

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS SERTÃO
EIXO DAS TECNOLOGIAS
ENGENHARIA CIVIL

TÁSSIO BEZERRA MAGASSY

**DESEMPENHO DE REATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO, TRATANDO
ESGOTO SANITÁRIO, A DIFERENTES RAZÕES DE RECIRCULAÇÃO**

DELMIRO GOUVEIA/AL

2017

TÁSSIO BEZERRA MAGASSY

**DESEMPENHO DE REATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO, TRATANDO
ESGOTO SANITÁRIO, A DIFERENTES RAZÕES DE RECIRCULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

DELMIRO GOUVEIA/AL

2017

desempenho de reator combinado anaeróbio-aeróbio, tratando esgoto sanitário, a diferentes razões de recirculação

M270d Magassy, TássioBezerra

Desempenho de reator combinado anaeróbio-aeróbio, tratando esgoto sanitário, a diferentes razões de recirculação / Tássio Bezerra Magassy. - 2017.

52f. : il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.

1. Biotecnologia. 2. Carga Orgânica.

CDU 57

Folha de Aprovação

TÁSSIO BEZERRA MAGASSY

**DESEMPENHO DE REATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO,
TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO, A DIFERENTES RAZÕES DE
RECIRCULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Alagoas – Campus Sertão e aprovado
em 01 de dezembro de 2017.

Antonio Netto

Prof^o. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto – UFAL Campus Sertão (Orientador)

Banca Examinadora:

Stephane Lima Pereira de Andrade

Eng^a. Ma. Stephane Lima Pereira de Andrade – (Examinador Externo)

Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira

Prof^a Dra. Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira – (Examinador Interno)

Antonio Netto

Prof^o. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto – (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Não poderia iniciar um trabalho como este sem primeiramente agradecer a Deus. Na Carta aos Colossenses (Cl 3:17), a palavra diz: “E tudo o que vocês fizerem através de palavras ou ações, o façam em nome do Senhor Jesus, dando graças a Deus Pai por meio dele”. Ele é o responsável por todas as glórias na minha vida e me proporcionou essa oportunidade maravilhosa de estudar na UFAL, conhecer pessoas importantes e poder chegar onde cheguei.

À minha mãe, meu pai (*in memoriam*) e meu irmão por serem minha base e estarem ao meu lado em todos os momentos da minha vida, bons e ruins. Todos eles sabem das dificuldades vividas e sempre estiveram presentes, me educando, orientando nas tomadas de decisões e dando força nos momentos adversos. Eles foram muito importantes para meu amadurecimento pessoal, formação de valores e caráter. Essas são as pessoas mais importantes na minha vida e sem eles eu não poderia estar realizando esse sonho.

Meus avós, por me acolherem em Delmiro Gouveia durante esses anos, proporcionando uma vida de muita qualidade, em um ambiente saudável e amistoso. Tenho certeza que o carinho, a assistência e o clima favorável vivido ao lado deles foram fundamentais para que eu pudesse seguir meus sonhos e obter as realizações dos últimos anos. Seus ensinamentos me mostraram como é importante preservar os valores da família e certamente me tornaram uma pessoa melhor.

Aos demais familiares, tios, primos, padrinhos, que sempre expuseram apoio durante essa caminhada e se mostraram disponíveis para me ajudar nos momentos que eu precisasse, transmitindo segurança e confiança. Os momentos de alegria, lazer e união foram muito importantes para continuar me dando força na caminhada.

À minha namorada, Andressa, pelo amor, carinho, por ser minha companheira e me apoiar incansavelmente em todos os momentos, por me dar forças e acreditar nos nossos sonhos. Os sacrifícios juntos nesses anos foram muito importantes na nossa graduação.

Ao meu professor e orientador Antonio Pedro de Oliveira Netto pelo companheirismo, por me acolher no grupo de pesquisa e na atividade de monitoria, pelos ensinamentos tanto nas disciplinas do curso quanto em outras questões pessoais, pela paciência durante a excelente orientação deste trabalho e por contribuir de diversas formas para a realização dos meus sonhos.

À minha coordenadora, Rafaela Faciola Coelho de Souza, pela amizade, por me ajudar a resolver vários problemas na graduação, por me orientar em algumas decisões da vida e ter paciência comigo, principalmente nos dias mais cheios, além de colaborar com as benditas incontáveis cartas.

Ao professor Thiago Alberto da Silva Pereira, pela oportunidade me orientar na monitoria, por todo o conhecimento transmitido nas disciplinas, pelo companheirismo e auxílios durante a graduação.

À professora Viviane Regina Costa, pela sua orientação durante o intercâmbio, conselhos pessoais e profissionais, além da ajuda em vários outros problemas durante graduação, se tornando uma grande amiga.

À minha grande amiga Taís Luz, por estar ao meu lado desde o primeiro ano na UFAL, e inclusive durante o intercâmbio, sendo uma pessoa que sempre estendeu a mão, esteve ao meu lado nos bons e maus momentos e foi muito importante para meu crescimento pessoal, constantemente me ensinando a ser uma pessoa melhor.

Aos programas PET e AÇÕES, que foram muito importantes no início da minha graduação, me tornando mais responsável e agregando valores pessoais e profissionais. Sou muito grato a todas os estudantes desses programas, que aliás são muito bem qualificados, que me ajudaram muito a crescer e me tornar uma pessoa melhor.

Ao Cláudio, Arthur, Givaldo, Eduardo, Jéssica, Sheila, Rafaela, Reinado e todos aqueles que estiveram ao meu lado durante um ano de estágio, no consórcio SVC/Engemat, que também me ensinaram bastante e me mostraram um ramo novo na engenharia. Todos eles foram importantíssimos para meu crescimento.

À EQUIPE, que esteve comigo desde o primeiro até o último dia da minha graduação, com orientações, conselhos e união, que certamente me auxiliaram e foram importantes para meu amadurecimento pessoal e crescimento profissional. Tenho certeza que eles estarão sempre ao meu lado. TAC.

Aos Parceiros e Xuras, amizades marcantes que fiz durante meus anos de graduação e que tenho um carinho especial por todos. Aos demais amigos que fiz durante todos esses anos de UFAL, certamente não consigo mencionar todos, mas sei o quanto foram importantes na minha graduação.

Aos membros do Laboratório de Saneamento Ambiental do CTEC, no Campus AC Simões da UFAL, que durante os últimos anos foram parceiros do nosso grupo e auxiliaram nossa pesquisa com análises laboratoriais.

Challenge yourself; it's the only path which leads to growth.

Morgan Freeman

RESUMO

O estudo das variantes operacionais em reatores biológicos para tratamento de esgoto é algo bastante atual e que contempla diversas possibilidades devido ao grande número de tecnologias e aos diversos fatores que afetam o desempenho desses sistemas. Diante dessas alternativas, este trabalho avaliou o desempenho de um reator biológico combinado aeróbio-anaeróbio de leito fixo, preenchido por espuma de poliuretano como material suporte e inicialmente sem recirculação da fase líquida, no tratamento de esgoto sanitário. Posteriormente, o reator foi operado para três razões de recirculação da fase líquida, sendo elas $R=1,0$, $R=2,0$ e $R=3,0$, quando a vazão de recirculação foi igual, o dobro e o triplo da vazão de alimentação, respectivamente. Ao todo, o experimento durou 105 dias. Assim, buscou-se comparar os resultados de cada etapa em estudo sobre a remoção de matéria orgânica, Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos Totais (SST). Os resultados revelaram que, em relação à remoção de DQO, a eficiência foi de 70% sem recirculação; para a razão $R=1,0$ de recirculação o valor obtido foi de 77%, atingiu 68% para a razão $R=2,0$ e 73% para $R=3,0$. Em relação a ST, o reator sem recirculação removeu cerca de 63% dos sólidos. Após a recirculação, a eficiência aumentou para 70%, 72% e 83% para $R=1,0$, $R=2,0$ e $R=3,0$, respectivamente. Analisando a remoção de SST, os resultados foram equivalentes. Para a fase sem recirculação a eficiência foi de 75%, atingiu 79%, 86% e 87% de remoção de SST quando submetido às razões de recirculação $R=1,0$, $R=2,0$ e $R=3,0$, respectivamente. Conforme o previsto, o aumento das velocidades ascensionais no interior do reator, possibilitado através da implementação das diferentes vazões de recirculação, contribuiu para melhores eficiências no que diz respeito à remoção de matéria orgânica, ST e SST. Ainda assim, recomenda-se futuramente investigações complementares, que envolvem outros parâmetros, análises estatísticas e até mesmo quantificação da biomassa aderida, por exemplo, que facilitarão a compreensão do comportamento das bactérias no interior do reator e trariam mais segurança em relação às conclusões obtidas no estudo.

Palavras-chave: Biotecnologia; velocidade ascensional, inoculação celular; carga orgânica.

ABSTRACT

The study of the operational variants in biological reactors for sewage treatment is fairly current and approaches several possibilities for the large number of technologies and different factors that affect the performance of the systems. Considering these alternatives, this work evaluated the performance of a fixed-bed anaerobic-aerobic combined biological reactor, filled with polyurethane foam as support material and initially without recirculation of the liquid phase, in the sewage treatment. Subsequently, the reactor was operated for three recirculation ratios of the liquid phase, being $R = 1.0$, $R = 2.0$ and $R = 3.0$, when the recirculation flow was equal, double and triple of the input flow, respectively. Altogether, the experiment lasted 105 days. Thus, it was sought to compare the results of each step studied based on the removal of organic matter, Total Solids (TS) and Total Suspended Solids (TSS). The results showed that, regarding the removal of COD, the efficiency was 70% without recirculation; for the $R = 1.0$ recirculation ratio the value obtained was 77%, it reached 68% for the ratio $R = 2.0$ and 73% for $R = 3.0$. In relation to TS, the reactor without recirculation removed about 63% of the solids. After recirculation, the efficiency increased to 70%, 72% and 83% for $R = 1.0$, $R = 2.0$ and $R = 3.0$, respectively. Analyzing the removal of TSS, the results were equivalent. For the non-recirculation phase the efficiency was 75%, it reached 79%, 86% and 87% of the SST removal when submitted to recirculation ratios $R = 1.0$, $R = 2.0$ and $R = 3.0$, respectively. As expected, the increase in the ascending velocities inside the reactor, enabled by the implementation of the different recirculation flows, contributed to better efficiencies regarding to the removal of organic matter, TS and TSS. However, complementary investigations involving other parameters, statistical analyzes and even quantification of the adhered biomass, for example, would be recommended in the future, which would favor an understanding of the behavior of the bacteria inside the reactor and would bring more certainty to the conclusions reached in the study.

Keywords: Biotechnology; ascending velocity, cellular inoculation; organic load.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros Analisados, método utilizado e frequência de amostragem.	31
Tabela 2 – Relação entre eficiência na remoção de DQO bruta e velocidade ascensional.	35
Tabela 3 – Compilação de resultados médios obtidos durante a operação dos reatores.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Grandes Regiões – 2008	18
Figura 2 – (a) Projeto do reator. (b) Reator em funcionamento.....	28
Figura 3 – Espuma de poliuretano cortada.	29
Figura 4 – Análise temporal de DQO bruta.	33
Figura 5 – Análise temporal da eficiência na remoção de DQO bruta para cada etapa operacional.	34
Figura 6 – Linhas de tendência de eficiência na remoção de DQO bruta para cada etapa operacional.....	35
Figura 7 – Análise temporal de DQO filtrada.....	37
Figura 8 – Análise temporal de ST.	38
Figura 9 – Análise temporal de SST.	39
Figura 10: Análise temporal do pH.....	40
Figura 11: Relação CO aplicada/CO removida para fase sem recirculação.	41
Figura 12: Relação CO aplicada/CO removida para R=1,0.....	42
Figura 13: Relação CO aplicada/CO removida para R=2,0.....	42
Figura 14: Relação CO aplicada/CO removida para R=3,0.....	43

LISTA DE SIGLAS

APHA – American Public Health Association.

CO – Carga Orgânica.

COV – Carga Orgânica Volumétrica.

CTEC – Centro de Tecnologia.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

HAnR – Reator Anaeróbio Híbrido (*Hybrid Anaerobic Reactor*).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.

LDNSB – Lei das Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.

MO – Matéria Orgânica.

PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico.

PVC – Cloro Polivinil ou Cloreto de polivinil.

SST – Sólidos Suspensos Totais.

ST – Sólidos Totais.

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica.

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

UFAL – Universidade Federal de Alagoas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivos gerais.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	16
3.2. TRATAMENTO COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO.....	19
3.3. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DE REATORES	22
3.3.1. Material Suporte.....	22
3.3.2. Temperatura	23
3.3.3. Velocidade ascensional.....	24
3.3.4. pH.....	25
3.3.5. Carga Orgânica	25
4. METODOLOGIA	27
4.1. O REATOR.....	27
4.2. INOCULAÇÃO	28
4.3. MATERIAL SUPORTE	29
4.4. A OPERAÇÃO	30
4.5. ANÁLISE DE DADOS.....	31
5. RESULTADOS	32
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum a importância da água para a garantia da boa qualidade de vida em todo o mundo. Esse é um tópico que nas últimas décadas vem sendo cada vez mais discutido e estudado em todos os lugares e com a devida razão, pois um sistema regular e eficiente de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto traz inúmeros benefícios à sociedade, principalmente no que diz respeito à economia e saúde pública.

O fornecimento desses serviços de forma eficaz chega a reduzir em média 55% dos índices de mortalidade infantil, por exemplo (WRI, 1992). Além disso, de acordo com Tucci e Bertoni (2003), 65% das internações hospitalares no Brasil são provenientes de doenças de veiculação hídrica. Tais fatos chamam a atenção e necessitam de soluções, ou até mesmo propostas, que sejam capazes de reduzir ao máximo esses números.

