



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL ALVES DE MENEZES

**APLICAÇÃO DE SISTEMA DE LODO ATIVADO EM BATELADAS
SEQUENCIAIS PARA A REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO DO ESGOTO
DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL**

CAMPINA GRANDE – PB

2018

GABRIEL ALVES DE MENEZES

APLICAÇÃO DE SISTEMA DE LODO ATIVADO EM BATELADAS
SEQUENCIAIS PARA A REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO DO ESGOTO DE
UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Adrianus C. Van Haandel
Co-orientador: Lincoln Soares Mota

CAMPINA GRANDE – PB

2018

É concedida à Universidade Federal de Campina Grande permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

GABRIEL ALVES DE MENEZES

Menezes, Gabriel Alves de.

Aplicação de sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais para a remoção biológica de nitrogênio do esgoto de um condomínio residencial / Gabriel Alves de Menezes.

Campina Grande, 2018.

49 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

1. Introdução. I. Universidade Federal de Campina Grande. CCET/DEC.

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL ALVES DE MENEZES

APLICAÇÃO DE SISTEMA DE LODO ATIVADO EM BATELADAS SEQUENCIAIS
PARA A REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO DO ESGOTO DE UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande – UFCG, para
encerramento do componente curricular e
conclusão da graduação em Engenharia
Civil.

Aprovado em: ___ de _____ de ___.

BANCA EXAMINADORA

Nota _____

Professor Adrianus Cornelius Van Haandel - UFCG
(Presidente – Orientador)

Nota _____

Professora Mônica de Amorim Coura - UFCG
(Examinador interno)

Nota _____

Professora Silvânia Lucas dos Santos – UFRN
(Examinador externo)

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos, pelo constante incentivo nas mais diversas maneiras, pelas críticas, pelos momentos de reflexão, descontração, relaxamento e pelo ombro amigo que por muitas vezes me proporcionou suporte e descanso, sem estes não conseguiria concluir esta graduação. Agradeço em especial a: Savyo, Rafael, Patrick, Caio, Lúcio, Igor, Victor, Jefferson, Gustavo e Thalles.

À minha família, por me permitirem meu tempo e meu espaço de auto-reflexão e por acreditarem que o caminho que escolhi é o melhor para mim.

À minha namorada Marcela, por todo amor, carinho, ajuda e companheirismo que me permitiram concluir com sucesso e superar em especial este último ano de curso.

A todos os professores que conheci e que me edificaram enquanto profissional, em especial ao meu professor orientador Adrianus Van Haandel, pelos bons momentos, pela leveza e pelo conhecimento a mim passado e à minha orientadora em diversas etapas do período acadêmico, professora Dayse Luna Barbosa, agradeço pela enorme paciência e pelos mais variados auxílios ao longo destes cinco anos.

Aos colegas da EXTRABES, em especial ao meu co-orientador Lincoln e à Silvânia, por sempre se colocarem à disposição para auxílio, pela enorme paciência e incentivo ao longo deste trabalho.

RESUMO

Com o crescimento da população e o desenvolvimento industrial dos últimos séculos, o volume de afluente produzido nos grandes e pequenos centros experimentou um crescimento exponencial, a humanidade tem então a sua atenção voltada para o destino final e prejuízos ambientais que este volume crescente causa, a curto e longo prazo. É partindo deste raciocínio que surge como alternativa mais viável o tratamento deste resíduo de esgoto e, como alternativa eficaz e a baixo custo, o tratamento biológico. Este trabalho apresenta a discussão da montagem e operação de um sistema de lodo ativado em regime de bateladas sequenciais, tendo em vista a obtenção de parâmetros satisfatórios para a remoção da matéria orgânica e nitrogênio oriundos de águas residuárias municipais, mais especificamente de um condomínio residencial em Campina Grande. Neste estudo foram calculadas e checadas as condições operacionais para um sistema operando nitrificação e desnitrificação em câmaras separadas por meio de dois reatores com capacidade de 500L que estavam interligados e, portanto compartilhavam de uma vazão de recirculação, fator este que se mostrou fundamental para atingir-se o equilíbrio do sistema nas duas zonas e, com o auxílio de testes laboratoriais e da teoria, esta deverá se encontrar na faixa entre 250 e 280 L/h. Conclui-se que para o equilíbrio do sistema, o monitoramento laboratorial da razão entre nitrificação e desnitrificação, suas taxas e volumes presentes em cada reator, bem como da correta automatização das fases do sistema realizada por temporizadores é assunto de fundamental importância. Por fim, verifica-se que o sistema operando para a montagem realizada apresenta potencial de tratamento favorável para remoção de nitrogênio e matéria orgânica desde que monitorado periodicamente e apresente condições para estabilização da biomassa.

Palavras-chave: Lodo ativado; Sistema N/D; Nitrificação; Desnitrificação; Nitrogênio; Matéria orgânica; Automatização.

ABSTRACT

With population growth and industrial development over the last few centuries, the volume of wastewater produced in large and small centers has grown exponentially, humanity is now focusing on the final destination and environmental damage that this increasing volume causes, in a short and a long term. On this reasoning, the treatment of wastewater appears as a more viable alternative and, as an effective alternative and at low cost, the biological treatment. This work presents the discussion of the assembly and operation of a sludge activated system in a sequential batch regime, in order to obtain satisfactory parameters for the removal of organic matter and nitrogen from municipal wastewater, more specifically from a residential condominium in Campina Grande. In this study, the operating conditions were calculated and checked for a system operating nitrification and denitrification in separate chambers by means of two reactors with capacity of 500L that were interconnected and, therefore, shared a recirculation flow, the balance of the system in the two zones and, with the aid of laboratory tests and theory, should be in the range between 250 and 280 L / h. It is concluded that for the equilibrium of the system the laboratorial monitoring of the ratio between nitrification and denitrification, its rates and volumes present in each reactor, as well as the correct automation of the phases of the system performed by timers is matter of fundamental importance. Finally, it is verified that the system operating for the assembly carried out presents favorable treatment potential for the removal of nitrogen and organic matter since it is monitored periodically and presents conditions for stabilization of the biomass.

Keywords: Activated sludge; System N / D; Nitrification; Denitrification; Nitrogen; Organic matter; Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 – Esquema das unidades biológicas do sistema de lodos ativados..... | 19 |
| Figura 3.2 – Diagrama representativo do ciclo de funcionamento dos RBS's..... | 20 |
| Figura 4.1 – Sistemas RBS operados em escala piloto..... | 31 |
| Figura 4.2 – Painel elétrico com temporizadores programados..... | 32 |
| Figura 4.3 – Bomba submersa utilizada para alimentação dos reatores..... | 34 |
| Figura 4.4 – Equipamento soprador de fontes de três lóbulos como fonte de oxigênio para os sistemas..... | 35 |
| Figura 4.5 – Sistema de ar difuso por membrana..... | 35 |
| Figura 4.6 – Bomba de descarte do efluente..... | 36 |
| Figura 4.7 – Válvula para entrada de ar na tubulação de descarte..... | 37 |
| Figura 4.8 – Bomba de recirculação de licor misto no sistema N/D..... | 38 |
| Figura 5.1 – Parâmetros básicos de funcionamento do sistema..... | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 4.1 – Tempo definido para as etapas do processo na escala piloto..... | 33 |
| Tabela 5.1 –Modelo de planilha desenvolvida para o sistema N/D..... | 44 |
| Tabela 5.2 – Testes laboratoriais para amônia..... | 46 |
| Tabela 5.3–Testes laboratoriais para nitrito..... | 47 |
| Tabela 5.4 –Testes laboratoriais para nitrato..... | 49 |
| Tabela 5.5 –Testes laboratoriais para DQO..... | 50 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- μ – Taxa específica de crescimento de autotróficas (d⁻¹)
- μ_{\max} – Taxa específica máxima de crescimento de autotróficas (d⁻¹)
- b_n – Constante de decaimento (d⁻¹)
- B_n – Balanço de massa do material nitrogenado
- CO – Capacidade de oxigenação
- CO₂ – Dióxido de carbono
- Cr – Massa de lodo ativo presente no sistema por unidade de DQO biodegradável aplicada por dia
- DBO – Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)
- DQO – Demanda química de oxigênio (mg/L)
- EXTRABES – Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos sanitários
- H₂O – Água
- k – Constante de sedimentabilidade
- k₁ – Constante de desnitrificação para material rapidamente biodegradável (mgN/mgX_a/d)
- k₂ – Constante de desnitrificação para material lentamente biodegradável (mgN/mgX_a/d)
- k₃ – Constante de desnitrificação para material lentamente biodegradável (mgN/mgX_a/d)
- k_n – Constante de meia saturação de Monod (mgN/L)
- k_o – Constante de meia saturação (mgOD/L)
- N/D – Sistema com nitrificação e desnitrificação em zonas distintas
- N_a – Concentração da amônia no licor misto (mgN/L)
- N_c – Fluxo da concentração de amônia nitrificada (mgN/d)
- N_l – Concentração de NTK para a produção de lodo de excesso (mgN/L)
- NTK – Concentração de nitrogênio total kjeldahl (mgN/L)
- OD – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L)

pH – Potencial hidrogeniônico

Q – Vazão (unidade de volume / unidade de tempo)

