ela contiver grandes sólidos suspensos.



3. Selecione o tamanho de amostra correto do intervalo de amostra (Tabela 4). Meça a amostra em um cilindro graduado.



4. Adicione o conteúdo de 1 sachê de solução tampão nutriente ao cilindro graduado.



5. Transfira o conteúdo do cilindro graduado para um recipiente BODTrak II. Repita as etapas de 1 a 5 para amostras adicionais.

6. Continue com as etapas para conclusão de todos os procedimentos ([seção 5.5 na página 30](#)).

CONCLUA AS ETAPAS DE TODOS OS PROCEDIMENTOS:

Aparelhagem necessária:

BODTrak II

Espátula

Incubadora de DBO

Copo de vedação

Barra de agitação

Reagente necessários:

2 comprimidos de hidróxido de sódio

Procedimentos:



1. Coloque uma barra de agitação BODTrak II no recipiente.



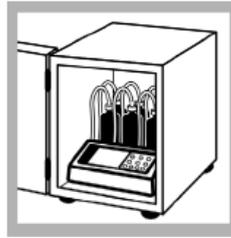
2. Coloque um copo de selagem no gargalo do recipiente.



3. Use uma espátula para adicionar dois comprimidos de hidróxido de sódio ao copo de selagem. Repita as etapas 1 a 3 para cada recipiente de amostra.

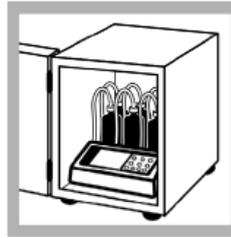


4. Coloque os recipientes na base BODTrak II. Conecte o tubo aplicável ao recipiente de amostra e aperte a tampa.

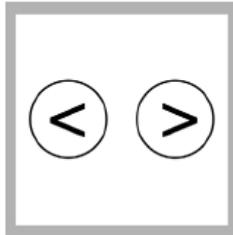


5. Coloque o instrumento na incubadora. A temperatura da incubadora deve ser de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ($68 \pm 1^\circ\text{F}$).

Nota: O desempenho do instrumento não foi testado em outras temperaturas.

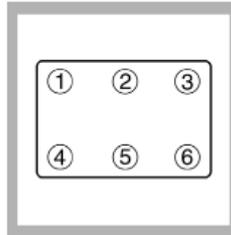


6. Conecte e ligue o instrumento. Certifique-se de que todas as barras de agitação estejam girando. Se não estiverem, suspenda o recipiente e coloque-o novamente.



7. Pressione e mantenha pressionadas as teclas de setas à esquerda e à direita ao mesmo tempo, para acessar o menu de configuração do instrumento.

Nota: Configure a hora e a data, se for necessário (seção 4.3 na página 15).

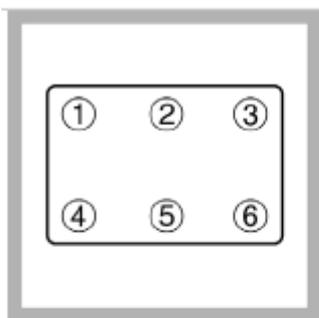


8. Pressione a tecla Canal 6 para acessar o parâmetro de duração do teste. Use as teclas de seta para selecionar um teste de 5, 7 ou 10 dias.

Nota: A duração do teste selecionada é para todos os seis canais.



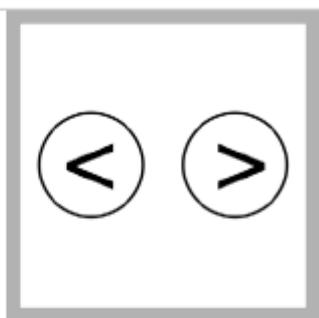
9. Pressione OFF para salvar as seleções e sair do menu.



10. Para iniciar o teste, pressione o número de canal aplicável ao recipiente.



11. Pressione a tecla ON. O menu de seleção de intervalo é mostrado.



12. Use as teclas de seta para selecionar o intervalo de teste.

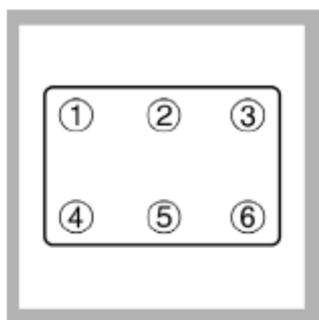
Nota: Use a tecla à esquerda para os intervalos de 0 a 35 e 0 a 70 mg/L. Use a tecla à direita para os intervalos de 0 a 350 e 0 a 700 mg/L.