Um estudo realizado por Hulton e World Health Organization (2012) relata que as perdas mundiais associadas ao inadequado abastecimento de água e saneamento são estimadas em 260 bilhões de dólares por ano. Assim também, os mesmos autores concluem que para cada dólar investido em intervenções necessárias na área de saneamento existe, em média, uma economia global de 5,5 dólares. De acordo com Uhr et al. (2016), a prevenção das principais endemias adquiridas por veiculação hídrica está relacionada, principalmente, à quantidade de domicílios atendidos pela rede coletora pública de esgotos, além do número de domicílios com coleta de lixo. Quanto mais eficientes forem esses serviços, menores serão as ocorrências dessas doenças. Os autores afirmam que um aumento de 1% no percentual de gastos com saúde reduziria 3,16% das taxas de internações hospitalares. Estes números são expressivos e nos mostram as necessidades social e econômica no que respeito a investimentos na área de saneamento ambiental.

De acordo com a lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), que trata das Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico – LDNSB, o saneamento é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: I. abastecimento de água potável; II. esgotamento sanitário; III. limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e IV. drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas.

A LDNSB estabelece, em seu artigo 52 que a União deverá elaborar, sob a coordenação do Ministério das Cidades, o Plano Nacional de Saneamento Básico – PNSB, que dentre suas

diretrizes deve abranger o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos e o manejo de águas pluviais, com limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes de drenagem, além de outras ações de saneamento básico de interesse para a melhoria da salubridade ambiental, incluindo o provimento de banheiros e unidades hidrossanitárias para populações de baixa renda.

Além do PNSB, o documento estabelece que a união também será responsável por elaborar planos regionais de saneamento básico, criados e executados em articulação com os Estados, Distrito Federal e Municípios envolvidos para as regiões integradas de desenvolvimento econômico ou nas que haja a participação de órgão ou entidade federal na prestação de serviço público de saneamento básico. Os planos nacionais e regionais de saneamento básico devem ser elaborados com horizonte de 20 anos, avaliados anualmente e revisados a cada 4 anos.

A criação de uma legislação que fundamenta e estabelece diretrizes para planos de saneamento básico é extremamente importante para que o país possa avançar nesse sentido. É através dela que órgãos governamentais devem se basear e elaborar as ações que beneficiarão a sociedade de forma direta e indireta.

Nas últimas décadas, buscando aprimorar os serviços de saneamento básico fornecidos à sociedade, estudos e ideias inovadoras vem sendo cada vez mais estimulados por órgãos governamentais e instituições privadas, que buscam criações de sistemas alternativos e eficientes que funcionem com segurança e de forma sustentável, procurando reduzir a quantidade de ações e compostos nocivos ao meio ambiente. Quando se fala em tratamento de efluentes, a utilização de reatores biológicos, inclusive com diversas configurações alternativas exploradas, vem sendo bastante difundida nos últimos anos, principalmente no Brasil, e obtendo resultados satisfatórios.

Assim, os reatores biológicos se apresentam como uma alternativa interessante, tendo em vista que o processo de tratamento do esgoto é realizado de forma natural, sem o uso de agentes químicos externos. Conseqüentemente, esses sistemas tendem a apresentar menores custos de operação.

Dessa forma, este trabalho propõe analisar o comportamento de um sistema composto por um reator combinado anaeróbio-aeróbio para o tratamento de esgoto sanitário proveniente do Campus do Sertão da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Em escala de bancada, o sistema

dispõe de espuma de poliuretano como material suporte, visando, principalmente, à remoção da matéria orgânica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Avaliar o desempenho de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de escoamento ascendente e leito fixo, operado de modo contínuo, inicialmente sem recirculação e posteriormente com diferentes razões de recirculação da fase líquida aplicado ao tratamento de esgoto sanitário, contendo biomassa imobilizada em um material suporte inerte (espuma de poliuretano).

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a influência da utilização da espuma de poliuretano como material suporte para aderência da biomassa microbiana sobre a remoção de matéria orgânica (MO);
- Avaliar a influência de diferentes razões de recirculação do efluente da fase aeróbia para a fase anaeróbia sobre a remoção de matéria orgânica;
- Avaliar a influência do aumento da velocidade ascensional do leito, devido às diferentes razões de recirculação impostas ao sistema, em termos de remoção de matéria orgânica;
- Comparar o sistema em estudo com outras tecnologias e configurações similares.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Um dos principais pontos que afetam a qualidade de vida do ser humano é a existência de um sistema de esgotamento sanitário. No Brasil, da esfera federal até a municipal, cada vez mais aumenta a preocupação com essa área e essa temática está sendo constantemente discutida não apenas no cenário acadêmico e com a população civil, mas também em setores públicos e políticos que observam a influência que uma boa gestão desses recursos pode trazer à sociedade, tendo em vista que um sistema adequado de esgoto sanitário proporciona a prevenção de doenças, facilita a atividade econômica e melhora a produtividade do indivíduo (OLIVEIRA NETTO e ZAIAT, 2012).

Uma região que não dispõe de um sistema de esgoto sanitário implementado pode apresentar riscos tanto para o meio ambiente quanto à saúde das pessoas. Isso acontece porque ao passo que não se dá uma destinação adequada aos afluentes gerados pela população, os mesmos são dispostos irregularmente, onde o homem e a indústria contribuem com a introdução de compostos causadores de proliferação de doenças em rios e córregos, afetando a qualidade dessas águas. (OLIVEIRA NETTO, 2011).

De acordo com IBGE (2011), 30,5% dos municípios brasileiros lançam o esgoto não tratado em rios, lagos ou lagoas, e estes corpos receptores são utilizados a jusante de diversas formas, como o abastecimento de água, a recreação, a irrigação e a aquicultura. Dos 30,5% desses municípios, 23% destinam o esgoto in natura nos corpos hídricos e os utilizam a jusante para a irrigação, e 16% os usam para o abastecimento humano. Por conta disso, o custo com tratamento de água para abastecimento é onerado, devido ao custo extra para recuperar sua qualidade.

O fator higiênico é um dos mais importantes aspectos em relação à poluição das águas, tendo em vista a sua relação com doenças de veiculação hídrica. Ao receber um lançamento de esgoto in natura, um corpo d'água receptor incorpora a si uma vasta quantidade de agentes patogênicos transmissores de doenças, como escabiose, através do contato com a água contaminada, febre amarela e dengue, com transmissão através de inseto, tendo a água como meio de procriação (VON SPERLING, 2016). Este cenário resulta em implicações econômicas diretas sobre os indivíduos afetados e, também, gera implicações indiretas em toda a sociedade (TEIXEIRA et al., 2014).

Uma causa considerável que leva uma região a sofrer desses problemas é o desordenado crescimento populacional, quando associado a uma baixa capacidade de criação de estrutura socioambiental, resultando em uma maior concentração de pessoas em áreas com estruturas precárias, expondo-as a um ambiente insalubre (BRASIL, 2013). Sendo assim, é necessária uma supervisão constante em uma região no que diz respeito à disponibilidade dos serviços de saneamento básico para que sempre mais pessoas sejam atendidas e possíveis impactos negativos sejam evitados.

Desde a década de 1960, quando os investimentos começaram a ter maior volume e regularidade, a cobertura nacional de esgotamento sanitário para a população urbana cresceu, apesar de ainda ser insatisfatória (BRASIL, 2015). O mesmo documento aponta que, apenas entre os anos 2000 e 2010, o incremento nacional nesse setor foi de 8,21%.

De acordo com Von Sperling (2016), os esgotos domésticos contêm 99,99% de água. O restante é formado por sólidos orgânicos e inorgânicos e outros microrganismos. Essa pequena parcela de 0,01% do esgoto é capaz de causar prejuízos à qualidade das águas subterrâneas e à saúde humana, por isso é necessário um sistema de tratamento desses efluentes domésticos antes de lançá-los na natureza.

Embora exista um cenário crescente e esperançoso sobre sistemas de coleta de esgoto no Brasil, o tratamento de esgoto está alguns passos atrás e, conseqüentemente, ainda apresenta suas deficiências. Na região Sudeste, onde a coleta é muito superior à média nacional, apenas 48% dos domicílios tratam o esgoto. Aliás, essa é a única região acima da média nacional no que diz respeito ao tratamento de esgoto, é o que aponta o Atlas do Saneamento do IBGE (2011).

Em um país com dimensões continentais, como o Brasil, dificilmente esses números seriam estáveis. Tendo em vista as desigualdades presentes em nosso território, as diferenças destes índices são observadas mesmo dentro de uma única região: em São Paulo, por exemplo, 78% dos municípios tratam os dejetos provenientes dos esgotos, enquanto o estado vizinho, Rio de Janeiro, trata apenas 59% do esgoto produzido (IBGE, 2011).

Uma melhor visão sobre os números referentes à coleta e ao tratamento de esgoto em cada região do Brasil pode ser observada na Figura 1. Nesse gráfico, ficam mais evidentes as desigualdades regionais sobre esses dois parâmetros.

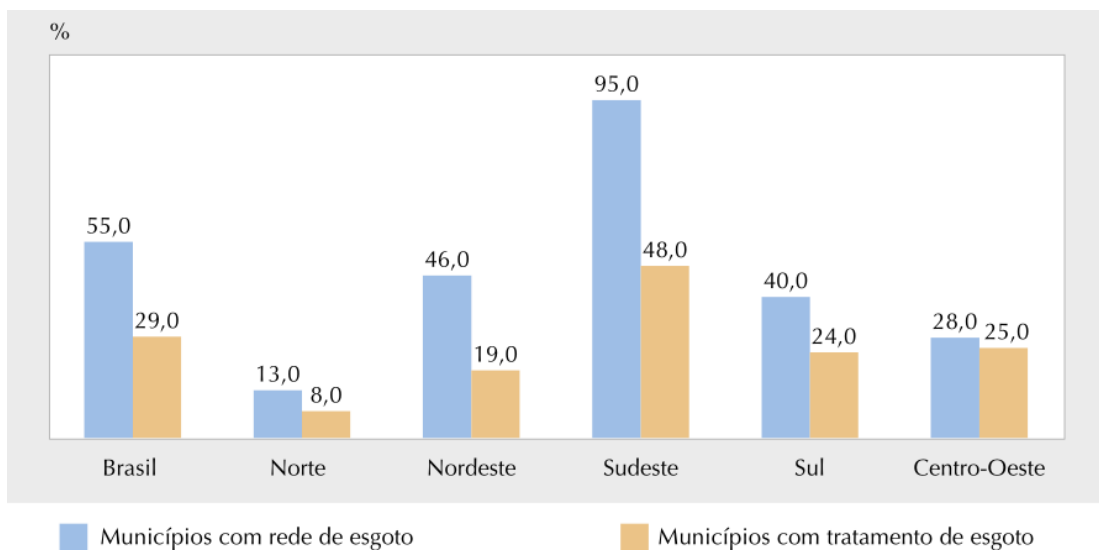


Figura 1 – Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Grandes Regiões – 2008 (Fonte: IBGE, 2008).

Números mais recentes, sobre o ano de 2014, mostram que 63,5% dos municípios brasileiros possuíam um serviço de rede coletora de esgoto. No ano seguinte, 2015, o aumento foi de 1,9 milhão de domicílios que passaram a possuir esse serviço, totalizando 44,5 milhões de domicílios no país, o que representa 65,3% do total (IBGE, 2015).

Ainda assim, de acordo com o IBGE (2015), existe uma diferença considerável entre as diferentes regiões do Brasil: a região Sudeste, com 88,6% dos municípios, ainda lidera no que diz respeito ao percentual de domicílios que dispõem do serviço, seguido da região Sul (65,1%), Centro-Oeste (53,2%), Nordeste (42,9%) e Norte (22,6%).

Através dos números e das possíveis consequências mostradas, é evidente que intervenções para melhorar esse cenário nacional são necessárias. Quando se fala em tratamento de esgoto, existem várias alternativas para fazê-lo. Inicialmente, deve-se escolher um entre os dois possíveis processos: físico-químico ou biológico. Os processos biológicos se destacam por serem considerados mais sustentáveis e apresentarem baixo custo operacional. Nesses sistemas, existem as formas aeróbias e anaeróbias de tratamento de efluentes, e, dependendo do caso, uma pode ser mais eficaz que a outra, porém não é possível afirmar a melhor entre as duas, tendo em vista que existe uma variedade de fatores que são levados em consideração antes da tomada de decisão sobre a forma de tratamento.

Buscando agregar os aspectos positivos de cada uma, minimizar os negativos e otimizar o processo de tratamento, os reatores biológicos que combinam ambas as formas tratamento são tecnologias que podem desempenhar um excelente papel na sociedade, por serem configurações inovadoras com sistemas simplificados e mais eficientes, pois aumenta a atividade microbiana (OLIVEIRA NETTO, 2007).

3.2. TRATAMENTO COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO

A engenharia moderna busca otimizar processos, melhorar desempenho e custo-benefício de atividades, além de tentar implementar técnicas que são consideradas cada vez mais sustentáveis. No que diz respeito à engenharia sanitária, os esforços não são diferentes. Tendo em vista os déficits nas questões do saneamento básico e tratamento de esgotos, o estudo de alternativas que possam ser implementadas na nossa sociedade é cada vez mais estimulado, tanto em pequena escala, domiciliar, como em grande escala, por exemplo o caso de uma rede municipal.