Q_r – Vazão de recirculação (unidade de volume / unidade de tempo)

RBS – Reator em bateladas sequenciais

r_D – Taxa de desnitrificação (mgN/L/d)

R_h – Tempo de permanência do líquido (d)

r_N – Taxa de nitrificação (mgN/L/d)

R_s – Idade de lodo (d)

R_{SN} – Idade de lodo mínima para que ocorra nitrificação

S – Concentração de substrato (mg/L)

S_{ba} – DQO biodegradável afluente (mg/L)

S_{bsa} – DQO biodegradável solúvel afluente (mg/L)

SND – Sistema com nitrificação e desnitrificação simultânea

t – Tempo (h)

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 GERAL..... | 15 |
| 2.2 ESPECÍFICOS..... | 15 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 3.1 IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DO TRATAMENTO DAS ÁGUAS SERVIDAS PARA A SAÚDE PÚBLICA..... | 16 |
| 3.2 SANEAMENTO BÁSICO EM TERRITÓRIO MUNICIPAL..... | 16 |
| 3.3 MALEFÍCIOS DO EXCESSO DO NITROGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA..... | 17 |
| 3.4 AÇÃO DO LODO ATIVADO NO SISTEMA AERÓBIO..... | 17 |
| 3.5 REATOR DE BATELADAS SEQUENCIAIS – RBS..... | 18 |
| 3.6 REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO..... | 19 |
| 3.7 NITRIFICAÇÃO..... | 20 |
| 3.7.1 Cinética de nitrificação..... | 20 |
| 3.7.1.1 Potencial e capacidade de nitrificação..... | 21 |
| 3.8 DESNITRIFICAÇÃO..... | 22 |
| 3.8.1 Cinética da desnitrificação..... | 23 |
| 3.8.1.1 Capacidade de desnitrificação..... | 24 |
| 3.9 BALANÇO DE MASSA DE MATERIAL NITROGENADO..... | 24 |
| 3.10 NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO EM SISTEMAS COM ZONAS DISTINTAS..... | 25 |
| 3.11 CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO..... | 25 |
| 3.12 RESPIROMETRIA..... | 26 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 4.1 SISTEMA OPERADO..... | 28 |
| 4.1.1 Sistemas em escala piloto..... | 29 |
| 4.2 OPERAÇÃO DOS REATORES..... | 29 |
| 4.3 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO..... | 31 |
| 4.4 SISTEMAS DE AERAÇÃO..... | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5 DISPOSITIVO DE DESCARGA DO EFLUENTE..... | 33 |
| 4.6 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO..... | 35 |
| 4.7 MODELAGEM MATEMÁTICA PARA O SISTEMA N/D..... | 36 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 38 |
| 5.1 PROBLEMAS OPERACIONAIS..... | 38 |
| 5.2 SIMULAÇÃO DE PARÂMETROS PARA O SISTEMA N/D..... | 39 |
| 5.3 ANÁLISE LABORATORIAL DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS ENCONTRADOS..... | 41 |
| 6 CONCLUSÕES | 48 |
| REFERÊNCIAS | 49 |

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de águas residuárias tem se tornado uma necessidade crescente, tendo em vista o aumento da produção de esgoto gerado pela sociedade. Objetivando o aumento da disponibilidade hídrica e a redução da poluição dos corpos aquáticos receptores, o esgoto tratado é uma fonte alternativa de água para qual faz-se necessária o tratamento, a fim de que esta não se torne prejudicial para o meio ambiente ou transmita doenças por veiculação hídrica.

O desenvolvimento de técnicas e processos para o tratamento de esgoto é sem dúvidas uma necessidade, sendo necessário constante aperfeiçoamento dos processos, visando fornecer a melhor tecnologia ao menor custo de implantação, construção e manutenção. Assim, o tratamento biológico é uma alternativa extremamente viável para o tratamento de águas residuárias, sendo esta técnica a junção das condições ótimas para que um processo natural ocorra com mais versatilidade e eficiência. O sistema biológico de lodo ativado é um processo caracterizado pela elevada remoção de material orgânico presente nas águas residuárias, este também, a depender das condições operacionais, tem a capacidade de remover nutrientes presentes no meio, como nitrogênio e fósforo, responsáveis pela eutrofização de corpos hídricos.

A nitrificação é uma das etapas do processo de remoção biológica do nitrogênio, neste processo a amônia é primeiramente oxidada para nitrito por bactérias oxidantes de amônia e, em seguida, para nitrato por bactérias oxidantes de nitrito. Winogradsky (1890) descreve que essa divisão de funções entre estes dois grupos funcionais é uma característica natural do ciclo do nitrogênio (van Kessel et al., 2015).

A etapa complementar de remoção de nitrogênio é o processo biológico de desnitrificação, que é a redução do nitrato formado na nitrificação à nitrogênio molecular. Segundo Seitzinger et al. (2006), aproximadamente 30 a 40% do nitrogênio presente nos rios é perdido por desnitrificação. A desnitrificação é um processo ambiental natural que necessita de condições favoráveis (anoxia, presença de carbono orgânico disponível e concentrações de nitrato in situ), para que isto ocorra. Medições diretas de desnitrificação in situ são muito difíceis de realizar, dadas as variações das condições ambientais (Pinay et al. 2015).

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a remoção biológica de material orgânico e nitrogênio, a partir de um sistema de tratamento de águas residuárias geradas em um condomínio residencial, através da utilização de um reator em bateladas sequenciais (RBS) com câmaras dedicadas para nitrificação e desnitrificação.

2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar a vazão de recirculação ideal, para que as taxas de nitrificação e desnitrificação no sistema sejam próximas;
- Determinar as concentrações ótimas de lodo em cada câmara, para que as taxas de nitrificação e desnitrificação no sistema ocorram.

CAPÍTULO III

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DO TRATAMENTO DAS ÁGUAS SERVIDAS PARA A SAÚDE PÚBLICA

Nas cidades grandes do Império Romano havia grandes obras de coleta de águas residuárias visando seu afastamento das regiões urbanas mediante descarga em rios juntamente com o lixo. Estas obras eram realizadas para proteger a saúde pública. Na queda do império estas obras ficaram perdidas e a sua importância para a saúde pública deixou de ser reconhecida em parte porque não havia mais centros urbanos grandes. Somente no ressurgimento de grandes centros urbanos durante a revolução industrial e mais precisamente na segunda metade do século 19 houve epidemias seríssimas de doenças transmitidas pela água e começou-se a entender de novo a necessidade de coleta e tratamento de esgotos, ainda que estas providências sejam incompletas até hoje.

3.2 SANEAMENTO BÁSICO EM TERRITÓRIO MUNICIPAL

O saneamento no Brasil, a partir da Primeira República, foi marcado pelo crescimento da consciência entre as elites em relação aos grandes problemas sanitários do país e de que o Estado nacional deveria assumir mais a responsabilidade pela saúde da população e salubridade do território (HOCHMAN, 1998).