13. Pressione e mantenha pressionada a tecla ON para iniciar o teste. Um gráfico será exibido.

Nota: Para cancelar o teste, pressione e mantenha pressionada a tecla OFF.

Nota: Há um período predefinido de equilíbrio de instrumento/amostra de 1 hora antes da coleta de dados. O mostrador indicará DELAY durante esse período.



14. Execute as etapas 10 a 13 novamente para definir o intervalo de teste e iniciar cada um dos seis canais. Não é necessário operar todos os seis canais se estiverem disponíveis menos de seis amostras.

Determinação de resultados:

Após o término do período de teste selecionado (5, 7 ou 10 dias), **END** é exibido no mostrador. O procedimento realizado estabelece a determinação dos resultados. Os resultados são determinados com base no procedimento selecionado: Simplificado.

Resultados simplificados de amostras

Os resultados do procedimento Simplificado são mostrados na exibição do BODTrak II. Pressione a tecla de seleção de canal aplicável para mostrar os resultados.

Nota: Se a amostra foi pré-diluída, aplique um fator de diluição à leitura de instrumento (seção 5.7.1 na página 36).

5.7.1 Diluição de amostra

O efluente de DBO de amostra desconhecido está normalmente no intervalo de 0 a 70 mg/L. O afluente de DBO de amostra desconhecido está normalmente no intervalo de 0 a 700 mg/L. Quando o requisito de oxigênio de uma amostra for superior a 700 mg/L, dilua a amostra com água deionizada ou destilada de alta qualidade.

Calcule os resultados para incluir o fator de diluição adicional.

Exemplo: Se a DBO da amostra for 1.000 mg/L, dilua a amostra 1:1 com água deionizada ou destilada.

Agora a DBO estimada é de 500 mg/L. Use o volume de amostra especificado na tabela para o intervalo de 0 a 700 mg/L do procedimento selecionado. Multiplique o resultado da leitura de instrumento por 2. Se estiver usando o procedimento Hach Standard Method, continue com os cálculos restantes.

5.6 Curvas típicas

Curvas típicas em um período de teste de 10 dias são mostradas em [Figura 4](#) Para curvas incorretas, consulte [Figura 5 na página 41](#).