No Brasil, o tratamento anaeróbio se encontra bastante consolidado, enquanto alternativas aos poucos vão surgindo. O tratamento anaeróbio é um processo biológico que trabalha com a ausência de oxigênio, representando um sistema natural e delicadamente balanceado, no qual cada um dos microrganismos tem uma função específica no tratamento (METCALF & EDDY, 2014), onde as bactérias presentes são capazes de degradar os compostos orgânicos, convertendo-os em gás metano (60 a 70%), dióxido de carbono (CO₂) (40 a 30%), além de outros subprodutos mineralizados (SOUZA, 2001). Essa forma de tratamento se caracteriza por apresentar uma baixa taxa de crescimento dos microrganismos anaeróbios, em especial os metanogênicos, e uma imposição de altos tempos de retenção hidráulica tanto aos modelos contínuos quanto aos agitados. Essas características levaram pesquisadores a buscarem modelos alternativos que reduzissem esses elevados tempos e conservassem a grande quantidade de massa microbiana no interior dos sistemas. Entre os fatores positivos dessa configuração, destacam-se a menor produção de biomassa; menor consumo energético e simplicidade operacional. Em contrapartida, o sistema é sensível a poluentes tóxicos ou inibidores; pode gerar odores em função de ser, praticamente, desprovido de oxigênio dissolvido e a eficiência na remoção de DQO não é muito alta, o que em alguns casos torna-se necessário um tratamento complementar aeróbio ou físico-químico (SANT'ANNA JR., 2013).

Por outro lado, Sant'Anna Jr. (2013) afirma que o tratamento aeróbio se distingue por incluir uma fonte de oxigenação no sistema. O metabolismo das bactérias atuantes é rápido, algumas chegam a tempo de duplicação de 10 a 20 minutos. Essa particularidade está associada às altas velocidades de assimilação e metabolização dos substratos presentes no esgoto, ou seja, de despoluição. Entretanto, apesar da maior rapidez e eficiência na remoção de DQO, a configuração aeróbia apresenta uma produção excessiva de biomassa. Devido a isso, o seu processamento, a manutenção e a destinação desse lodo formado no interior dos sistemas de tratamento são desafios que estimulam pesquisadores a otimizarem esses fatores indesejáveis.

Essas necessidades de aprimorar os processos anaeróbio e aeróbio fizeram com que o tratamento combinado anaeróbio-aeróbio se mostrasse como uma alternativa considerável. Essa configuração simplificada acrescenta um pós-tratamento aerado à fase anaeróbia, que busca completar a remoção da matéria orgânica, além de outros componentes dificilmente removidos no processo anaeróbio (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Ultimamente, os reatores que combinam os processos anaeróbio e aeróbio têm sido bastante procurados pois exigem uma menor área para implantação, apresentam reduzidos custos operacionais, baixa geração de lodo e, principalmente, retenção elevada de microrganismos, via utilização de material suporte para imobilização celular, que é fundamental para uma maior eficiência no tratamento biológico, sobretudo quando o crescimento microbiano é trabalhado a uma velocidade baixa (OLIVEIRA NETTO e ZAIAT, 2012). Assim também, essa configuração tem um resultado melhor em regiões de elevadas temperaturas, o que faz o Brasil ter um potencial ainda melhor para a mesma, tendo em vista a predominância dessa característica climática em boa parte do território nacional (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Segundo Megda (2007) essa proposta de combinar ambas as formas de tratamento apresenta resultados melhores que o processo simplesmente anaeróbio. Eles acreditam que o processo anaeróbio é essencial para remoção da cor e da DQO, o que gera um efluente de melhor qualidade para ser tratado posteriormente em fase aeróbia. Kato *et al.* (1999) reafirmam esse conceito. De acordo com os autores, o potencial prático da tecnologia é grande e não somente pelo tratamento complementar da matéria orgânica, mas também a remoção de outros poluentes, quando necessário. Como a maior parte da matéria orgânica é removida na zona anaeróbia, o remanescente é removido na etapa aerada.

Em comparação com um sistema operado apenas em fase aeróbia, Kato *et al.* (1999) citam algumas vantagens específicas que o sistema combinado anaeróbio-aeróbio apresenta:

- i – redução do volume total dos reatores;
- ii – eliminação do digestor de lodo, pois a digestão acontece no próprio reator anaeróbio;
- iii – menor geração de lodo estabilizado, facilitando o manuseio para a disposição final;
- iv – diminuição da demanda de oxigênio para o reator aeróbio;
- v – eliminação da necessidade de dimensionar os aeradores pela demanda máxima de oxigênio.

Abreu e Zaiat (2008) realizaram um estudo analisando justamente a diferença entre as formas anaeróbia e anaeróbia-aeróbia de tratamento. No experimento, o sistema combinado foi operado com um TDH total de 12 horas apresentou no efluente valor médio de 93 mg/L de DQO bruta, enquanto o afluente tinha uma concentração média de 259 mg/L. Mesmo com variações nos valores de DQO afluente, o sistema se manteve em condição estável, com satisfatória eficiência. Em comparação com o mesmo reator, porém operado com TDH de 6 horas de forma anaeróbia, os melhores resultados obtiveram médias de DQO afluente e efluente foram 436 e 185 mg/L, respectivamente. Os autores concluíram que o processo combinado obteve ganhos em relação ao reator simplesmente anaeróbio, principalmente no que diz respeito à remoção de matéria orgânica. Além disso, o equilíbrio operacional foi obtido rapidamente, e o estabelecimento da nitrificação foi efetivo.

A proposta do tratamento combinado anaeróbio-aeróbio se mostra como uma alternativa não apenas para situações de esgotos domiciliares, mas também como opção para tratamento de esgoto em algumas indústrias. As indústrias de papel e celulose, por exemplo, tradicionalmente utilizam em sua maioria processos aeróbios, como o sistema de lodos ativados. Devido ao aumento dos custos operacionais desses sistemas, a opção de incluir o tratamento anaeróbio ao sistema vem sendo cada vez mais aplicada, tanto nesses processos de lodos ativados, como em lagoas aeradas (SPRINGER, 1993).

No Paquistão, por exemplo, que o tratamento de esgoto ainda é deficitário, pesquisadores utilizaram o sistema combinado anaeróbio-aeróbio em uma indústria local de batata frita. Nesse

estudo, o sistema implementado com um tratamento primário em reator UASB, seguido de um tanque de aeração obteve resultados interessante: remoção de SST, DBO e DQO de 92%, 90% e 78%, respectivamente, enquanto as amostras efluentes alcançaram médias de 52, 192 e 784 mg/L para SST, DBO e DQO, respectivamente (HAYDAR *et al.*, 2014).

Nesse ano, pesquisadores no Reino Unido compararam um sistema aeróbio de tratamento, mais convencionalmente utilizado em locais cujas temperaturas são mais baixas, abaixo de 20°C, com o combinado anaeróbio-aeróbio. Em ambos os processos, o TDH utilizado foi de 8h. No sistema operado apenas em fase aeróbia, era produzido 333,23 m³/dia de biogás, onde 61,8% do mesmo era composto por metano, CH₄, e 37,8% era CO₂. Para DBO e SST, o esse sistema apresentou 32,8% e 63,7% de remoção, respectivamente. Por outro lado, o sistema combinado anaeróbio-aeróbio produziu 262 m³/dia de biogás, composto por 77,0% de metano e 18,0% de gás carbônico. Em relação à DBO e SST, o sistema combinado removeu 69,0% e 23,0% desses parâmetros, respectivamente.

Ainda sobre esse estudo, os autores, através de simulações computacionais variando as temperaturas dos processos entre 35°C e 20°C, confirmaram o que estava presente na literatura: diminuição da temperatura dificulta o crescimento microbiano em reatores anaeróbios, resultando em menores índices de remoção de DBO, SST e, conseqüentemente, menor produção de biogás (IACOVIDOU e VOULVOULIS, 2017).

3.3. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DE REATORES

Por trabalharem com seres vivos, bactérias, as formas biológicas de tratamento de águas residuais são mais complexas, passíveis a variações inesperadas e menos previsíveis que o tratamento por via química. Isso acontece pois existem vários fatores que são capazes de interferir no funcionamento de reatores biológicos para tratamento de efluente. A seguir, serão abordados alguns desses parâmetros.

3.3.1. Material Suporte

Para que o tratamento biológico seja efetivado, é necessário que as bactérias presentes estejam em condições adequadas para seu crescimento e alimentação. A ação dessas bactérias no tratamento está diretamente relacionada com o material suporte no interior do reator, que permitem

a imobilização celular. Young (1990) afirma que a função do material suporte é reter sólidos no interior do reator, proporcionando uma distribuição uniforme do escoamento no interior do reator e melhorando o contato do afluente com a matéria orgânica contida no mesmo.

Para que o material seja eficaz, características como boa rugosidade, porosidade e forma, por exemplo, são preferíveis para permitir a adesão da biomassa e contribuir um comportamento hidrodinâmico estável, capaz de homogeneizar o sistema e, conseqüentemente, aumentar sua eficiência, pois os suportes inertes para imobilização da biomassa favorecem a estabilização (SHOW e TAY, 1999). Também, os reatores que contém células imobilizadas são menos suscetíveis à presença de materiais tóxicos e inibidores que os processos que utilizam a biomassa suspensa, de acordo com Stevens (1988).

Em busca de compreender o comportamento de um reator biológico com diferentes materiais suportes, pesquisadores são estimulados a explorarem cada vez mais uma variedade de materiais, desde os mais bem consolidados na literatura aos novos até os mais pioneiros e inovadores. Na literatura, vários pesquisadores já estudaram diferentes materiais suporte para reatores biológicos. Entre eles, podem ser citados a espuma de poliuretano e argila expandida (OLIVEIRA NETTO, 2007), bucha vegetal de curcubitácea (MAGASSY, 2017), pneu triturado (NICIURA, 2007), pedra britada e escória de alto forno (ALMEIDA, 2007).

3.3.2. Temperatura

Como previamente mencionado, percebe-se que o clima quente é favorável para o tratamento anaeróbio, por essa razão é tão utilizado no Brasil, enquanto na Europa, por exemplo, é comum se utilizar sistemas aeróbios. Segundo Chernicharo (1997), a temperatura é um dos fatores físicos mais importantes, capaz de afetar o crescimento microbiano no tratamento anaeróbio.

Em relação à taxa de digestão anaeróbia, existe um máximo relativo a 35°C e absoluto a 55°C, aproximadamente. É caracterizado na região mesofílica o esgoto abaixo dos 45°C, e termofílica quando acima desta temperatura. A digestão termofílica normalmente não é muito abordada no tratamento de esgoto, apenas a mesofílica, e é justamente no intervalo entre 30°C e 40°C que pode-se obter a taxa máxima de digestão anaeróbia (SANTOS, 2010).

Para Campos (1999), a temperatura traz efeitos como alteração na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos. A velocidade específica de utilização do substrato é considerada por ele como um parâmetro cinético diretamente afetado pela temperatura. O autor afirma que a velocidade global da remoção de substrato é relacionada com o produto entre a velocidade específica pela concentração de microrganismos ativos nesse reator. Dessa forma, caso o sistema apresente altas concentrações de microrganismos, a mesma velocidade de remoção global poderá ser alcançada por diferentes temperaturas, tendo em vista que as variações na temperatura alterarão a velocidade específica. Assim, como é necessária uma alta concentração de microrganismos para remoção do substrato, conclui-se que o desempenho do reator estará condicionado à sua capacidade de reter a biomassa em seu interior (FACIN, 2016).

3.3.3. Velocidade ascensional

A velocidade ascensional é um dos principais parâmetros que interferem na eficiência de sólidos em suspensão e matéria orgânica em reatores. Assim, pode inclusive ser considerado um fator limitante em relação ao volume reacional necessário pelo reator quando se trata esgotos (WIEGANT, 2001).

Mahmoud *et al.* (2003) afirma que a velocidade ascensional possui dois efeitos opostos: enquanto o aumento da velocidade ocasionará um aumento nas colisões entre partículas em suspensão e o lodo, resultando em um aumento na eficiência na remoção dessas partículas. Por outro lado, se a velocidade for muito alta, poderá aumentar as forças de cisalhamento e, ao contrário da remoção das partículas, excederá a velocidade de sedimentação delas, provocando arraste para o efluente, bem como desagregará os sólidos previamente capturados. Assim, a velocidade muito alta reduzirá a eficiência de remoção da matéria orgânica.

Os autores Hang e Byeong (1990) afirmam que quanto maior for a velocidade ascensional, maior será a separação das bolhas de biogás aderidas à superfície da biomassa. Assim, eles afirmam que a velocidade deve ser alta o bastante para promover um contato adequado entre o substrato e a biomassa, além de ser alta o suficiente para perturbar os bolsões de gás presentes no leito do lodo, o que permitirá um maior contato entre as partículas presentes no esgoto e o material suporte no interior do sistema.

3.3.4. pH

O monitoramento do pH é importante para compreender o comportamento do processo de tratamento no interior do reator. De acordo com Chernicharo (1997), o crescimento ótimo dos microrganismos produtores de metano acontece no pH dentro de um intervalo entre 6,6 e 7,4, apesar de também ser possível atingir essa estabilidade na produção desse gás na faixa entre 6,0 e 8,0.

O mesmo autor afirma que na faixa entre 5,0 e 6,0 as bactérias produtoras de ácido apresentam um crescimento ótimo, sendo um pouco mais tolerantes a valores de pH mais abaixo desse intervalo. Assim, a partir do controle do pH, o risco de inibição das bactérias metanogênicas pelos baixos valores de pH pode ser eliminado.

Já para a formação de nitrito e nitrato, Ford et al. (1980) e Henze et al. (1997) afirmam que o pH ótimo é acima de 7,0. Além disso, as bactérias nitrificantes têm a capacidade de adaptação em valores de pH fora da faixa ótima, entre 7,0 e 9,0, permitindo encontrar a mesma eficiência para o processo de nitrificação.

Em fase de desnitrificação, a faixa do pH ótimo para que a fase ocorra está entre 6,5 e 7,5, reduzindo 70% na taxa de desnitrificação para um pH entre 6,0 e 8,0 (van HAANDEL e MARAIS, 1999). Oliveira Netto (2007) conclui que a principal função da desnitrificação é a reversão parcial dos efeitos da nitrificação e, conseqüentemente, haverá uma elevação no pH do meio.