De acordo com o uso pelo qual a água residuária estudada foi gerada, sua composição altera-se variando de acordo com o clima, as condições da região e da comunidade que usufruiu deste volume, a contaminação com efluentes industriais, dissolução através da adição de volume de águas pluviais, entre outros (JORDÃO; PESSÔA, 2005). Assim, estão, cada vez necessita a humanidade de tecnologias mais precisas que garantam a disponibilidade de água para as diversas atividades da população atual, e das próximas gerações.

Como conclui Von Sperling (2005), o processo de tratamento de águas residuárias envolve uma série de etapas, as quais podem ser físicas, químicas ou biológicas. Estas são

divididas em níveis de tratamento denominados de: tratamento preliminar, responsável pela remoção de material sólido em suspensão e impurezas, seguido do tratamento primário que deve prezar pela remoção de sólidos sedimentares e pequenos percentuais de matéria orgânica, o secundário por remover níveis satisfatórios de matéria orgânica, à depender da finalidade do tratamento (também dependendo desta, busca-se a remoção parcial de nutrientes em excesso) e terciário responsável pela remoção de nutrientes de forma mais específica.

3.3 MALEFÍCIOS DO EXCESSO DO NITROGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA

A remoção de nitrogênio de efluentes industriais e/ou urbanos com alta concentração de nitrogênio tem se mostrando como grande desafio no tratamento de efluentes. Das principais complicações geradas se destaca a eutrofização, que consiste em um desequilíbrio causado pelo aumento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, onde há uma proliferação acelerada de organismos que podem produzir substâncias tóxicas à saúde, além de diminuir a concentração de oxigênio dissolvido na água, resultando no desequilíbrio do ecossistema aquático (ABREU, 2013).

A remoção do nitrogênio e de seus derivados é importante para o tratamento de esgoto, pois sua presença em excesso prejudica potencialmente o corpo receptor em se tratando da eutrofização do mesmo, processo no qual há uma proliferação de organismos do domínio *Eukaryota* (algas e outros organismos cianófitos) prejudicando o ciclo natural da vida por dificultar a co-existência de outros seres vivos do meio aquático, bem como diminuindo a qualidade da água que pode ser usada para consumo humano.

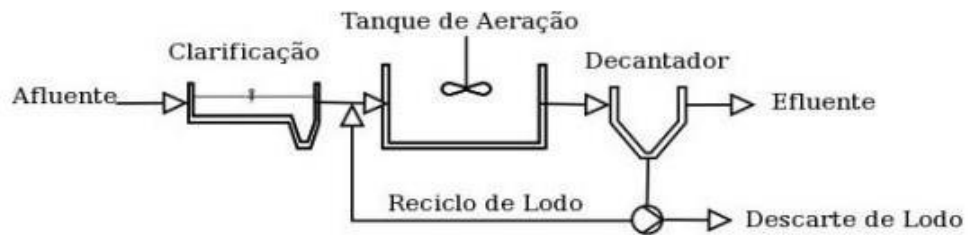
3.4 AÇÃO DO LODO ATIVADO NO SISTEMA AERÓBIO

O tratamento aeróbio de águas residuárias consiste na degradação biológica de substâncias orgânicas na presença de oxigênio livre. Neste processo, parte da matéria orgânica é oxidada para produzir energia para os microrganismos (catabolismo) e outra parte é convertida em novas células (anabolismo) que, na ausência desta, passam a metabolizar suas reservas energéticas intracelulares (respiração endógena) transformando-se nos produtos finais CO_2 , H_2O , entre outros (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

O sistema de lodo ativado é o processo aeróbio mais conhecido e estudado no que se refere ao tratamento de águas residuárias. O processo de lodo ativado consiste essencialmente de um reator e um decantador, as vezes precedido por um decantador primário (Figura 1) (JORDÃO; PÊSSOA, 2005). No reator há uma massa microbiana na forma de flocos macroscópicos que se chama lodo ativado que recebe o afluente de esgoto e metaboliza o

material orgânico. No tanque de aeração é efetuada a turbulência necessária para transferir oxigênio à mistura e no decantador final o lodo é separado da fase líquida, que é descarregada. O lodo retorna ao reator, sendo que uma parte é descarregada do sistema como lodo de excesso.

Figura 3.1: Esquema das unidades biológicas do sistema de lodos ativados.



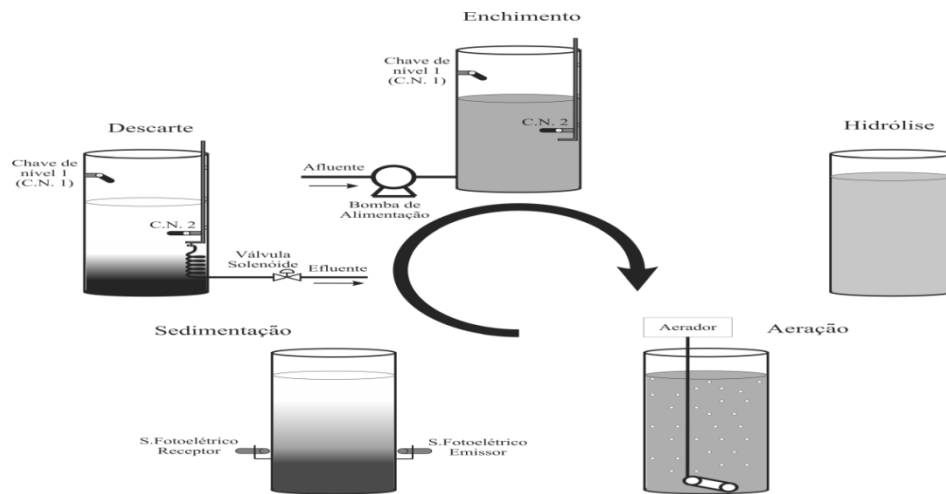
Fonte: Silva; Barbosa (2012).

3.5 REATOR DE BATELADAS SEQUENCIAIS – RBS

O princípio do processo de lodo ativado por batelada sequenciais consiste no tratamento de esgoto em um único tanque pelas etapas sequenciais de enchimento, aeração, sedimentação e descarga do afluente. Neste aspecto, são diferentes dos sistemas de fluxo contínuo, onde diferentes aspectos do tratamento ocorrem em ambientes separados, todos simultaneamente. A duração de cada etapa está sempre sujeita à natureza da água residuária, assim como das condições operacionais do reator (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999; VAN HAANDEL; VAN DER LUBBE, 20012).

O processo de tratamento utilizando RBS é caracterizado pela execução de etapas sequenciais no tempo, conforme mostrado na Figura 3.2.

Figura 3.2. Diagrama representativo do ciclo de funcionamento dos RBS's.



Fonte: Silva; Barbosa, 2012.

Segundo Van Haandel e Marais (1999), as vantagens do sistema RBS tomando como comparativo os tratamentos convencionais com lodo ativado são evidenciados desde a montagem (flexibilidade na construção e adaptação, assim como variações de cargas e vazões), trabalhando numa lógica simples e desempenhando boa sedimentabilidade das camadas de lodo. Em comparativo com outros sistemas de tratamento como lagoas de estabilização (utilizadas com constância em território nacional) o sistema em bateladas sequenciais tem por entre suas vantagens a reduzida área de ocupação, uma opção de destino para os gases em emissão no tratamento, facilidade de limpeza, dentre outros.

Em tempos atuais, essa tecnologia se tornou mais aplicável à diversos tipos de efluentes. Isso se deve ao melhor conhecimento do sistema e ao emprego de tecnologias mais confiáveis da informática e automação. Em face à problemática do lançamento de nutrientes nos cursos d'água, os reatores de batelada têm sido modificados para alcançar a nitrificação, desnitrificação e remoção biológica de fósforo ao final de seu ciclo (VAN HAANDEL e VAN DER LUBBE, 2012).