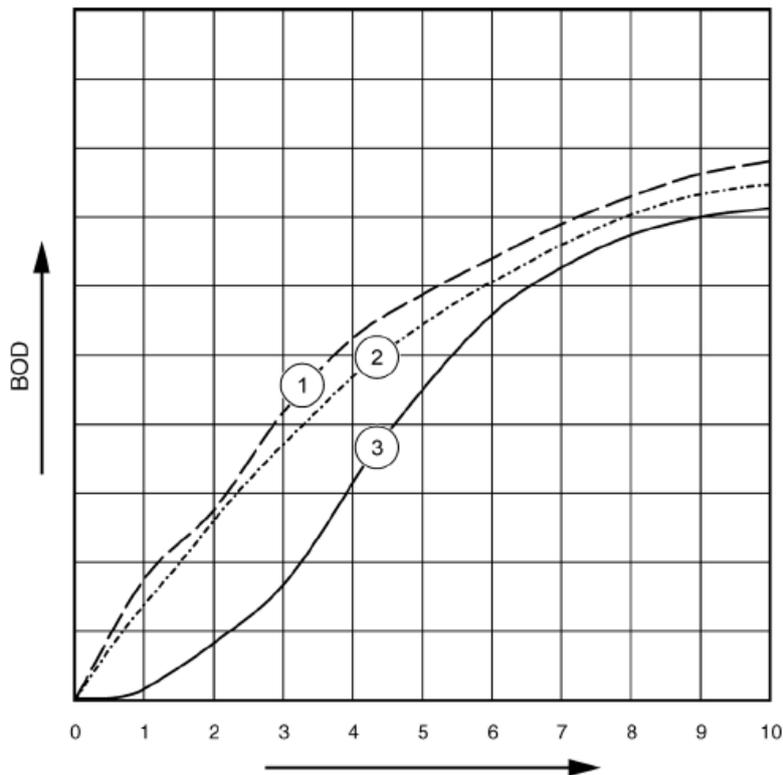


Figura 4 Curvas típicas

1 Típicas com variação de substrato	3 Típicas com atraso de tempo
2 Típicas	

	<p style="text-align: center;">Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química</p> <p style="text-align: center;">PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA</p>	PPA Nº
		08.01
		Revisão: 00 22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	08.01 – Demanda Química de Oxigênio (DQO BC)
Faixa	LQI = 20 mg/L O ₂ LQS = 150 mg/L O ₂ λ = 420 nm
Método	ESPECTRO KIT BQO BC - Código: 5836 Digestão ácida
Instrumentos	Caixa de transporte Ficha de parâmetros colorimétricos Cartela com técnica 1 tubos com tampa teflon de 10 mL 1 seringa de 3 mL com ponteira longa 1 seringa de 5 mL com ponteira longa 1 seringa de 5 mL com ponteira
Reagentes	5835 – DQO 1 BC – 150 mL (Vidro) 847 – DQO 2 – 350 mL (vidro)

PROCEDIMENTO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Medir 2,5 mL de amostra com a seringa e transferir para o tubo com tampa rosqueável 2. Fazer uma prova em branco, medindo 2,5 mL de água deionizada e adicionando os reagentes paralelamente a amostra; 3. Adicionar 1,5 mL do Reagente 1 4. Adicionar lentamente e com muito cuidado 3,5 mL do Reagente 2 fechar o tubo e agitar 5. Levar os tubos ao bloco digestor e quando atingir a temperatura de 150 °C, deixar por 2 horas 6. Retirar as amostras do bloco digestor esfriar parcialmente, (se esfriar muito, as amostras podem turvar), zerar o equipamento com a prova em branco e fazer a leitura das amostras; 7. O resultado lido é a concentração em mg/L de O₂ <p>Observações:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lavar imediatamente a pele com água caso entrar em contato com algum dos reagentes; 2. Comprimento de onda = 420 nm. 	

	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA	PPA Nº
		08.02
		Revisão: 00
		22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	08.02 – Demanda Química de Oxigênio (DQO EFLUENTES)
Faixa	LQI = 125 mg/L O ₂ LQS = 1000 mg/L O ₂ λ = 600 nm Filtro = Laranja
Método	ESPECTRO KIT DQO EFLUENTES - Código: 949 Digestão ácida
Instrumentos	Caixa de transporte Ficha de parâmetros colorimétricos Cartela com técnica 2 tubos com tampa teflon de 10 mL 1 seringa de 3 mL com ponteira longa 1 seringa de 5 mL com ponteira longa 1 seringa de 5 mL com ponteira
Reagentes	Reagente 1 – 150 mL Reagente 2 – 350 mL

PROCEDIMENTO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Medir 2,5 mL de amostra com a seringa e transferir para o tubo com tampa rosqueável 2. Fazer uma prova em branco, medindo 2,5 mL de água deionizada e adicionando os reagentes paralelamente a amostra; 3. Adicionar 1,5 mL do Reagente 1 4. Adicionar lentamente e com muito cuidado 3,5 mL do Reagente 2 fechar o tubo e agitar 5. Levar os tubos ao bloco digestor e quando atingir a temperatura de 150 °C, deixar por 2 horas 6. Retirar as amostras do bloco digestor esfriar parcialmente, (se esfriar muito, as amostras podem turvar), zerar o equipamento com a prova em branco e fazer a leitura das amostras; 7. O resultado lido é a concentração em mg/L de O₂ <p>Observações:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lavar imediatamente a pele com água caso entrar em contato com algum dos reagentes; 2. Comprimento de onda = 600 nm. 	