3.3.5. Carga Orgânica

A escolha do processo biológico de tratamento se dá baseado em vários fatores, e um deles é a carga orgânica aplicada no sistema, que interfere no desempenho do processo (SONOBE, 2011). O autor afirma que a evolução dos materiais suporte utilizados nos últimos anos possibilitou uma otimização desses sistemas biológicos, melhorando o desempenho hidrodinâmico, a transferência de oxigênio e a capacidade de aplicação de alta carga orgânica por volume de material suporte.

Oliveira Netto (2011) trabalhou com reator em diferentes condições operacionais e a COV aplicada para um TDH de 12 horas foi de 1,17 kg.DQO/m³.dia e obteve 91% de remoção para uma razão de recirculação R=1,5. Para essa mesma razão de recirculação, o sistema para o TDH de 10

horas apresentou COV aplicada de 1,48 kg.DQO/m³.dia e a remoção foi de 70%, enquanto no TDH de 8 horas a remoção foi de 67% para uma COV média aplicada de 1,64 kg.DQO/m³.dia.

No trabalho do Sonobe (2011), o autor explorou diferentes valores de carga orgânica aplicada e concluiu que o aumento da carga orgânica afetou negativamente a remoção de matéria orgânica: com TDH de 8 horas e razão de recirculação R=1,5, a carga orgânica média aplicada ao sistema foi 1,79 kg.DQO/m³.dia, aproximadamente 95% da mesma foi removida, enquanto a elevação para 3,59 kg.DQO/m³.dia resultou em uma eficiência menor, de 71%.

4. METODOLOGIA

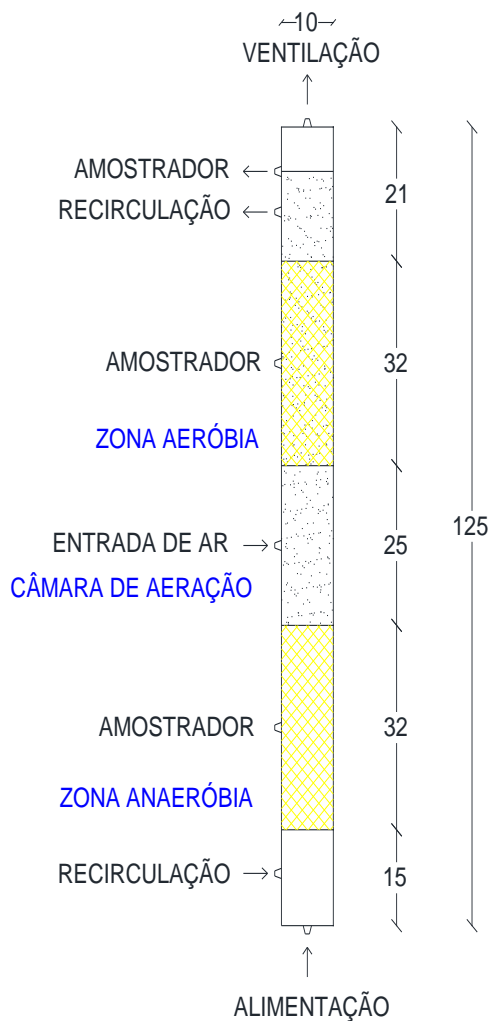
O presente trabalho consistiu na utilização de um reator combinado aeróbio-anaeróbio de leito fixo, em escala de bancada, com escoamento ascendente para tratamento de esgoto sanitário, operado de modo contínuo e com diária renovação do esgoto afluente de alimentação do sistema. A descrição de cada aspecto do experimento é realizada a seguir.

4.1. O REATOR

O reator foi confeccionado com tubulação de PVC, material esse que impede a incidência direta de luminosidade, evitando assim o crescimento de microrganismos fotossintetizantes, que são indesejáveis ao processo. Suas extremidades foram fechadas com caps, havia uma luva rosqueável na zona central do reator, zona essa que funcionava como uma câmara de aeração. Essa câmara não tinha contato com o material suporte pois era isolada por placas metálicas nas extremidades superior e inferior, bem como as zonas aeróbias e anaeróbias, que tinham essas placas metálicas que concentravam o material suporte na zona desejada. A aeração era realizada por meio de uma bomba comum de aquários residenciais, que injetava o ar na câmara de aeração através de uma pedra porosa responsável pela difusão do mesmo.

O sistema ainda dispunha de uma entrada no meio cada zona (aeróbia e anaeróbia), que poderia ser utilizada em caso de coleta de amostras. Antes da zona anaeróbia, além da própria alimentação do reator, existia uma outra entrada para recirculação que seria posteriormente realizada. Na parte superior, mais duas entradas estavam presentes: a primeira tendo a função de recircular o efluente tratado, enquanto a seguinte era a entrada por onde as amostras eram coletadas.

Em relação às suas dimensões, o reator utilizado foi dimensionado em função das dimensões comerciais do material. Assim, o mesmo possui o diâmetro de 100 mm, 64 cm de altura de material suporte, sendo 32 cm para a zona aeróbia e 32 cm para a zona anaeróbia, e uma altura total de 125 cm. A Figura 2 apresenta o projeto do reator (com dimensões em centímetros) e o mesmo em operação, distinguindo as suas zonas e suas dimensões, em centímetros.



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Projeto do reator. (b) Reator em funcionamento (Fonte: Autor, 2017).

4.2. INOCULAÇÃO

Para o início da atividade, foi necessário forçar uma inoculação ao sistema para garantir que as bactérias se fixariam ao material suporte, caso contrário o sistema operando na sua vazão prevista poderia demorar meses para que os microrganismos se aderissem à biomassa. Zaiat (1996) desenvolveu uma metodologia para imobilização do lodo anaeróbio na espuma de poliuretano, que basicamente trata de macerar o lodo em solução aquosa no interior de um recipiente fechado e

misturá-lo às matrizes de poliuretano, até que todas essas matrizes do material suporte fiquem em contato com a mistura.

Assim, ao iniciar o experimento, o sistema foi alimentado com um esgoto bruto e concentrado, coletado do fundo da fossa séptica, onde havia muito material decantado. Com essas características, o esgoto afluyente foi fornecido ao reator com uma vazão muito acima da vazão de operação, para proporcionar um maior contato dessa matéria orgânica com o material suporte, e durou cerca de duas a três horas ininterruptas. Após a inoculação, o esgoto de alimentação do sistema foi trocado pelo esgoto comum, coletado próximo à lâmina líquida da fossa, para que então a operação do reator começasse efetivamente.

4.3. MATERIAL SUPORTE

O material suporte utilizado para preencher ambas as zonas anaeróbia e aeróbia foi a espuma de poliuretano, que já se apresenta consolidada nas bibliografias sobre tratamento de efluentes e já foi utilizada por diversos pesquisadores. Assim, pedaços da espuma foram cortados em cubos de aproximadamente 1 cm de lado antes de preencherem o reator. Dessa forma, as zonas preenchidas com a espuma ficariam mais homogêneas, facilitando a adesão biomassa ao material suporte e evitando que o afluyente tivesse caminhos preferenciais no interior do reator.

A Figura 3 mostra a espuma cortada antes de ser colocada no reator.



Figura 3 – Espuma de poliuretano cortada (Fonte: Autor, 2017).

4.4. A OPERAÇÃO

A alimentação foi feita pela parte inferior do reator, por meio de bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso, a bomba recalçava o afluente até um nível mais acima do reator e o mesmo chegava a uma garrafa com uma abertura lateral, então o afluente era conduzido à região inferior do reator para a alimentação através de uma mangueira que saía dessa garrafa, dessa forma a alimentação era feita por gravidade, evitando o possível arraste de sólidos e do material suporte caso os pulsos da bomba fossem diretamente na parte inferior do reator.

Essa alternativa, de alimentação por gravidade, foi utilizada pois o problema de arraste de sólidos e do material suporte estava acontecendo nos últimos anos enquanto a alimentação funcionava diretamente por pulsos, ocasionando o efeito tampão, colmatação no interior do reator que comprometia o funcionamento do sistema.

O esgoto era coletado diariamente da fossa séptica do Campus do Sertão da UFAL. Após um peneiramento no ato da coleta, o esgoto era conduzido ao laboratório onde estava o reator utilizado. Após a coleta, o esgoto era disposto em um grande reservatório, no próprio laboratório, que funcionava como tanque de equalização. Assim, com funcionamento contínuo do reator e coletas diárias, a água residuária era sempre renovada.

O sistema era operado de forma combinada anaeróbia-aeróbia, com escoamento ascendente de leito fixo, com TDH definido de 8 horas, que nos últimos anos de pesquisa apresentou os melhores resultados em relação ao tratamento de esgoto sanitário (Araújo, 2015). Inicialmente, o sistema era operado sem recirculação da fase líquida ($R=0$). Após indicativos do início da fase de nitrificação, o reator foi submetido ao processo de recirculação em três diferentes fases, na faixa de valores comumente encontrados na bibliografia: razão de recirculação igual à vazão de alimentação ($R=1,0$), razão de recirculação igual ao dobro da vazão de alimentação ($R=2,0$) e, finalmente, uma vazão três vezes igual à de alimentação sendo aplicada na recirculação ($R=3,0$). Dessa forma, buscando maior confiabilidade dos resultados, tentou-se operar essas fases de recirculação durante períodos de tempo similares: para a razão de recirculação $R=1,0$, foram quatro semanas de operação, enquanto as fases de recirculação $R=2,0$ e $R=3,0$, o sistema foi operado por três semanas.

4.5. ANÁLISE DE DADOS

Tendo em vista as deficiências estruturais e de instrumentos de análises no Laboratório de Saneamento Ambiental do Campus do Sertão da UFAL, o trabalho contou com a colaboração dos laboratórios do Centro de Tecnologia (CTEC) do campus A. C. Simões, para que as análises desejadas pudessem ser realizadas.

As amostras foram coletadas em pares afluente e efluente, duas vezes por semana, totalizando 4 amostras por semana. As coletas das amostras aconteciam antes da coleta diária do esgoto proveniente da fossa séptica pela manhã, em torno das 09:00. Nas terças e quintas-feiras, coletavam-se as amostras afluentes desses dias, enquanto nas quartas e sextas-feiras, coletavam-se os efluentes relativos ao dia anterior. Após essas coletas, as amostras eram armazenadas em garrafas plásticas de 300 mL e, por fim, congeladas, para posteriormente serem levadas ao campus A. C. Simões.

Durante toda a operação, todas as amostras foram levadas em dois lotes para as análises laboratoriais, uma no meio e outra no fim da operação. As análises laboratoriais eram feitas de acordo com os parâmetros listados na Tabela 1, segundo os métodos descritos pela APHA (2005).

Tabela 1: Parâmetros Analisados, método utilizado e frequência de amostragem
(Fonte: Autor, 2017).

Parâmetro analisado	Método de análise	Frequência de amostragem
Vazão		Diária
pH	Potenciométrico	4 x semana
DQO bruta (mg/l)	Espectrofotométrico	2 x semana
DQO filtrada (mg/l)	Espectrofotométrico	2 x semana
ST	Gravimétrico	2 x semana
SST	Gravimétrico	2 x semana

5. RESULTADOS

A operação do reator foi iniciada com a inoculação do lodo anaeróbio ao material suporte, espuma de poliuretano. Essa fase de inoculação foi bem-sucedida, e logo nos primeiros dias foram observadas melhoras nas amostras efluentes, em comparação com as afluentes, em relação à cor e ao odor. Em seguida, para o TDH utilizado de 8 horas, calculou-se a vazão necessária e o resultado obtido foi de 20,5 ml/min, ou 1,23 L/h. Assim, a bomba de alimentação foi regulada para operar com essa vazão e então o experimento foi conduzido normalmente.

No total, o reator foi operado de forma contínua por 105 dias, com coletas de segunda a sexta-feira do esgoto afluente para o abastecimento do reator. Na sexta-feira, um maior volume era coletado para que o sistema pudesse ser abastecido durante o fim de semana.

Após a constatação de uma tendência do início da fase de nitrificação, através de características do efluente e reduções maiores no pH, a recirculação foi imposta em três razões diferentes, sendo $R=1,0$, recirculação com a vazão igual à de alimentação, e $R=2,0$, onde a vazão de recirculação foi o dobro da vazão de alimentação e $R=3,0$ para a vazão da recirculação sendo o triplo da vazão de alimentação.

Com 40 dias corridos de reator em funcionamento, foi observado o comportamento esperado que indicava o início da atividade de nitrificação, comprovada pela redução da alcalinidade no efluente e aumento na concentração de nitrato, parâmetros esses monitorados via pesquisa de Rodrigues (2017). Então, iniciou-se a primeira fase de recirculação, para $R=1,0$, e de acordo com o tempo restante previsto de operação, dividiu-se esse tempo para as duas fases de recirculação previstas. Nesse sentido, a fase para $R=1,0$ durou 23 dias, para $R=2,0$ e $R=3,0$, cada etapa teve a duração de 21 dias.

De acordo a Tabela 1, os parâmetros expostos foram analisados e os resultados serão discutidos a seguir. Para a análise da DQO bruta, a Figura 4 mostra a remoção temporal da DQO. Para a fase sem recirculação, a eficiência média foi de 70%. Oliveira Netto (2007) operou um reator com a configuração bastante similar, porém de forma anaeróbia, com argila expandida e espuma de poliuretano como materiais suporte, utilizando um mesmo TDH de 8 horas, e obteve um resultado equivalente, sendo 69% de remoção da DQO bruta. Magassy (2017), estudou outro reator em condições parecidas, apenas substituindo o material suporte pela bucha vegetal de curcubitácea, mantendo o processo combinado com o mesmo TDH, e a eficiência de remoção para

o mesmo parâmetro foi inferior, em torno de 57%. Outros pesquisadores desenvolveram trabalhos similares. Abreu e Zaiat (2008) também analisaram um reator combinado anaeróbio-aeróbio, com TDH de 8 horas e espuma de poliuretano como material suporte, e atingiram remoção da DQO bruta na ordem de 37%.