3.6 REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

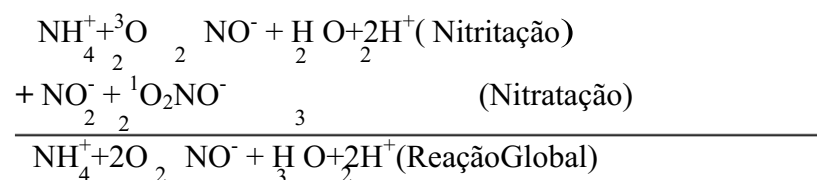
O material nitrogenado objetivado é composto, em suma, por nitrogênio amoniacal (NH_3 e NH_4^+) e nitrogênio orgânico (ureia, aminoácidos e outros do grupo amino). No sistema de lodo ativado podem acontecer determinados processos que mudam a organização molecular do material nitrogenado (amonificação, nitrificação e desnitrificação) (HENRIQUE, 2010).

A amonificação é uma etapa em que o nitrogênio orgânico é transformado em nitrogênio amoniacal. A nitrificação pode ser realizada por espécies de bactérias e archaeas e que tem como requisitos fatores como um ambiente aeróbio e a presença de nitrogênio amoniacal (Limpiyakorn, 2013).

O processo de nitrificação consiste na transformação da amônia à nitrato através da mediação por populações bacterianas específicas em ambiente aeróbio, que ocorre em duas etapas: a primeira etapa consiste na oxidação da amônia à nitrito, que pode ser realizada por bactérias dos gêneros Nitrosococcus, Nitrosospira e Nitrosomonas e por algumas espécies de arqueas pertencentes ao filo Thaumarchaeota (Uemoto e Saiki, 2000) enquanto que a segunda consiste na oxidação de nitrito à nitrato por bactérias dos gêneros Nitrobacter, Nitrospira, Nitrospina e Nitrococcus (Oren, 2002).

3.7 NITRIFICAÇÃO

A nitrificação é um processo químico que consiste na conversão do nitrogênio, em maioria na forma de íon amônio (N-NH⁺) para nitrito (N-NO⁻), este sendo originário dos desperdícios das plantas e dos animais e de restos mortais, sendo este oxidado por bactérias nitrificantes autotróficas que utilizam CO₂ como fonte de carbono, na presença de oxigênio dissolvido. Este processo realiza-se em duas etapas: a primeira é a nitritação, que é a oxidação da amônia a nitrito (Equação A), nessa etapa as bactérias Nitrosomonas e Nitrosococcus são as mais conhecidas. A segunda etapa, é a nitratação, com a oxidação do nitrito a nitrato pelas bactérias oxidadoras de nitrito (Equação B), na qual as bactérias Nitrobacter são os agentes responsáveis (PORTO, 2018).



3.7.1 Cinética de nitrificação

Embora a nitrificação se desenvolva em dois estágios (nitritação e nitratação), para a sua cinética é levada em consideração apenas a nitritação, pois quando a população de nitrificadores está bem estabelecida, o segundo passo acontece de forma quase instantânea (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

A variação da concentração de bactérias nitrificantes com o tempo pode ser obtida através da equação abaixo, descrita por Downing:

$$(dX_n/dt) = (dX_n/dt)_c + (dX_n/dt)_d + (dX_n/dt)_e$$

Sendo:

$$(dX_n/dt)_c = \mu X_n = \mu_m X_n * N_a / (N_a + K_n) \quad (dX_n/dt)_d = -b_n X_n$$

$$(dX_n/dt)_e = -X_n / R_s$$

Onde:

X_n = Concentração de Nitrosomonas (mgSVS.L-1);

(dX_n/dt) = taxa de variação da concentração de Nitrosomonas (mgSVS.L-1.d-1);

$(dX_n/dt)_c$ = taxa de crescimento de Nitrosomonas (mgSVS.L-1.d-1);

$(dX_n/dt)_d$ = taxa de decaimento de Nitrosomonas (mgSVS.L-1.d-1);

$(dX_n/dt)_e$ = taxa de variação da concentração de Nitrosomonas devido à descarga de lodo (mgSVS.L-1.d-1);

Y_n = coeficiente de rendimento das autotróficas (mgSVS.mgDQO-1);

μ = taxa específica de crescimento de Nitrosomonas (d-1);

μ_m = taxa específica máxima de crescimento de Nitrosomonas (d-1);

b_n = constante de decaimento de Nitrosomonas (d-1);

K_n = constante de meia saturação de Monod (mgN.L-1);

R_s = idade de lodo do sistema (d);

N_a = concentração nitrogênio amoniacal no licor misto (mgN.L-1).

3.7.1.1 Potencial e capacidade de nitrificação

Van Haandel e van der Lubbe (2012) definem o potencial de nitrificação como a concentração de NTK no afluente que pode ser nitrificado em um sistema de lodo ativado. Assim, essa concentração é expressa por:

$$N_p = N_{ka} - N_l - N_{oe}$$

Onde:

N_p = Potencial de nitrificação;

N_{ka} = Concentração de NTK no afluente;

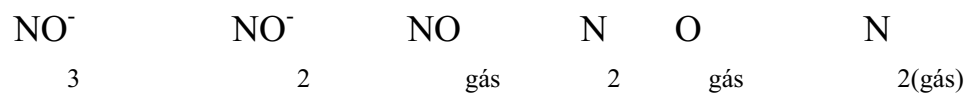
N_l = Concentração de NTK no lodo de excesso;

N_{oe} = Nitrogênio orgânico no efluente.

A capacidade de nitrificação é definida como sendo a concentração de NTK afluente que é efetivamente oxidada no sistema de lodo ativado. Logo é a diferença entre o potencial de nitrificação e a concentração residual de amônia no efluente do sistema.

3.8 DESNITRIFICAÇÃO

A desnitrificação é a transformação do nitrato a nitrogênio molecular em meio anóxico. A conversão é feita por bactérias facultativas, estas são heterotróficas capazes de reduzir nitrato em duas etapas: a primeira consiste na conversão de nitrato a nitrito e a segunda é a produção de óxido nítrico, óxido nitroso e gás nitrogênio. Caso as células em crescimento anaeróbio sejam expostas ao oxigênio, essas são prontamente inibidas, passando a realizar o processo respiratório consumindo oxigênio. Em ambientes anaeróbios, ocorre também a redução assimilatória de nitrato à amônia, também conhecida por amonificação (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).



Ainda segundo Van Haandel, para que ocorra a desnitrificação é importante aferir algumas condições básicas. Primeiro, o sistema deve ser dotado de bactérias facultativas, que tanto utilizem OD como nitrato para oxidação da matéria orgânica. Segundo, a presença de OD no licor misto inibe o processo da desnitrificação. Terceiro, os microrganismos precisam de condições ambientais adequadas para se desenvolverem (a taxa de desnitrificação aumenta com o aumento da temperatura até 40°C, e o pH ideal do licor misto é entre 7,0 e 7,5). Por

fim, é necessário que haja material orgânico biodegradável no reator para atuar como doador de elétrons na redução do nitrato.

3.8.1 Cinética da desnitrificação

Segundo van Haandel e Marais (1999) a taxa de desnitrificação (r_D) está ligada a concentração de lodo ativo e é proporcional a esta, onde K é a constante de desnitrificação expressa em $\text{mgN.mgX}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

A desnitrificação em sistemas anóxicos pode ocorrer em duas fases: a fase onde há consumo do material rapidamente biodegradável e a fase onde há consumo de material lentamente biodegradável. A constante de desnitrificação (K) pode mudar de acordo com o sistema utilizado. Nos sistemas com pré-desnitrificação, $K = K_1 + K_2$, para a primeira fase e $K = K_2$ para a segunda. Para os sistemas com pós-desnitrificação $K=K_3$. Logo:

$$r_{Ds} = (K_1 + K_2)X_a \quad (t < t_p)$$

$$r_{Dp} = K_2X_a \quad (t > t_p)$$

$$r_D = K_3X_a$$

Onde:

r_{Ds} = taxa de desnitrificação associada à utilização do material rapidamente biodegradável;

r_{Dp} = taxa de desnitrificação associada à utilização do material lentamente biodegradável;

K_1 = constante de desnitrificação para material rapidamente biodegradável em sistemas pré-D ($\text{mgN.mgX}^{-1}.\text{d}^{-1}$);

K_2 = constante de desnitrificação para material lentamente biodegradável em sistemas pré-D ($\text{mgN.mgX}^{-1}.\text{d}^{-1}$);

K_3 = constante de desnitrificação para material lentamente biodegradável em sistemas pós-D ($\text{mgN.mgX}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

t_p = duração da fase primária.

