

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE LODO SOBRE
A CAPACIDADE DE OXIGENAÇÃO DO AERADOR E A
INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO SAL SOBRE
A CAPACIDADE METABÓLICA DO LODO**

ANDREZA COSTA MIRANDA

Campina Grande
Data: FEVEREIRO / 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE LODO SOBRE A CAPACIDADE DE
OXIGENAÇÃO DO AERADOR E A INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO SAL
SOBRE A CAPACIDADE METABÓLICA DO LODO**

ANDREZA COSTA MIRANDA

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2012

ANDREZA COSTA MIRANDA

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE LODO SOBRE A CAPACIDADE DE
OXIGENAÇÃO DO AERADOR E A INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO SAL
SOBRE A CAPACIDADE METABÓLICA DO LODO**

Dissertação apresentada ao Curso
de Mestrado em Engenharia Civil e
Ambiental da Universidade Federal
de Campina Grande – UFCG, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientador: Adrianus van Haandel

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEG

M672i Miranda, Andreza Costa
 Influência da concentração de lodo sobre a capacidade de oxigenação do aerador e a influência da concentração do sal sobre a capacidade metabólica do lodo / Andreza Costa Miranda. - Campina Grande, 2012.
 76 f.: il. col.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
 Orientador: Prof. Dr. Adrianus Van Haandel.
 Referências.

 1. Respirimetria. 2. Constante Transferência de Aeração (K_{La}). 3. Efluente Salino. I. Título.

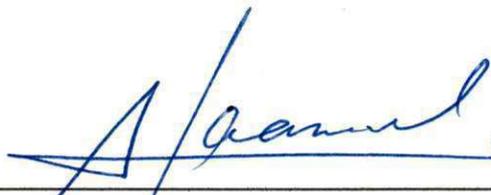
CDU 628:556 (043)

ANDREZA COSTA MIRANDA

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE LODO SOBRE A CAPACIDADE DE
OXIGENAÇÃO DO AERADOR E A INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO SAL
SOBRE A CAPACIDADE METABÓLICA DO LODO

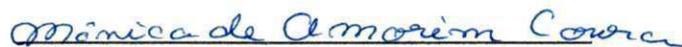
Dissertação Aprovada em 27 de fevereiro de 2012

COMISSÃO EXAMINADORA:



ADRIANUS C. VAN HAANDEL – PhD.

Orientador - UFCG



MÔNICA AMORIM COURA – Dr^a.

Examinadora Interna – UFCG



WILTON SILVA LOPES – Dr.

Examinador Externo – UEPB

AGRADECIMENTOS

A minha querida mãe Marlene, eterna batalhadora, que durante toda a minha vida deu força e incentivo para os meus estudos. Pelo amor e dedicação que você me ofereceu durante todos esses anos;

A meu esposo, Demetrio Gabriel, amigo de todas as horas, por seu amor, compreensão e incentivo, tão fundamentais em cada momento da nossa caminhada;

Agradecimento especial ao orientador Adrianus van Haandel, pelo apoio constante, pelas broncas, e pela compreensão das minhas limitações, orientando-me sempre para a condição deste trabalho, contribuindo sobre maneira para o meu crescimento profissional.

A Nélia Luna, pela dedicação na organização do laboratório e pelos incentivos e suas orações que Deus prontamente atendeu, ajudando-me nessa caminhada;

Aos colegas pesquisadores do laboratório (mestrandos, técnicos e PIBIC's) pela troca de informações e pela maravilhosa convivência no período da pesquisa.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelo embasamento teórico que contribuíram para a minha formação e amizade.

A banca examinadora Mônica Amorim Coura e Wilton Silva Lopes.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa.

Finalmente, agradeço a todos os amigos e familiares que contribuíram e apoiaram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

MIRANDA, A. C. **Influência da concentração de lodo sobre a capacidade de oxigenação do aerador e a influência da concentração do sal sobre a capacidade metabólica do lodo.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

O consumo de energia elétrica é um dos principais fatores a ser considerado nos custos operacionais de um sistema de lodo ativado, isso porque os motores elétricos geralmente utilizados demandam energia para garantir a aeração do licor misto. Nesta pesquisa foi avaliada a influência da concentração de lodo (Biomassa) sobre a capacidade de oxigenação do aerador. A taxa de transferência de oxigênio foi determinada em escala laboratorial utilizando o método dinâmico, na presença de microrganismos, usando a respirometria. Nesse caso, o aerador era ligado ao respirômetro, que controlava aeração. O respirômetro ativava o aerador quando a concentração de OD atingia um limite inferior estabelecido, desativando-o quando esta atingia um limite superior também estabelecido, iniciando, assim, ciclos de períodos com e sem aeração. Os resultados revelaram em sistemas tendo licor misto com alta concentração de lodo de aproximadamente de 16 gSST/L o consumo de energia era de no mínimo 2,5 vezes maior que em sistemas com concentração de lodo em torno de 5 gSST/L. Outro ponto em estudo nesta dissertação foi avaliar o efeito da alta concentração de sais na atividade metabólica do lodo. A capacidade metabólica foi medida através das constantes cinéticas: taxa máxima de crescimento e taxa de utilização máxima do material orgânico, os sais foram agregados ao efluente gradativamente na forma de cloreto de sódio (NaCl). Para se determinar essas taxas foi usado o método respirométrico na determinação da taxa de consumo de oxigênio. Os resultados demonstraram que o aumento do teor de sal provocou uma perda na atividade metabólica de até 60%.