Para a razão $R=1,0$ de recirculação o valor obtido foi de 77%, e caiu para 68% na razão de recirculação $R=2,0$; já para a razão de recirculação $R=3,0$ a eficiência de remoção de DQO bruta foi de 73%. Observa-se, então, que a primeira recirculação imposta mostrou o melhor resultado em relação à remoção de DQO bruta. Oliveira Netto (2011) desenvolveu um estudo similar, com TDH de 8 horas, e impôs a razão de recirculação $R=3,0$ em um reator combinado anaeróbio-aeróbio em escala piloto, com argila expandida e espuma de poliuretano como materiais suporte, e nessa fase a eficiência obtida foi de 77% para remoção de DQO bruta, valor maior do que o observado no reator deste estudo para a mesma razão de recirculação da fase líquida.

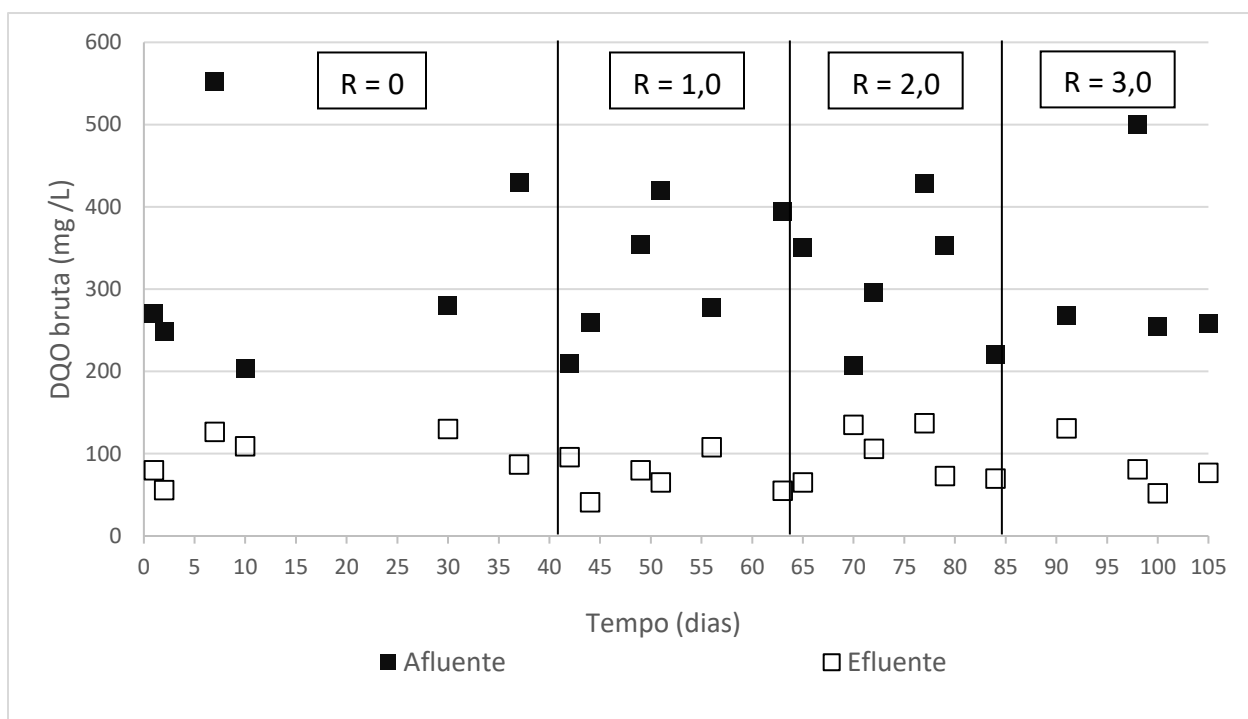


Figura 4 – Análise temporal de DQO bruta (Fonte: Autor, 2017).

Dispostos dos dados de DQO bruta, também pode-se traçar um paralelo entre a eficiência de cada fase operacional, a partir do seu início, e o tempo operação, permitindo abordar uma

relação entre o comportamento do reator para remoção deste parâmetro e as diferentes velocidades ascensionais aplicadas.

Percebe-se que para $R=0$ e $R=2,0$ o reator se comportou de forma semelhante nas duas primeiras semanas de cada fase, atingindo valores de eficiências de remoção da DQO bruta bastante similares. Após 15 dias, enquanto a fase sem recirculação aponta uma estabilidade operacional, a fase com razão de recirculação $R=2,0$ apresenta uma tendência de crescimento. Apesar disso, as linhas de tendências para ambas as fases operacionais são quase idênticas. A razão de recirculação $R=1,0$ demonstrou médias de eficiências maiores que essas duas supracitadas, média inclusive maior que a última trabalhada, $R=3,0$. Nesta última etapa, apesar da média mais baixa que a apresentada na etapa $R=1,0$, percebe-se que, diferentemente das tendências estáveis das outras três fases operacionais, esta última apresentou uma linha de tendência crescente, ou seja, com o passar dos dias a eficiência tende a crescer. Infelizmente nessa etapa houve menos amostras analisadas, o que resulta em uma linha mais curta de análise temporal. Independente disso, os resultados mostram que essa fase operacional demonstrou a tendência de crescimento com o tempo. Por limitações de datas, não foi possível chegar a um ponto onde a linha de tendência chegava ao seu limite e se estabilizava.

A Figura 5 compara as eficiências obtidas nas amostras em cada fase operacional em função dos dias de operação e a Figura 6 apresenta as linhas de tendência para cada etapa abordada.

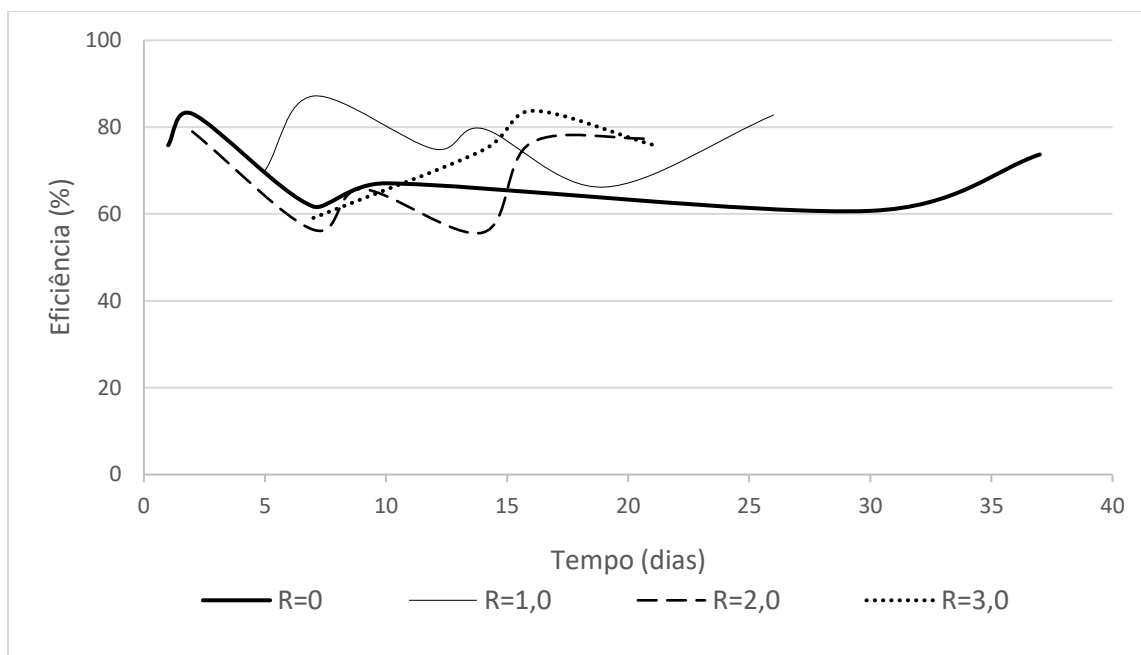


Figura 5 – Análise temporal da eficiência na remoção de DQO bruta para cada etapa operacional (Fonte: Autor, 2017).

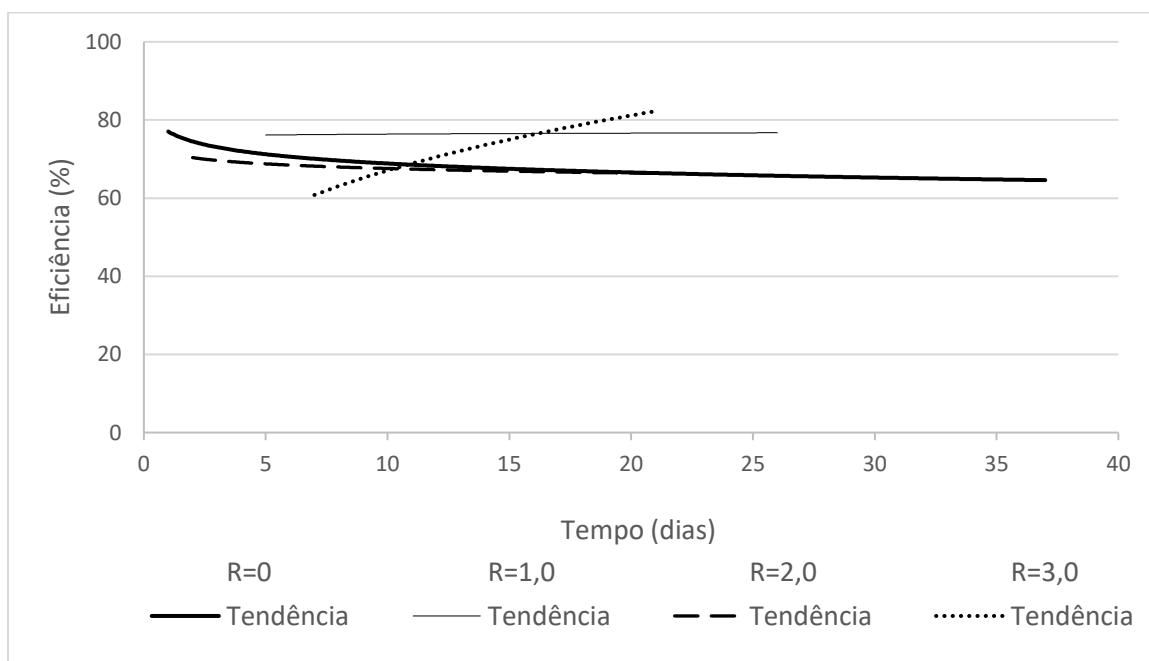


Figura 6 – Linhas de tendência de eficiência na remoção de DQO bruta para cada etapa operacional (Fonte: Autor, 2017).

A Tabela 2, a seguir, relaciona as eficiências médias na remoção de DQO bruta com as velocidades ascensionais obtidas em cada etapa.

Tabela 2 – Relação entre eficiência na remoção de DQO bruta e velocidade ascensional
(Fonte: Autor, 2017).

	Sem Recirculação (R=0)	Recirculação (R=1,0)	Recirculação (R=2,0)	Recirculação (R=3)
Remoção de DQO bruta (%)	70±7	77±6	68±9	73±7
Velocidade Ascensional (m/h)	0,16	0,32	0,48	0,64

Operando reator UASB, Araujo (2014) obteve uma velocidade ascensional similar à última abordada neste estudo, de 0,63 m/h, e obteve uma eficiência na remoção de DQO bruta na faixa de 61%. Ao trabalhar com reator HAnR sem recirculação da fase líquida, uma velocidade ascensional similar de 0,66 m/h proporcionou um aumento na eficiência na remoção do mesmo parâmetro, alcançando o valor de 72%. O mesmo autor ainda obtém resultados para outras velocidades ascensionais impostas ao reator HAnR: para a velocidade de 0,94 m/h a eficiência foi de 46%, e atingiu o valor de 37% quando a velocidade imposta foi 1,25 m/h. Nota-se, assim, que a velocidade ascensional para um determinado sistema tem limitações, e a partir de um determinado valor, a eficiência na remoção de DQO tende a decrescer.

Para DQO filtrada, os resultados foram um pouco diferentes. Com a imposição da recirculação e o aumento dessa vazão, o sistema aparentemente diminuía a remoção da DBO filtrada. Essa tendência pode ser considerada natural já que a velocidade ascensional pode ocasionar maior desprendimento do material aderido, aumentando as concentrações de sólidos no efluente, afetando diretamente a parcela particulada da DQO. Entretanto, na última razão de recirculação (R=3,0) o sistema apresentou um valor alto de remoção, contrariando a tendência das razões anteriormente aplicadas. Assim, na etapa sem recirculação da fase líquida o reator removeu aproximadamente 67% da DQO filtrada. Para a razão de recirculação R=1,0 a eficiência caiu para 60%. A eficiência decresceu ainda mais para R=2,0, onde obteve apenas 50% de remoção. Por fim, na última etapa, para R=3,0, o sistema apresentou o seu melhor resultado nesse quesito, onde a eficiência atingiu a marca de 80% de remoção da DQO filtrada. Essa variação possivelmente ocorreu pelo fato do sistema ainda não estar estabilizado, em relação à nitrificação, observados nas

tendências de queda do pH efluente. Assim, as quedas na remoção da DQO filtrada nas primeiras etapas com recirculação podem ter acontecido por um processo de seleção natural dos microrganismos, em adaptação à nova fase operacional, ocasionando um desprendimento dessa parcela da DQO particulada. A Figura 7 mostra a variação temporal desse parâmetro.