Os valores de K_1 , K_2 e K_3 podem ser obtidos conforme as equações propostas por

van Haandel (1981), de acordo com a temperatura T e para águas residuárias:

$$K_1 = 0,721,2^{T-20}$$

$$K_2 = 0,11,08^{T-20}$$

$$K_3 = 0,081,03^{T-20}$$

3.8.1.1 Capacidade de desnitrificação

Traduzida para o sistema em questão por Mota (2015), a capacidade de desnitrificação em um reator com pós-desnitrificação pode ser determinada teoricamente através da equação definida por van Haandel e Marais (1999), onde:

$$Dc_3 = K_3 * Cr * fx_3 * S_{ba}$$

Onde:

Dc_3 = Capacidade de desnitrificação de um reator pós-D (mgN/L);

fx_3 = Fração da massa de lodo no reator pós-D.

3.9 BALANÇO DE MASSA DE MATERIAL NITROGENADO

Como definido por Van Haandel e Marais (1999), o nitrogênio pode deixar o processo de tratamento pelas seguintes formas: (1) como material sólido no lodo de excesso; (2) como material dissolvido no efluente ou (3) como nitrogênio gasoso para a atmosfera.

O balanço de massa do material nitrogenado (B_n) permite verificar a fração de recuperação do nitrogênio como sendo a razão dos três fluxos que deixam o sistema e o fluxo afluente (Equação X). Assim, é possível verificar a acuracidade da análise e a confiabilidade dos dados obtidos.

$$B_n = (MN_l + MN_{te} + MN_d) / MN_{ta}$$

Sendo:

B_n = balanço de massa de material nitrogenado (mgN/d);

MN_l = fluxo de nitrogênio descarregado no lodo de excesso (mgN/d);

MN_{te}: fluxo de nitrogênio descarregado no efluente (mgN/d);

MN_d = fluxo de nitrogênio utilizado na desnitrificação (mgN/d);

MN_{ta}: fluxo de nitrogênio afluente (mgN/d);

3.10 NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO EM SISTEMAS COM ZONAS DISTINTAS

Como visto no item anteriormente, os processos de nitrificação e desnitrificação ocorrem em condições ambientais diferentes. Deste modo, para que ambos os processos (nitrificação e desnitrificação) ocorram é necessário que estas condições sejam atendidas de forma a favorecer a redução do nitrogênio a valores próximos a zero.

Devido aos processos de nitrificação e desnitrificação serem processos metabólicos distintos, a utilização de dois tipos de reatores evidencia-se, muitas vezes, um procedimento necessário quando se deseja que estas etapas aconteçam de forma efetiva, dada a dificuldade em se trabalhar no ténue patamar bacteriano que oscila entre a respiração aeróbia e anaeróbia.

O sistema com zonas distintas nada mais é do que uma junção de duas câmaras (reatores), as quais são interligadas por um sistema de recirculação. O licor misto e rico em nitrato, formado no processo de nitrificação na zona aeróbia, é enviado para a zona anóxica onde devido à baixa concentração de oxigênio dá-se início ao processo de desnitrificação. Em seguida o licor misto, teoricamente livre de nitrato, retorna para a zona aeróbia.

Segundo Mota (2015), a variável de projeto mais importante do sistema com zonas distintas é a vazão de recirculação, pois ela define outros parâmetros como, taxa de nitrificação na zona aeróbia, taxa de desnitrificação na zona anóxica, quantidade de lodo ativo presente em cada câmara, além da velocidade ascensional e concentração de oxigênio na zona anóxica.

3.11 CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

A influência da concentração de OD do licor misto sobre a cinética de nitrificação muito tem sido estudada a fim de se estabelecer proporções ótimas de operação. Da Equação 3.1 temos o referente à influência da concentração de OD.

$$\mu = \mu_m \left[\frac{N_a}{N_a + K_n} \right] \left[\frac{OD}{OD + K_o} \right]$$

Onde:

OD = Oxigênio dissolvido (mg.L-1);

Ko = Constante de meia saturação (mgO₂.L-1).

Van Haandel e Marais (1999) atestam que baixas concentrações de oxigênio dissolvido no licor misto poderão favorecer o aparecimento de zonas com OD em excesso no interior dos sedimentos de lodo, limitando assim o processo da nitrificação no reator. Os mesmos sugerem então que uma concentração de 2 mgO₂/L seja suficiente para que ocorra a nitrificação em sistemas aeróbios.

3.12 RESPIROMETRIA

A respirometria consiste em uma técnica que avalia o desempenho dos processos biológicos a partir da taxa de consumo de oxigênio (TCO) exercida pelos microrganismos aeróbios, através de determinações da taxa de variação da concentração de OD em um dado período de tempo (SILVA FILHO, 2009).

Historicamente a respirometria se desenvolveu como uma alternativa para o teste da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que, devido ao tempo mínimo de incubação de cinco dias para obtenção do resultado, pouco tem sido utilizado.

Embora a taxa de consumo de oxigênio possa ser estabelecida manualmente, utilizando-se um medidor de oxigênio e um cronômetro, normalmente usam-se equipamentos específicos, desenvolvidos para este fim, e, geralmente, com algum grau de automação nas medições. Os respirômetros, então, são usados para determinar de alguma forma a taxa de consumo de oxigênio pela biomassa sob determinadas condições de alimentação de substratos.

A medição da TCO é de grande importância para o controle e o monitoramento de sistemas de lodo ativado, pois através dela é possível prover informações sobre a qualidade do afluente e do lodo ativado, assim como pode indicar a presença de elementos tóxicos no afluente que possa comprometer o desempenho do sistema (CATUNDA et al., 1998).

Normalmente se observa a TCO em um reator onde diferentes componentes de relevância (lodo, substratos, oxigênio e eventualmente poluentes tóxicos) para a medição são introduzidos. Este reator pode ser o próprio sistema de tratamento ou então uma batelada de lodo com adição de substratos e/ou compostos tóxicos.

Existem dois tipos de respirômetros que podem ser trabalhados, segundo Ros (1993), sua classificação se difere na sua admissão ou não de processos de trocas gasosas com o meio externo. Visando esta diferença, os respirômetros são classificados entre abertos e fechados.

Quando o respirômetro é do tipo aberto, este pode ser contínuo (aeração constante) ou semicontínuo (intervalos de aeração e não aeração). O método semicontínuo, segundo comparação feita por Ferreira (2002), indica ser mais preciso e mais utilizado para desenvolvimento de estudos em sistemas pequenos de lodo ativado (onde há ligamento e desligamento do sistema de aeração frequentemente) se estabelecido comparativo com o método contínuo, opção aparente para sistemas grandes (onde os aeradores não podem ser desligados frequentemente e têm a função de manter a massa de lodo em suspensão, além de efetuar a transferência de oxigênio do ar para a fase líquida).

A respirometria, associada às análises físico-químicas, atua como uma importante ferramenta para fornecer informações sobre parâmetros estequiométricos e cinéticos do processo de tratamento, que são dados fundamentais para o controle operacional de sistemas de tratamento de esgotos (FERREIRA et al., 2002).

CAPÍTULO IV

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas as técnicas, ferramentas e modos operatórios utilizados no sistema de reator biológico trabalhado. A pesquisa foi desenvolvida nas dependências da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), situada no município de Campina Grande – PB.

Os resultados apresentados neste trabalho partem da proposta primordialmente estudada e desenvolvida por Mota (2015) seguindo a mesma área de coleta de esgoto sanitário utilizado para desenvolvimento da pesquisa referenciada, captado no Interceptor Leste da rede coletora de esgoto da Bacia Depuradora, no bairro do Catolé.

4.1 SISTEMA OPERADO

O sistema experimental se compõe de dois reatores de lodo ativado em regime de bateladas sequenciais. Os reatores foram operados em escala piloto, todos com as mesmas concepções de projeto descritas segundo Mota (2015) e ilustrados abaixo na figura 4.1.

Figura 4.1 – Sistemas RBS operados em escala piloto.