	<p style="text-align: center;">Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química</p> <p style="text-align: center;">PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA</p>	PPA Nº
		09.01
		Revisão: 00
		22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	09.01 – FOSFORO VANADOMOLÍBDICO
Faixa	LQI = 0,10 mg/L P LQS = 5,00 mg/L P Sensibilidade = - Espectro λ = 415 nm
Método	Vanadomolibdico (ref.: 213) Spectro Kit Fósforo VANADOMOLÍBDICO
Instrumentos	Espectrofotômetro HACH DR3900 Caixa para Transporte Ficha de parâmetros colorimétricos Cartela com técnica 2 Tubos de ensaio de 10 mL 1 seringa de 5 mL com ponteira
Reagentes	3259 – Fósforo Vanadomolibdica

PROCEDIMENTO	
<p>Procedimento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir 5 mL de amostra com a seringa e transferir para o tubo do fotocolorímetro 2. Fazer uma prova em branco, medindo 5 mL de água deionizada e adicionando os reagentes paralelamente a amostra; 3. Adicionar 12 gotas do Reagente 1 e agitar. 4. Aguardar 10 minutos; 6. Zerar o equipamento com a prova em branco e fazer a leitura das amostras; 8. O resultado é lido é a concentração em mg/L de P. <p>Observações:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para expressar o resultado em P_2O_5 multiplicar o valor lido por 4,58 e para expressar em PO_4 multiplicar o valor lido por 3,066 2. Comprimento de onda = 415 nm. 	

	<p style="text-align: center;">Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química</p> <p style="text-align: center;">PROCEDIMENTO PADRÃO DE ANÁLISE - PPA</p>	PPA Nº
		09.02
		Revisão: 00
		22/10/2018
		Marcos Morenz

PPA Nº	09.02 – FOSFORO TOTAL A/C
Faixa	LQI = 5,00 mg/L PO ₄ LQS = 22,00 mg/L PO ₄ Sensibilidade = - Espectro λ = 650 nm
Método	Ácido ascórbico (ref.: 1515) Spectro Kit Fosfato Total
Instrumentos	Espectrofotômetro HACH DR3900 Caixa para Transporte Ficha de parâmetros colorimétricos Cartela com técnica 2 Erlenmeyer 125 mL 1 proveta 50 mL 2 pasinhas nº 1 2 Tubos de ensaio de 10 mL 1 seringa 5 mL com ponta
Reagentes	3975 – Fenolftaleína – 15 mL 1870 – Água ultra pura – 500 mL 2592 – Fosfato (Ortofosfato) 1 – 50 mL 1224 - Fosfato (Ortofosfato) AC – 50 mL 1204 – Fosfato 3 – 50 mL 1205 – Fosfato 4 – 5g 1206 – Fosfato 5 – 50 mL 259 – Fósforo Vanadomolibdica

PROCEDIMENTO	
<p>Procedimento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir 20 mL de amostra com a proveta e transferir para o erlenmeyer 2. Fazer uma prova em branco, medindo 20 mL de água deionizada em outro erlenmeyer e adicionando os reagentes paralelamente a amostra; 3. Adicionar 10 gotas do Reagente 3 e agitar com movimentos circulares. 4. Adicionar 1 medida rasa do Reagente 4 e aditar até dissolver 5. Levar o erlenmeyer ao banho-maria fervente por 30 minutos 6. Retirar o frasco do banho-maria e adicionar 4 gotas de fenolftaleína. 7. Adicionar o Reagente 5, agitando a cada gota adicionada, até surgir a cor rosa; 8. Aguardar esfriar e completar o volume até 20 mL com água deionizada. Homogeneizar bem; 9. Medir 5 mL de amostra e transferir para um tubo de fotocolorímetro 10. Adicionar 10 gotas do Reagente 1 de Ortofosfato e agitar 11. Adicionar 1 medida rasa do Reagente 2 de Ortofosfato AC e agitar; 12. Aguardar 10 minutos 13. Zerar o equipamento com prova em branco e fazer a leitura das amostras 14. O resultado lido é a concentração em mg/L de PO₄ 	

Observações:

1. O Fósforo orgânico e compostos como AMP podem requerer um tempo de até 2 horas no banho-maria, para conversão completa para ortofosfato;
2. Para expressar o resultado em P_2O_5 multiplicar o valor lido por 1,494
3. Para expressar o resultado em P multiplicar o valor lido por 0,3263
4. Comprimento de onda = 650 nm.