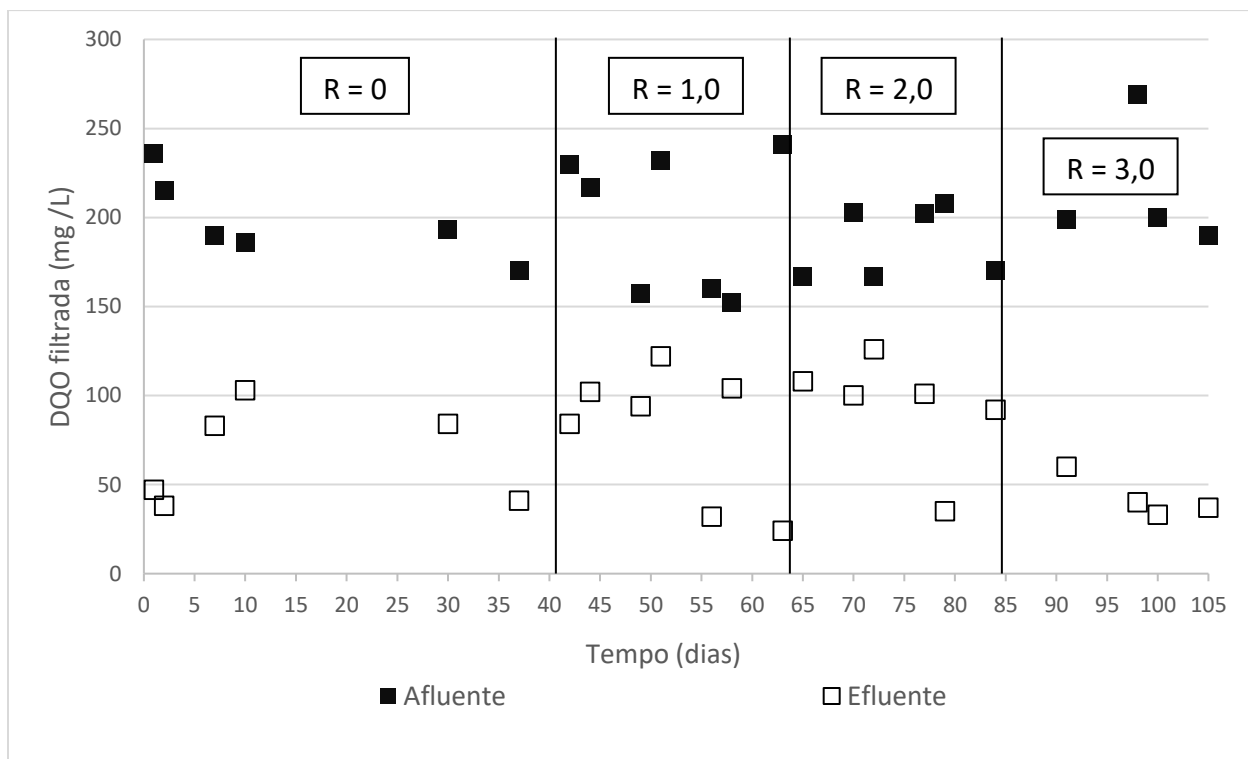


Figura 7 – Análise temporal de DQO filtrada (Fonte: Autor, 2017).

A Figura 8 analisa Sólidos Totais (ST). O reator apresentou uma eficiência de 63% na remoção dos ST na primeira fase, sem recirculação. O reator trabalhado por Magassy (2017) submetido às mesmas condições, porém com bucha vegetal de curcubitácea como material suporte, teve uma eficiência praticamente igual, onde apresentou 64% de remoção dos ST.

Na primeira razão de recirculação imposta, com $R=1,0$, a eficiência da espuma subiu para um valor em torno de 70%, passou para 72% na fase $R=2,0$ e atingiu a melhor marca para $R=3,0$, onde a eficiência chegou a 81%. Assim, percebe-se que as recirculações impostas ao sistema melhoraram a remoção de ST.

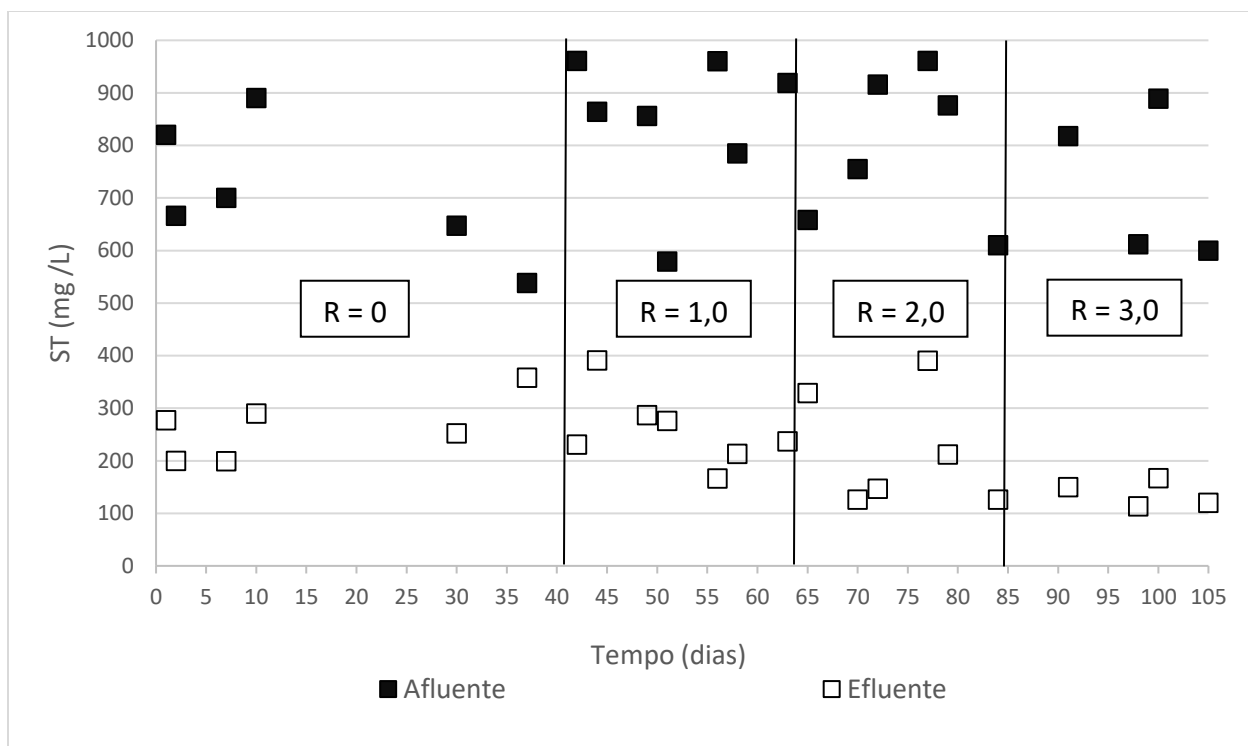


Figura 8 – Análise temporal de ST (Fonte: Autor, 2017).

O próximo parâmetro analisado foi a quantidade de Sólidos Suspensos Totais (SST). A Figura 9 mostra um resultado similar ao de ST, o que era esperado. Nesse caso, na fase sem recirculação a eficiência foi de 75% de remoção. O trabalho do Magassy (2017), submetido às mesmas condições, porém com bucha vegetal de curcubitácea como material suporte, teve uma eficiência equivalente, 74% de remoção dos SST. Araujo (2015) também utilizou a bucha vegetal de curcubitácea como material suporte em reator anaeróbio ascendente de leito fixo, com o TDH de 8 horas, e obteve uma remoção 56% de SST.

Em um segundo momento, impondo recirculação da fase líquida no reator, para a primeira razão trabalhada, $R=1,0$, a eficiência subiu para 79%, 86% para $R=2,0$, e 87% para $R=3,0$, sendo este o melhor resultado entre todas as configurações analisadas.

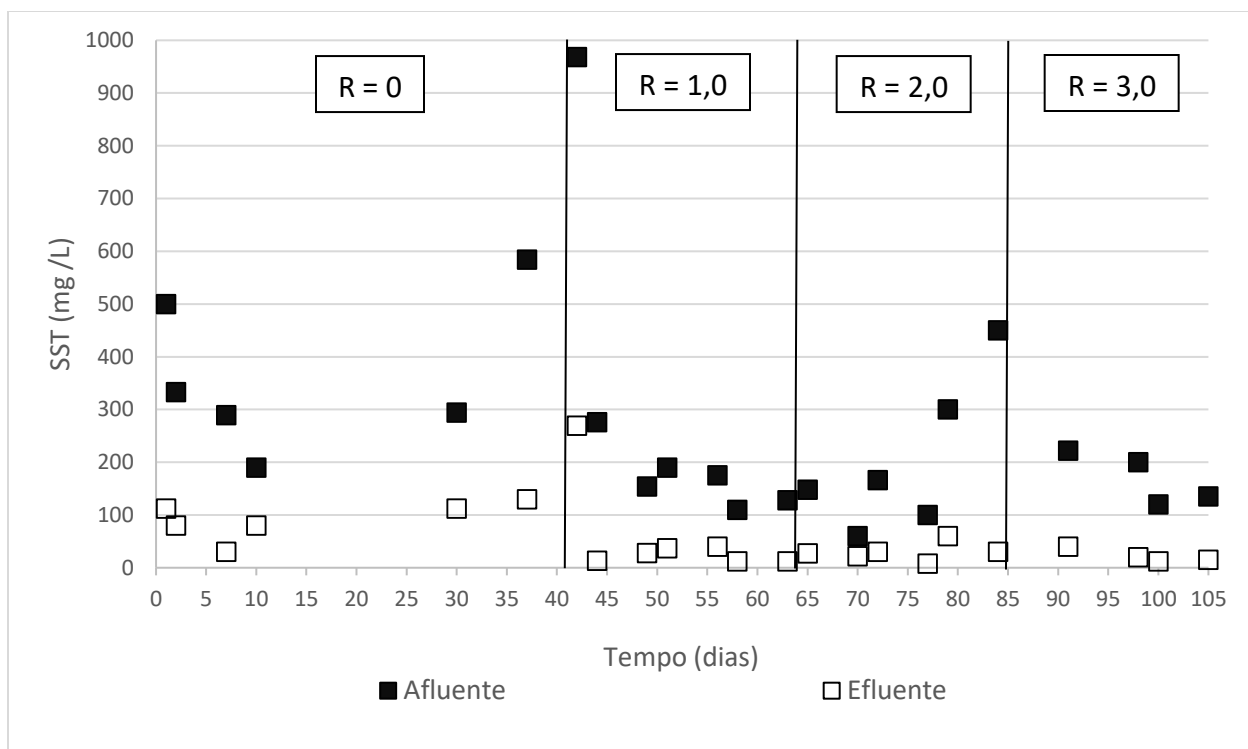


Figura 9 – Análise temporal de SST (Fonte: Autor, 2017).

Durante a operação, o pH foi monitorado quatro vezes por semana, sempre no momento da coleta das amostras afluente e efluente. Como o pH era o único parâmetro que poderia ser acompanhado no Laboratório de Saneamento Ambiental do Campus do Sertão da UFAL, considerou-se que essa queda no pH representava um indicativo para o início da fase de nitrificação, assim esse momento era considerado ideal para a imposição das fases de recirculação. Assim, a Figura 10 mostra como o pH variou durante todo o experimento. Percebe-se que, praticamente, o início de cada fase de recirculação é precedido de uma variação maior entre o pH afluente e efluente.

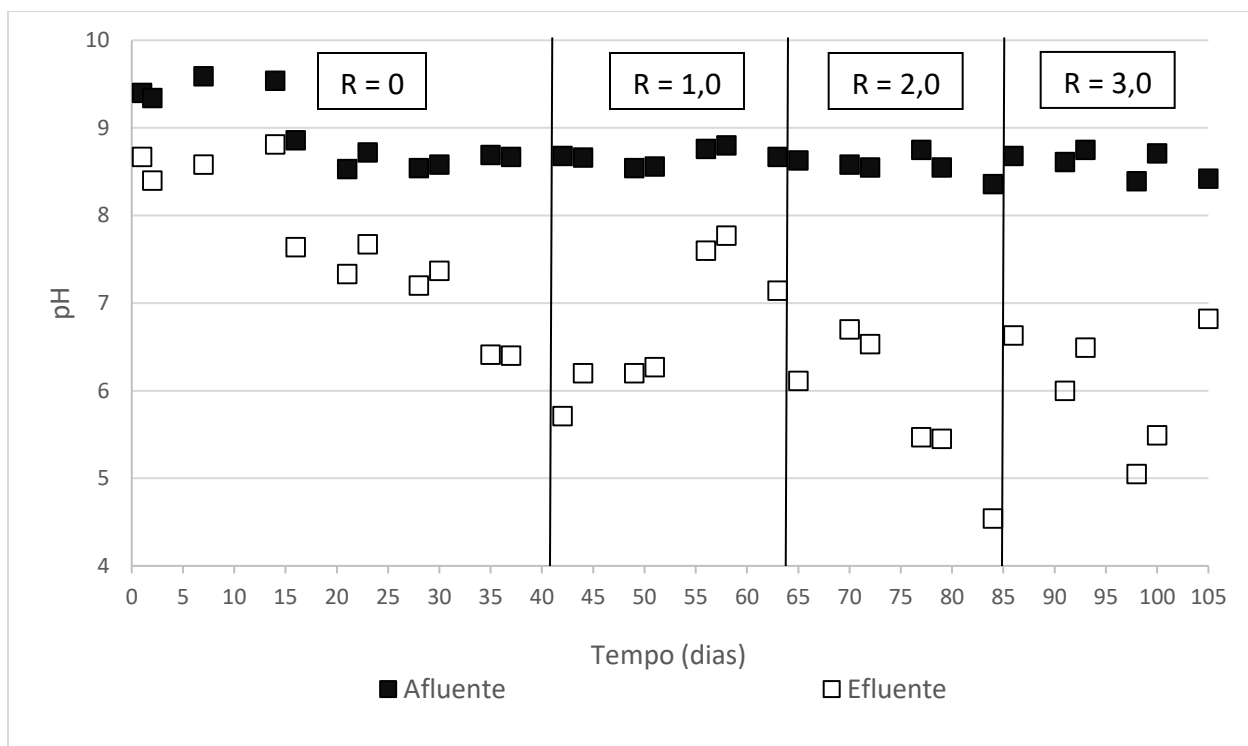


Figura 10: Análise temporal do pH (Fonte: Autor, 2017).