Fonte: próprio autor.

4.1.1 Sistemas em escala piloto

“Na primeira etapa de operação dos sistemas foram construídos dois tanques cilíndricos em fibra de vidro, com 0,5 m de diâmetro, altura de 3,0 m, volume total de 580 L e volume útil de 500L. O tamanho dos reatores foi definido com base no pressuposto que volume excessivamente pequeno pode não ser representativo e que volume excessivamente grande eleva os custos operacionais. Todavia é necessário que certas dimensões, a exemplo da altura, tenham um valor igual ou próximo dos valores utilizados pelas unidades em grande escala, para permitir a obtenção de dados experimentais que possam ser usados com confiança em um projeto de sistema em escala real. Estas considerações colocam um limite inferior às dimensões das unidades. Outra consideração é que uma unidade não muito grande pode ser transportada para realizar o trabalho de obtenção de dados experimentais em diferentes lugares.

Os sistemas operados nesta etapa passaram por uma série de procedimentos iniciais antes do funcionamento efetivo dos mesmos. Primeiramente foi dedicado um tempo para construção e montagem dos sistemas, pois estes foram confeccionados por encomenda e a montagem foi toda realizada pela equipe de pesquisa e após a conclusão da primeira fase foram realizados alguns testes pré-operação, como verificação de estanqueidade dos reatores, tubos e válvulas.

Foi monitorado um sistema aeróbio de tratamento de esgoto doméstico, que possuía duas câmaras de reação, sendo uma mantida em ambiente aeróbio, mediante aeração para nitrificação e outra anóxica, sem aeração, para desnitrificação (N/D). ” (MOTA, 2015).

4.2 OPERAÇÃO DOS REATORES

Após a montagem e testes pré-operacionais foi inoculado lodo aeróbio no sistema, sendo este proveniente da aeração de esgoto doméstico armazenado. A partir daí foram iniciados os ciclos de tratamento.

Com a estabilização no funcionamento dos sistemas deve-se iniciar a descarga de lodo de excesso, sendo uma fração do volume de cada reator descarregada diariamente. A automatização das unidades de serviço foi feita seguindo um temporizador para cada etapa do tratamento dotando o sistema de temporizadores digitais (Figura 4.2) responsáveis singularmente por cada ciclo do regime de bateladas.

Figura 4.2 – Painel elétrico com temporizadores programados



Fonte: próprio autor

Seguindo a proposta de um reator RBS para remoção de matéria orgânica e nitrogênio segundo Silva Filho (2014), os reatores operaram com cinco fases ao longo do regime de bateladas, sendo elas:

- Alimentação: Uma batelada de esgoto é adicionada ao reator onde já se encontrava uma massa de lodo biológico;
- Sem aeração: Período no qual lodo e o esgoto entram em contato na ausência de oxigênio;
- Com aeração: Objetiva-se a remoção do material orgânico e material nitrogenado (função doo tratamento realizado). A redução do material orgânico se dá mediante o metabolismo da massa bacteriana enquanto a remoção de nitrogênio ocorre quando há nitrificação (oxidação de amônia para nitrato) e desnitrificação (redução do nitrato para nitrogênio molecular)
- Sedimentação: Separação entre efluente clarificado e lodo adensado por gravidade, para que o efluente possa ser descarregado livre de sólidos;
- Descarga do efluente: Após sedimentação o efluente tratado é descarregado e reinicia-se o ciclo.

Tabela 4.1 – Tempo definido para as etapas do processo na escala piloto

| Fase | N/D | | |
|---------------------|------------|------------|-------------------|
| | Tempo | Tempo | Unidade |
| Alimentação | 8 | 20 | min |
| Sem aeração | 60 | 40 | min |
| Aeração | 240 | 240 | min |
| Sedimentação | 43 | 40 | min |
| Descarte | 9 | 20 | min |
| Total | 360 | 360 | min |
| | 6 | 6 | h |
| | 4 | 4 | Ciclos/dia |

Fonte: Mota (2015).

A partir do modelo matemático testado por Mota (2015), foram considerados tempos de concentração curtos (Tabela 4.1), inviabilizando o método de passagem por gravidade e evidenciando a necessidade de utilização de um sistema com bombeamento.

4.3 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO

Para alimentação dos reatores, foram utilizadas bombas submersas, com vazão aproximada de 1.400 L/h (Figura 4.3).

Figura 4.3 – Bomba submersa utilizada para alimentação dos reatores



Fonte: Mota (2015).

4.4 SISTEMAS DE AERAÇÃO

Mota (2015) descreve sobre o sistema de aeração da seguinte forma:

“Quando se trabalha com reatores alimentados de forma contínua, a aeração do sistema também é contínua e o processo não tem interrupções. Todavia quando se trabalha com reatores alimentados de forma intermitente (bateladas) existem pausas de aeração entre um ciclo e outro. Utilizar um sistema de controle de aeração eficiente é requisito primordial para o sucesso do tratamento aeróbio”.

Nesta etapa da pesquisa foi utilizado soprador de fontes de três lóbulos como fonte de oxigênio para os reatores. Foi instalada uma unidade com as seguintes especificações: motor de 7.5KW-30KW, pressão máxima de funcionamento 9.8Kpa-78.4Kpa, com vazão máxima de ar de 15,5 m³ / min-12,01 m³ / min e velocidade de 1200 r / min. (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Equipamento soprador de fontes de três lóbulos



Fonte: próprio autor.

A distribuição do ar dentro dos reatores foi feita por ar difuso, com dois difusores planos com membrana micro perfurada de borracha e diâmetro de 150 mm, instalados em cada sistema (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Sistema de ar difuso por membrana



Fonte: Mota (2015)

4.5 DISPOSITIVO DE DESCARGA DO EFLUENTE

A última etapa do processo de tratamento é a descarga do efluente final, este deve apresentar condições em acordo às de projeto, aceitáveis no lançamento ou reuso do volume tratado. Nesta fase do ciclo é importante saber que não é ideal que o sistema gaste boa parte do tempo para esvaziar o reator, pois assim o início do novo ciclo também tardará.

Seguindo determinação apresentada por Mota (2015), foram utilizadas descarte de efluente bombas centrífugas de 0,5 HP, com vazão aproximada de 1.900 L/h (Figura 4.6), e estas se mostraram eficientes, levando em média 20 minutos para descarte do sistema N/D. A sucção da bomba estava na altura de 1,5 m do reator, sendo descartados 250 L de efluente de cada câmara de tratamento.

As bombas de descarte funcionaram em sua capacidade total para ter o menor tempo de descarga do efluente, sendo limitante apenas o período de sedimentação do lodo para que esta pudesse ser ligada.

Figura 4.6– Bomba de descarte do efluente.



Fonte: Mota (2015).

Foi também utilizada válvula solenoide na linha de descarte (Figura 4.7) para favorecer a entrada de ar durante o momento da alimentação dos reatores, evitando assim o esvaziamento destes por sifonação.

Figura 4.7 – Válvula para entrada de ar na tubulação de descarte



Fonte: Mota (2015).

Partindo da premissa de modelo matemático proposta por Van Haandel e Marais (1999) para sistema com nitrificação e desnitrificação em câmaras separadas, buscou-se

determinar qual a vazão de recirculação ideal para que o efluente do sistema N/D saísse com concentrações de nitrogênio próximas a zero.

Após a estabilização no funcionamento dos sistemas deve-se iniciar a descarga de lodo de excesso, sendo descartada diariamente uma fração do volume de licor misto de cada reator.

4.6 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO

A recirculação de licor misto do sistema N/D é um ponto de fundamental importância para o tratamento com câmaras separadas. Através do sistema de recirculação, pode-se manipular as concentrações de lodo nos reatores, as taxas de nitrificação e desnitrificação objetivadas, podendo-se assim otimizar o tratamento para remoção de nitrogênio ao final do processo.

Para controle da vazão de recirculação do sistema N/D, em escala de bancada, foi utilizada bomba dosadora eletrônica de deslocamento positivo (Figura 4.9), com vazão máxima de 600 mL/min, na qual foi ajustado o valor da vazão de recirculação, de acordo com o modelo matemático desenvolvido e as análises físico- químicas das concentrações de nitrogênio ao longo dos ciclos de tratamento.