Por fim, outro gráfico que facilita analisar o comportamento dos reatores é o da relação Carga Orgânica aplicada/Carga Orgânica removida. Nesse sentido, podemos chegar a uma linha de tendência, bem como a equação desta reta. A carga orgânica aplicada foi calculada dividindo-se o valor da DQO bruta afluente de cada amostra pelo TDH desta fase. Já a carga orgânica removida é determinada pela relação entre a diferença dos valores da DQO bruta afluente e efluente de cada amostra e o TDH da fase. As Equações 1 e 2 mostram como cada uma dessas relações é calculada:

$$CO \text{ aplicada} = \frac{DQO \text{ bruta afluente}}{TDH \text{ da fase}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$CO \text{ removida} = \frac{DQO \text{ bruta afluente} - DQO \text{ bruta efluente}}{TDH \text{ da fase}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em relação à fase sem recirculação, o reator apresentou a CO aplicada média de $0,92 \pm 0,18 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{dia}$ e $0,66 \pm 0,19 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{dia}$ para CO removida. Na fase com recirculação, o sistema trabalhando com a razão $R=1,0$ apresentou a CO aplicada média de $0,98 \pm 0,20 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{dia}$ e $0,67$

$\pm 0,26 \text{ kg/m}^3\cdot\text{dia}$ para a CO removida. Para $R=2,0$, o mesmo obteve para CO aplicada e removida, respectivamente, $0,93 \pm 0,20 \text{ kg/m}^3\cdot\text{dia}$ e $0,64 \pm 0,22 \text{ kg/m}^3\cdot\text{dia}$. A etapa final, onde a recirculação equivalia ao triplo da vazão de alimentação, $R=3,0$, as médias de CO aplicada e removida foram, respectivamente $0,96 \pm 0,27 \text{ kg/m}^3\cdot\text{dia}$ e $0,71 \pm 0,28 \text{ kg/m}^3\cdot\text{dia}$. As Figuras 11, 12, 13 e 14 mostram esta relação para todas as etapas analisadas.

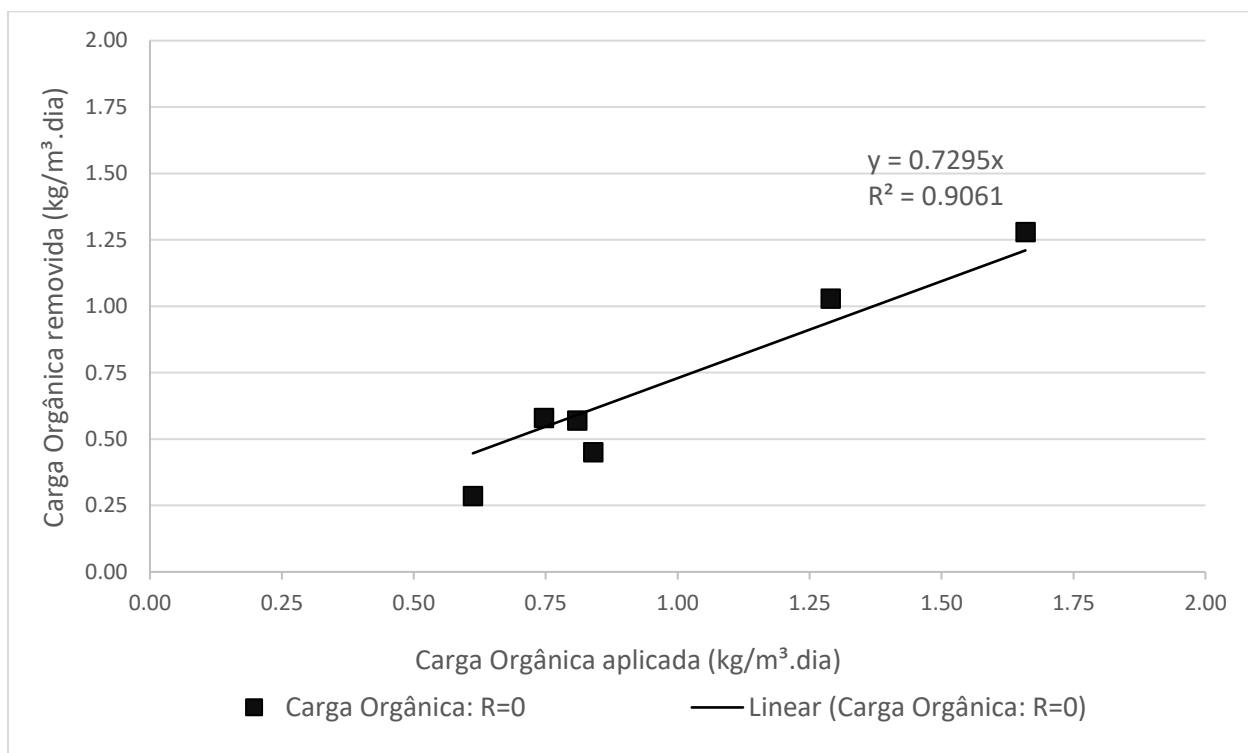


Figura 11: Relação CO aplicada/CO removida para fase sem recirculação

(Fonte: Autor, 2017).

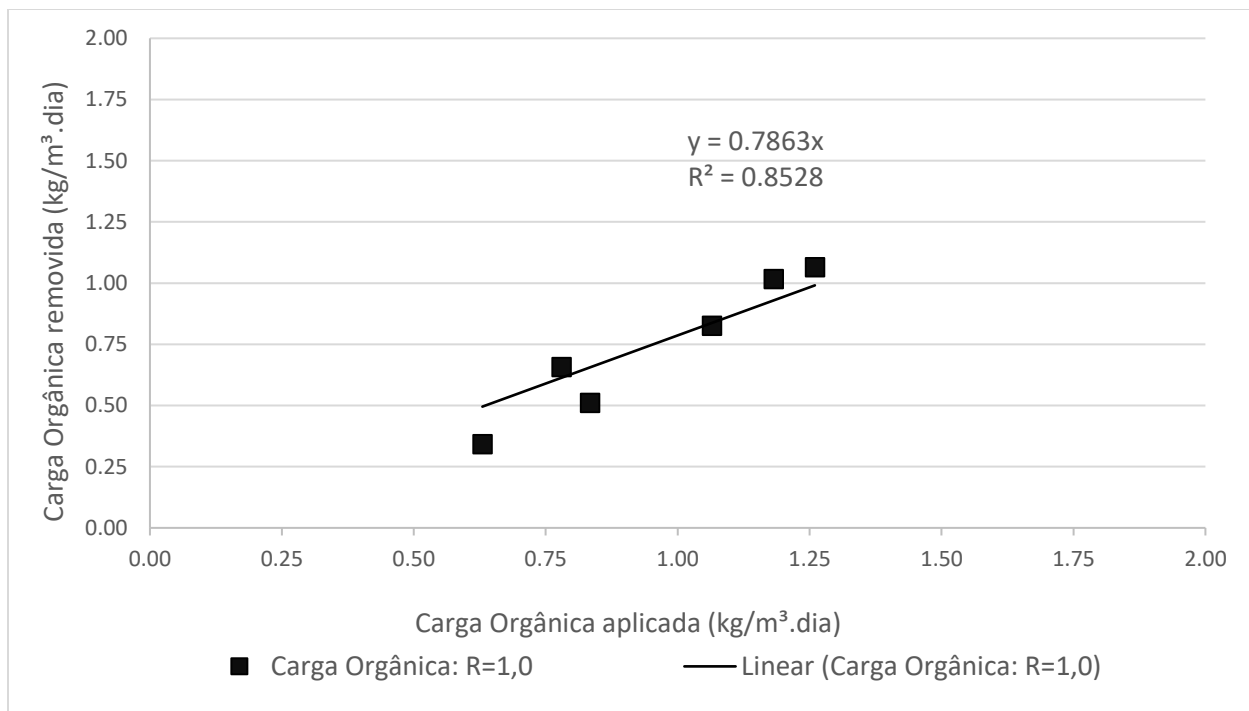


Figura 12: Relação CO aplicada/CO removida para R=1,0 (Fonte: Autor, 2017).

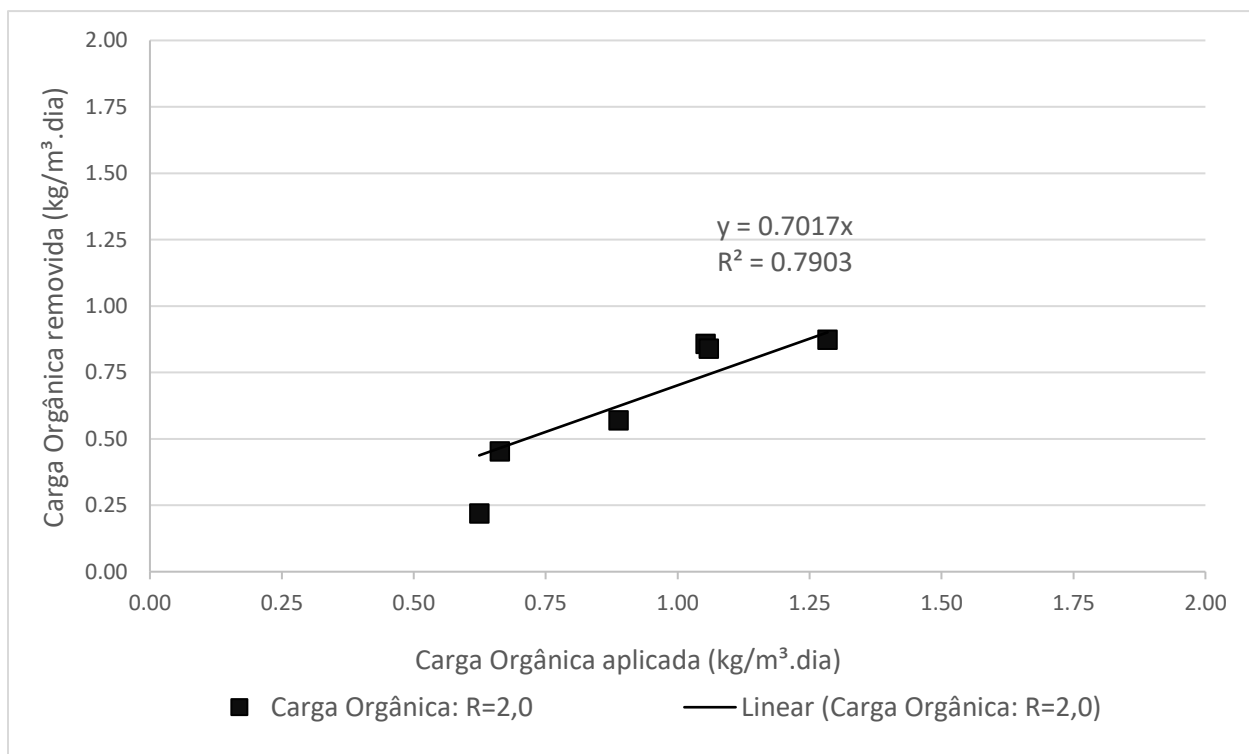


Figura 13: Relação CO aplicada/CO removida para R=2,0 (Fonte: Autor, 2017).

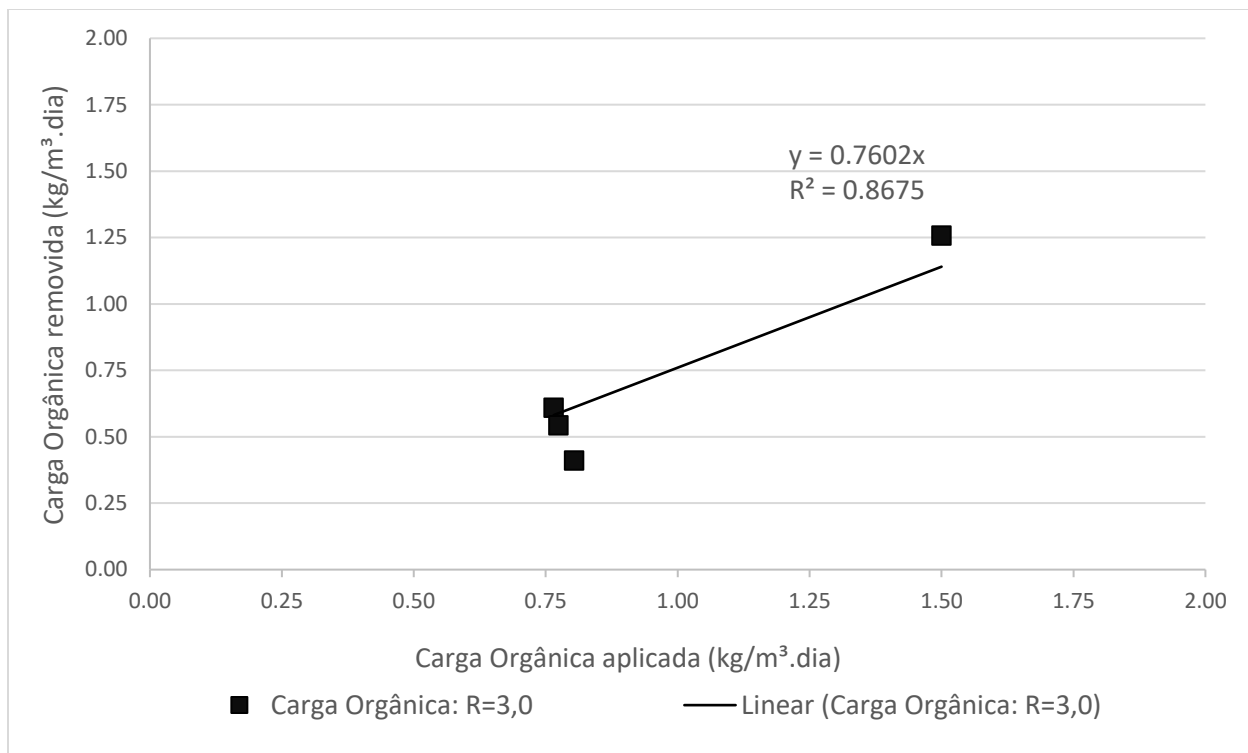


Figura 14: Relação CO aplicada/CO removida para R=3,0 (Fonte: Autor, 2017).