Através das vazões impostas e associadas às análises laboratoriais, é possível obter os perfis de comportamento do sistema ao longo da batelada e determinar qual a melhor vazão para que as taxas de nitrificação e desnitrificação se igualem.

Figura 4.8 – Bomba de recirculação de licor misto no sistema N/D



Fonte: Próprio autor.

4.7 MODELAGEM MATEMÁTICA PARA O SISTEMA N/D

Foi desenvolvido, em estudos anteriores, um modelo matemático para o sistema N/D no qual, através de valores de entrada do reator (dimensões, área, volume, vazão, etc.) e do lodo (constantes cinéticas, tempo de retenção celular, concentração no reator, sedimentabilidade, etc.) podem ser estimadas as taxas de nitrificação e desnitrificação do sistema, para cada vazão de recirculação adotada, com base na teoria proposta por van Haandel e Marais (1999). A partir da taxa de recirculação no sistema N/D é possível definir alguns critérios de projeto que são imprescindíveis para o bom funcionamento do sistema com zonas dedicadas. Na medida em que a taxa de recirculação aumenta, aumenta também a velocidade ascendente do líquido na zona anóxica, uma vez que:

$$v = \frac{v_0}{A} = v_0 * e^{(-kXt)}_2$$

Onde:

v = Velocidade ascensional na zona anóxica (m/h);

Q = Vazão de recirculação (L/h);

v_0 = Velocidade de sedimentação (m/h);

K = Constante de sedimentabilidade (L/g);

A = Área da câmara anóxica (m²);

Xt_2 = Concentração de STS na zona anóxica (g/L).

Através da modelagem matemática proposta em literatura citada acima, podemos calcular valores teóricos para:

- A concentração de lodo na zona não aerada;
- Valores das concentrações médias de lodo ativo (X_a) e de nitrificantes (X_n);
- Valores das concentrações médias nas zonas, aeróbia e anóxica;
- Taxas de nitrificação (r_N) e desnitrificação (r_D).

A condição básica do sistema é que a produção de nitrato deve ser igual à sua remoção, ou seja, $rN.V1 = rD.V2$. Como os volumes das câmaras são iguais então $rN = rD$. Na medida em que a taxa de recirculação aumenta, aumenta rN e diminui rD . Portanto é possível calcular teoricamente qual é a taxa de recirculação que valida a premissa: $rN = rD$.

A avaliação do modelo desenvolvido deve ser realizada através de análises físico-químicas, comparando, assim, se a teoria utilizada corresponde com os resultados teóricos.

CAPÍTULO V

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados do modelo matemático proposto, testes práticos e análises laboratoriais específicas para otimização do sistema de remoção. Objetivou-se analisar a configuração do RBS, quanto à eficiência de remoção de nitrogênio com nitrificação e desnitrificação em reatores com câmaras distintas.

5.1 PROBLEMAS OPERACIONAIS

No percurso do processo de estudo foram detectados desde alguns fatores de imprecisão operacional até erros de automação e falhas no equipamento que levaram o sistema a um percentual de remoção de nitrogênio abaixo do encontrado ao final da análise matemática.

Na primeira montagem considerou-se necessária a implantação de uma tubulação de recirculação adicional, visto que para o sistema de bombeamento utilizado tornou-se frequente o esbarrotamento de lodo, o que prejudicou as análises iniciais por se perder a precisão de parâmetros como o volume de cada reator e a idade do lodo, tornando as análises laboratoriais não-representativas do sistema idealizado.

Entupimentos dos ramais de recirculação, causados por impurezas no volume recirculado, causaram imprecisões nas medições de vazão de recirculação do totalizador, sendo necessária a interrupção do sistema seguida de remoção manual das ligações do ramal para correção do problema. De maneira similar, o hidrômetro utilizado também foi causa de falhas na recirculação devido a entupimentos, fazendo-se necessária a substituição do mesmo. Como resultado, em todas as ocasiões em que houve entupimento do sistema de recirculação, um reator foi sobrecarregado e o volume de lodo perdido ao superar a capacidade de armazenamento do reator.

A falta de um dispositivo que possibilitasse a vibração do licor misto, possibilitando que o ar concentrado abaixo de camadas de lodo encontrasse caminho para fora do reator sem que este volume de ar acabasse causando a expulsão do mesmo também causou perdas para o sistema por esbarrotamento.

Em ocasião isolada, a bomba de descarte do reator nitrificante sobrecarregou e entrou em processo de combustão, sendo necessária a interrupção do sistema RBS para análise do problema.

Outros problemas operacionais como a falta de equipamentos específicos na montagem do sistema ocasionaram falhas, reduzindo a efetividade do tratamento, como por exemplo a bomba de alimentação do sistema, projetada para operar com água limpa e que portanto não possuía um sistema com gradeamento ou triturador para lidar com as impurezas do afluente e, logo, apresentou defeitos pelos quais foi necessária a interrupção do funcionamento do sistema.

Devido ao tempo limitado de estudo, o sistema não teve tempo suficiente para estabilizar, logo a remoção bacteriana apresentou remoção média de 20% onde esperava-se um percentual acima de 90%.

Por fim, após análises laboratoriais e teóricas, constatou-se a necessidade de operar o sistema para uma vazão de recirculação média de 270 L/h para que as concentrações de lodo se aproximassem em ambos reatores, porém, tendo em vista o curta período de tempo restante e as imprevisões do sistema bacteriano, optou-se por direcionar os rumos desta pesquisa para caráter comparativo com outros sistemas similares estáveis e em operação.

5.2 SIMULAÇÃO DE PARÂMETROS PARA O SISTEMA N/D

Foi realizado o estudo empírico das condições ideais de funcionamento do sistema com base na planilha modelo, elaborada no Capítulo 4, de acordo com a teoria de lodo ativado segundo van Haandel e Marais (1999). A base do modelo é que a capacidade de produção de nitrato na zona aerada do sistema deve ser igual à capacidade de remoção de nitrato na zona anóxica, tendo-se a taxa de recirculação entre as duas zonas para equilibrar estas capacidades (Figuras 5.1 e 5.2).

Através de uma simulação foi possível estimar qual deveria ser a divisão da massa de lodo do sistema, mediante a vazão de recirculação empregada (Q_r), para que houvesse a situação de equilíbrio na qual a produção de nitrato na zona aerada fosse igual à remoção de nitrato na zona não aerada, ou seja, na qual a capacidade de nitrificação fosse igual à capacidade de desnitrificação. Sob as condições das Figura 5.1 e Tabela 5.1, as taxas r_N e r_D se igualam quando $Q_r = 270$ L/h. Nesta condição $r_N = r_D = 16$ mg/L/h. Num sistema com 500 L, portanto, a capacidade de remoção de nitrogênio é $250 \cdot 16 = 4000$ mgN/d de afluente para uma vazão presumida de 270 L/h.

Figura 5.1 - Parâmetros básicos de funcionamento do sistema

| Dados básicos do reator: | |
|----------------------------|-----------------------|
| D = | 0,5 m |
| A = | 0,1963 m ² |
| Vr = | 500 L |
| Q = | 2000 L/dia |
| Rs = | 10 dia |
| Sedimentabilidade do Lodo: | |
| k = | 0,35 L/g |
| v _o = | 41 m/h |

Fonte: próprio autor

Onde:

D = Diâmetro dos reatores;

A = Área da seção dos reatores;

Vr = Volume dos reatores;

Q = Volume tratado por dia;

Rs = Idade do lodo;

k = Constante de sedimentabilidade;

V_o = Volume de sedimentabilidade.

Tabela 5.1 – Modelo de planilha desenvolvida para o sistema N/D.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| Qr L/h | v m/h | ln(v/v _o) | Xt2 g/L | Xt1 g/L | Xt2/Xt1 | rN mgN/L/h | rD mgN/L/h | rN-rD |
| 250 | 1,27 | -3,47 | 9,92 | 3,99 | 2,48 | 15,01 | 15,91 | -0,90 |
| 260 | 1,32 | -3,43 | 9,81 | 4,11 | 2,39 | 15,43 | 15,73 | -0,30 |
| 270 | 1,38 | -3,39 | 9,70 | 4,21 | 2,30 | 15,83 | 15,55 | 0,28 |
| 280 | 1,43 | -3,36 | 9,59 | 4,32 | 2,22 | 16,22 | 15,39 | 0,83 |
| 290 | 1,48 | -3,32 | 9,49 | 4,42 | 2,15 | 16,60 | 15,23 | 1,37 |
| 300 | 1,53 | -3,29 | 9,40 | 4,52 | 2,08 | 16,96 | 15,07 | 1,89 |
| 310 | 1,58 | -3,26 | 9,30 | 4,61 | 2,02 | 17,31 | 14,92 | 2,39 |

Ideal

Fonte: próprio autor.

Onde:

Coluna A = Vazão de recirculação;

Coluna B = Velocidade da fase líquida = Velocidade de sedimentação do lodo na zona anóxica;

Coluna C = Logaritmo natural da velocidade ascensional sobre a velocidade de sedimentação;

Coluna D = Calcula concentração de lodo (X_t) na zona anóxica com a equação de Vesilind;

Coluna E = Calcule concentração de lodo (X_t) na zona aeróbia pela massa de lodo e a massa na zona anóxica;

Coluna F = Calcula a proporção entre lodo na zona anóxica e aeróbia;

Coluna G = Calcula a taxa de nitrificação;

Coluna H = Estima a taxa de desnitrificação;

Coluna I = Relação entre r_N e r_D ;

Quando $r_N=r_D$, a recirculação é adequada: a taxa de produção de nitrato é igual a taxa de remoção de nitrato.

5.3 ANÁLISE LABORATORIAL DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS ENCONTRADOS

Estabeleceu-se a operação do sistema para os valores calculados partindo do referencial teórico, porém, como citado acima, o sistema não teve sucesso em sua estabilização no curto tempo que operou sob estes parâmetros. Tendo em vista que o sistema é fundamentalmente ligado à biomassa em todos os aspectos funcionais, o resultado obtido reflete a sua não-estabilização, com percentuais de remoção baixos se comparado a outros sistemas operantes.

Realizaram-se os testes laboratoriais de sólidos em suspensão, nitrogênio e DQO que seguiram manuais de execução propostos pela literatura contida no livro Standard Methods, 22ed., os resultados estão apresentados na Tabela 5.2 (teste para amônia), tabela 5.3 (teste para nitrito), tabela 5.4 (teste para nitrato) e Tabela 5.5 (teste para DQO). Como esperado, o sistema apresentou baixos percentuais de remoção.

Tabela 5.2 – Resultados dos testes laboratoriais.

| VARIÁVEIS ANALISADAS | CONCENTRAÇÕES E.B. CONDOMÍNIO mg/L | CONCENTRAÇÕES APÓS N/D mg/L | REMOÇÃO (%) |
|---------------------------------|---|--|------------------------|
| AMÔNIA (23/10/2018) | 86,9 | 71,7 | 18% |
| AMÔNIA (20/11/2018) | 97,1 | 30,4 | 69% |
| NITRITO (23/10/2018) | | 0,15 | |
| NITRITO (20/11/2018) | – | 0,10 | – |
| NITRATO (23/10/2018) | – | 0,04 | – |
| NITRATO (20/11/2018) | – | 0,61 | – |
| DQO (23/10/2018) | 774 | 329 | 57,5 |
| DQO (20/11/2018) | 399 | 95 | 76,2 |

Onde:

EB. CONDOMÍNIO = Esgoto bruto condominial;

N/D = Valor presente no sistema após tratamento.

É notável que, embora o sistema apresente um avanço nos percentuais de remoção de amônia e da demanda química de oxigênio após tratamento, as concentrações obtidas para

nitrito e nitrato são consideravelmente baixas para um sistema de lodo ativado em reatores de bateladas sequenciais que se encontre em um grau de trabalhabilidade estável. É possível observar porém, ao analisar a evolução do sistema, que o mesmo atende à premissa proposta no que se refere ao avanço no processo de estabilização da biomassa para remoção de nitrogênio e matéria orgânica.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste estudo experimental resultou em algumas importantes conclusões de aplicabilidade prática, relativas à automatização de reatores biológicos e ao desempenho e operação de sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais. Assim, conclui-se que:

Para o dimensionamento e controle dos reatores, foi-se constatado que para um funcionamento ideal devemos manter, dadas dimensões estabelecidas, uma concentração de lodo, X_t , próxima de 9,7 g/L na zona desnitrificante e 4,2 na zona nitrificante. Deve-se manter a vazão de recirculação entre 270 e 280 L/h para que a taxa de produção e remoção de nitrato no sistema se assemelhem;

Embora limite o tempo de tratamento o controle estático dos reatores estudados atende de forma satisfatória a automatização dos sistemas;

O sistema possui bom potencial de remoção de nitrogênio, desde que os critérios básicos de projeto sejam atendidos. Este tipo de sistema é uma boa opção para o tratamento de águas residuárias, visando remoção de material orgânico e nitrogênio e tem aplicabilidade para situações que visam a obtenção de um efluente propício para irrigação agrícola, lançamento em corpos receptores (dada a devida atenção para a concentração de fósforo presente), reutilização de volume de efluente pela indústria, dentre outros.

Verifica-se que o sistema operando em câmaras separadas possui potencial de tratamento favorável para remoção de nitrogênio, embora não se tenha resultado experimental satisfatório do sistema.

A montagem em câmaras distintas possibilita uma facilitação no que diz respeito aos fatores críticos, visto que não necessita-se controlar a taxa de oxigenação para que os processos de nitrificação de desnitrificação se dêem simultaneamente, tornando o sistema estudado dotado de uma aplicabilidade maior se comparado com sistemas que realizam ambos processos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. S. **Remoção de Nitrogênio de Efluente Industriais e Novas Alternativas de Tratamento.**, 2013. UFRS.
- ASSOCIAÇÃO DE SAÚDE PÚBLICA AMERICANA- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22. ed. Washington: APHA, 2012.
- CATUNDA, S. Y. C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C. **Métodos alternativos para medição da taxa de consumo de oxigênio em sistemas de lodo ativado.**, 1998.
- FERREIRA, A. F. **Uso da respirometria na avaliação da influência do pH na capacidade ativa das bactérias nitrificantes.**, 2002. UFCG.
- HOCHMAN, G. **A era do saneamento: as bases da política de saúde pública no Brasil.** São Paulo, Hucitec/Anpocs., 1998.
- HUBERMAN, L. **História da riqueza do Homem.**, 21. ed., 1986.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 3. ed. ABES., 1995.
- MOTA, L. S. **Automatização e otimização de sistemas de lodo ativado em regime de bateladas sequenciais visando à remoção biológica de nitrogênio.** UFCG., 2015.
- OREN, A. **Diversity of halophilic microorganisms: Environments, phylogeny, physiology and applications.** *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology.*, 2002.
- ROS, M. **Respirometry of activated sludge.** Technomic., 1993.
- SILVA FILHO, H. A. **Nitrificação em Sistemas de Lodo Ativado.**, 2009.
- VAN HAANDEL, A. C. **Nitrification and Denitrification Kinetics in the Activated Sludge Process.**, 1981. University of Cape Town.
- _____ ; KATO, M.; VON SPERLING, M. Remoção biológica de nitrogênio: Aplicações para o sistema de lodo ativado. In: F. S. B. Mota; M. Von Sperling (Eds.); **Nutrientes de Esgoto Sanitário: Utilização e remoção.**, 2009. Rio de Janeiro: ABES.
- _____ ; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação.**, 1999.
- _____ ; VAN DER LUBBE, J. G. M. **Handbook of Biological Wastewater Treatment: Design and Optimisation of Activated Sludge Systems.** IWA Pub., 2012.

_____, J. **Handbook Biological Waste Water Treatment-Design and Optimisation of Activated Sludge Systems**. Webshop Wastewater Handbook., 2007.

Nitrificação in **Artigos de apoio Infopédia**. Porto: Porto Editora, 2003-2018.