A relação CO aplicada/CO removida é um importante fator para compreender a eficiência do processo. Os melhores resultados acontecem quando o coeficiente linear da linha de tendência mais se aproxima de 1, ou seja, isso significa a carga orgânica que está sendo removida se aproxima da carga orgânica aplicada, resultando em uma maior eficiência do processo. Dessa forma, nota-se que, dentre todas as configurações analisadas, a segunda etapa, com a razão de recirculação R=1,0 apresentou a maior eficiência para remoção de carga orgânica, apresentando o valor do coeficiente linear de 0,786. O trabalho do Oliveira Netto (2011), que trabalhava em escala piloto, também verificou a relação CO aplicada/CO removida para a razão de recirculação R=3,0. Em seu estudo, o valor encontrado pelo autor foi 0,74, equivalente ao encontrado nesse experimento, que atingiu o valor de 0,76 para a mesma razão de recirculação, conforme pode ser visto na Figura 14.

Após todas as análises realizadas, a espuma apresentou resultados interessantes, o que era esperado tendo em vista que a mesma é um material sintético, muito utilizado para fins de imobilização celular, e não gera subprodutos. A biomassa aderida à espuma chegou a atingir a fase de nitrificação e permitiu a recirculação da fase líquida, o que proporcionou uma análise de novas

formas operacionais, demonstrando efetividade em alguns parâmetros, como as remoções de ST e SST. Entretanto, as recirculações impostas ao sistema não mostraram expressivas diferenças em relação à remoção de DQO.

A Tabela 3 compila os resultados médios dos parâmetros analisados durante os 105 dias de operação.

Tabela 3: Compilação de resultados médios obtidos durante a operação do reator
(Fonte: Autor, 2017).

	Sem recirculação (R=0)		Recirculação (R=1,0)		Recirculação (R=2,0)		Recirculação (R=3,0)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
DQO Bruta	331±107	98±24	327±66,45	104±53	309±68	98±28	320±90	85±23
DQO Filtrada	198±18	66±24	198±36	80±29	186±18	94±20	241±27	43±9
ST	710±97	263±45	846±94	257±52	796±122	222±92	730±124	138±21
SST	365±118	91±27	286±195	59±60	204±114	30±11	239±90	31±12
pH	9,16±0,36	7,90±0,68	8,67±0,07	6,75±0,66	8,57±0,08	5,80±0,65	8,54±0,11	5,51±0,51
CO aplicada	0,92±0,18		0,98±0,20		0,93±0,20		0,96±0,27	
CO removida	0,66±0,19		0,67±0,26		0,64±0,22		0,71±0,28	

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema em experimento foi operado com robustez e apresentou resultados sólidos. Como pretendido, as razões de recirculação foram impostas ao sistema com a finalidade de comparar os resultados entre as fases em trabalho, principalmente no que diz respeito à remoção de matéria orgânica. A espuma de poliuretano se comportou conforme o previsto, de forma estável, com aparente boa adesão da biomassa e sem gerar subprodutos, o que contribuiu para que o reator fosse operado de forma mais segura.

Em relação à remoção de DQO, percebeu-se que as recirculações impostas podem contribuir para maiores eficiências. Enquanto a razão de recirculação $R=1,0$ apresentou a melhor média nesse sentido, a fase para $R=3,0$ demonstrou um comportamento com tendência de crescimento, que inclusive pode obter resultados ainda melhores. Infelizmente a operação do reator foi finalizada antes e a estabilidade operacional no que diz respeito à remoção de DQO bruta para a última fase não foi verificada.

As análises de ST e SST fortaleceram o argumento dos benefícios da recirculação da fase líquida no tratamento de esgoto sanitário: os resultados apontam fortes indícios da eficiência desse aumento na velocidade ascensional no interior do reator. Para cada razão de recirculação imposta, os resultados apresentados foram melhores que os correspondentes às fases anteriores. Enquanto na fase sem recirculação o sistema apresentou 64% e 75% para ST e SST, respectivamente, na última fase, com a razão de recirculação $R=3,0$, o sistema mostrou as eficiências mais altas: 81% e 87% para ST e SST, respectivamente.

Recomenda-se, futuramente, que outras razões de circulações sejam impostas ao sistema, com a finalidade de buscar seu ponto ótimo de operação e compreender suas limitações de trabalho. Além disso, as constantes cinéticas em relação ao consumo da matéria orgânica para o reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo em diferentes etapas operacionais podem também ser estimadas. Adicionalmente, seria interessante que outras configurações alternativas nesse sistema fossem estudadas e comparadas, como por exemplo a utilização de outros materiais suporte, ou mesmo a inserção de uma fase de pós-tratamento ao sistema, buscando melhores resultados no que diz respeito à eficiência do tratamento de esgoto sanitário e economia.

Embora os resultados apresentados em relação às fases de recirculação impostas sejam positivos, análises complementares são essenciais para verificar que os aumentos das velocidades

ascensionais no interior do leito trazem benefícios ao processo de tratamento como um todo. Nesse sentido, análises estatísticas poderiam ser abordadas para comprovar que as variações foram significativas. Outros parâmetros como remoção e conversão das formas de nitrogênio e outros macronutrientes poderiam ser abordados, bem como a quantificação da biomassa aderida, por exemplo, ajudariam a compreender melhor o comportamento das bactérias no sistema em estudo. Infelizmente, por falta de infraestrutura e equipamentos adequados no Campus do Sertão da UFAL, análises mais detalhadas não puderam ser exploradas neste experimento.

Por fim, a atividade realizada mostrou resultados interessantes, que possibilitam a continuação desses estudos e certamente contribuem para a difusão e o avanço da ciência e tecnologia no país, mais precisamente no que diz respeito às alternativas para remediação do esgoto sanitário na região do semiárido nordestino.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. B.; ZAIAT, M. (2008). *Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n. 2, p. 181-188.

ALMEIDA, P. G. S. (2007). *Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação*. Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

APHA. (2005). *Standard methods for the examination of waste and wastewater*. American Public Health association, Washington, D.C. 21st Ed.

ARAÚJO, A. S. (2015). *Tratamento combinado anaeróbio-aeróbio como alternativa biológica para remediação do esgoto sanitário do sertão alagoano. Remoção de matéria orgânica carbonácea em reator combinado aeróbio-anaeróbio de leito fixo: efeito da recirculação da fase líquida*. Relatório Final PIBIC 2014/2015. Universidade Federal de Alagoas.

ARAÚJO, T. L. S. *Desempenho de reator anaeróbio híbrido (leito fixo e manta de lodo) tratando esgoto sanitário em escala piloto*. 2014. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2015). *Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da Organização Mundial da Saúde (OMS)*. Brasília. 2015.

CAMPOS, J. R. *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. São Carlos: Rima Artes e Textos, 1999. 443 p. (PROSAB).

- CHERNICHARO, C. A. L. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores anaeróbios*. Departamento de engenharia sanitária e ambiental – DESA/UFMG, Belo Horizonte, v. 5, p. 245, 1997.
- CHERNICHARO, C. A. L. (2001). (Coordenador). *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Coletânea de trabalhos técnicos, vol.2. PROSAB, p-220.
- FACIN, F. (2016). *Avaliação de ETEs compostas por reator uasb seguido de biofiltro aerado submerso, um estudo de caso no município de Luzerna-SC*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.
- FORD, D. L., CHURCHWELL, R. L., KACHTICK, J. W. (1980). *Comprehensive analysis of nitrification of chemical processing wastewaters*. Journal Water Pollution Control Federation, v.52, n.11, 2726-2746.
- HANG, S. S., BYEONG, C. P. (1990). *Improved performance of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors by operating alternatives*. Biotechnology Letters, v. 12; p.469-474.
- HAYDAR, S., HUSSAIN, G., NADEEM, O., HAIDER, H., BARI, A.J., HAYEE, A. (2014). *Performance Evaluation of Anaerobic-Aerobic Treatment for the Wastewater of Potato Processing Industry: A Case Study of a Local Chips Factory*. Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences, v.14(1), 27-37.
- HENZE, M., HARREMOËS, P., LA COUR JANSEN, J., ARVIN, E., *Wastewater treatment. Biological; and chemical processes*. 2nd edition.383p. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- HULTON, G.; WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2012). *Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage*.
- IACOVIDOU, E., VOULVOULIS, N. (2017) *The potential anaerobic-aerobic treatment of increased strength wastewater as a result of the use of food waste disposal units (FWDs)*. In: Lekkas, DF, (ed.) CEST 2017 proceedings. 15th International Conference on Environmental Science and Technology, 2017, Rhodes, Greece.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2008). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). *Atlas do Saneamento*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Síntese de indicadores*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Síntese de indicadores*.

KATO, M. T., NETO, C. O. A., CHERNICHARO C.A.L; FORESTI, E., CYBIS, L. F. *Configurações de reatores anaeróbios; In: Campos (Coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo; Finep, CNPq & Caixa; PROSAB, ed. Rima - São Carlos - SP, 1999. cap. 3, p 155-198.*

MAGASSY, T. B. (2017). *Tratamento combinado anaeróbio-aeróbio como alternativa biológica para remediação do esgoto sanitário do sertão alagoano: influência de diferentes tipos de material suporte na remoção de matéria orgânica em reator combinado de leito fixo*. Relatório Final PIBIC 2017/2017. Universidade Federal de Alagoas.

MAHMOUD, N., ZEEMAN, G., GIJZEN, H., LETTINGA, G. (2003). *Solids removal in upflow anaerobic reactors, a review*. *Bioresource Technology*, v.90(1), 1-9.

MEGDA, C. R. *Filtro anaeróbio ascendente combinado com reator aeróbio de lodos ativados em batelada no tratamento de água residuária sintética de indústria de polpa celulósica não branqueada sob condições termofílicas*. 2007. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

METCALF & EDDY (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, McGraw-Hill Education; Edição: 5th Ed.

NICIURA, C. L. *Avaliação do uso da banda de rodagem de pneus inservíveis triturada como suporte ao desenvolvimento de biofilmes em um reator anaeróbio de leito expansível*. 2005. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 2005.

OLIVEIRA NETTO, A. P. (2007). *Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA NETTO, A. P. (2011). *Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo em escala piloto, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário*. 2011. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OLIVEIRA NETTO, A. P.; ZAIAT, M. (2012). *Treatment of Domestic Sewage in an Anaerobic-Aerobic Fixed-bed Reactor with Recirculation of the Liquid Phase*. *Clean - Soil Air Water*. v.40, n.9, p. 965-971, 2012.

RODRIGUES, G. D. V. (2017). *Tratamento combinado anaeróbio-aeróbio como alternativa biológica para remediação do esgoto sanitário do sertão alagoano: Influência de diferentes tipos de material suporte na conversão e remoção das formas de nitrogênio em reator combinado de leito fixo*. Relatório Final PIBIC 2016/2017. Universidade Federal de Alagoas.

SANT'ANNA JR, G. L. *Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações*. 2nd. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013

SANTOS. M. P. (2010). *Influência da temperatura na eficiência de tratamento de efluentes em reatores UASB*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Química. (2010).

SHOW, K.Y., TAY, J.H. 1999. *Water Research*, v.33, 1471 – 1481.

SONOBE, H. G. *Influência da carga orgânica no desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo aplicado ao tratamento de esgoto sanitário*. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 2011.

SOUZA, C. F. *Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás*. 2001. 140 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SPRINGER, A. M. (1993). *Industrial environmental control: pulp and paper industry*. 2nd Ed. Atlanta, Tappi Press.

STEVENS, D.K. (1988). *Interaction of mass transfer and inhibition in biofilms*. *Journal of Environmental Engineering*. v. 114, p. 1352-58.

TEIXEIRA, J. C., OLIVEIRA, G.S., VIALI, A. M., MUNIZ, S. S. (2014). *Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 19, n. 1, p. 87-96, 2014.

TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C. (2003). *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre.

UHR, J. G. Z.; SCHMECHEL, M.; UHR, D. D. A. P. (2016). *Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica*. Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace. v.7, n.2.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. O (1999). *Comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e aplicações para projetos e operação*. Epgraf, 472p. Campina Grande, PB.

VON SPERLING, M. (2016). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: princípios básicos do tratamento de esgotos*. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 211p. 2ª Edição

WIEGANT, W. M. (2001). *Experiences and potential of anaerobic wastewater treatment in tropical regions*. Water Science Technology. v.44(8), p.107–113.

WRI, 1992. *World Resources*. 1992-1993. New York: Oxford University Press. 385p.

YOUNG, J.C., *Factors affecting the design and performance of up-flow anaerobic filters*. Water Science and Technology, v. 24, p. 133-155. 1991.

ZAIAT, M. *Desenvolvimento do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) para tratamento de águas residuárias*. Tese de Doutorado, EESC-USP. 156p., 1996.