PALAVRAS-CHAVES: Respirometria, Constante transferência de aeração (K_{la}), Efluente salino.

ABSTRACT

MIRANDA, A. C. Influence of concentration of sludge on the oxygen capacity of aerators and the influence of salt concentration on the metabolic capacity of the sludge. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

The power consumption is a major factor to be considered in operational costs for an activated sludge system, this because the electric motors commonly used energy demand to ensure aeration of mixed liquor. In this study we assessed the influence of the concentration of sludge (biomass) on the oxygen capacity of the aerator. The oxygen transfer rate was determined in laboratory scale using the dynamic method, in the presence of microorganisms, using respirometric. In this case, the aerator was connected to the respirometer that controlled aeration. The respirometer activated the aerator when the DO concentration reached a lower limit set by disabling it when it reached an upper limit also established, beginning thus cycles of periods with and without aeration. The results revealed in systems with mixed liquor sludge with high concentration of approximately 16 gSST/L o power consumption was at least 2 times higher than in systems with sludge concentration of around 5 gSST/L. Another study in this thesis was to evaluate the effect of high salt concentration of the metabolic activity of the sludge. The metabolic capacity was measured by means of kinetic constants: maximum growth rate and maximum rate of utilization of organic material, the salts were gradually added to the effluent in the form of sodium chloride (NaCl). To determine these rates respirometric method was used in determining the rate of oxygen consumption. The results showed that the increase in salt caused a loss in the metabolic activity of up to 60%.

KEYWORDS: Respirometry, transfer constant aeration (K_{la}), saline effluent.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1:	Representação esquemática do sistema de Lodos Ativados.....	6
Figura 3.2:	Representação esquemática dos processos metabólicos num ambiente aeróbio.....	10
Figura 3.3:	Representação esquemática do ciclo de operação do RBS.....	12
Figura 3.4:	Material suporte utilizados no MBBR (Carriers).....	14
Figura 3.5:	Modelos de suportes utilizados em MBBR.....	14
Figura 3.6:	Movimentação circular dos suportes MBBR.....	15
Figura 3.7:	Sistema de aeração por ar difuso num reator aeróbio.....	21
Figura 3.8:	Resistências associadas ao transporte de oxigênio.....	23
Figura 4.1:	Esquema do sistema montado para realizar os testes respirométrico.....	37
Figura 4.2:	Exemplo de um respirograma obtido em um teste com o lodo em diferentes concentrações de SST, para a determinação da constante de transferência de aeradores.....	40
Figura 4.3:	Exemplo da fase de estimativa inicial dos parâmetros de ajuste...	41
Figura 4.4	Respirograma obtido em um teste com diferentes concentrações de NaCl, para a determinação da constante de transferência de aeradores.....	42
Figura 5.1:	Respirograma obtido durante um teste respirométrico na determinação da constante de aeração.....	48
Figura 5.2:	Simulações para diferentes valores da concentração de lodo.....	50
Figura 5.3	Simulações para diferentes concentrações de lodo (1,7 a 0,5/l) para determinação do K_{la}	56
Figura 5.4:	Relação entre a capacidade de oxigenação e a concentração de SST numa batelada de lodo ativado.....	57
Figura 5.5:	Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado.....	58

Figura 5.6:	Respirogramas típicos dos testes de TCO para determinação da atividade metabólica das bactérias heterotróficas em diferentes concentrações de NaCl.....	59
Figura 8.1:	Comportamento do respirograma do teste T2.....	70
Figura 8.2:	Comportamento do respirograma do teste T3.....	71
Figura 8.3:	Comportamento do respirograma do teste T4.....	71
Figura 8.4:	Comportamento do respirograma do teste T5.....	72
Figura 8.5:	Comportamento do respirograma do teste T6.....	73
Figura 8.6:	Comportamento do respirograma do teste T7.....	73
Figura 8.7:	Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T1.....	74
Figura 8.8:	Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T2.....	75
Figura 8.9:	Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T3.....	75
Figura 8.10:	Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T4.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1:	Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} para a concentração de lodo de 13,53 g/l.....	51
Tabela 5.2:	Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} para a concentração de lodo de 10,05 g/l.....	52
Tabela 5.3:	Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} para a concentração de lodo de 7,8 g/l.....	52
Tabela 5.4:	Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} para a concentração de lodo de 6,87 g/l.....	53
Tabela 5.5:	Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} para a concentração de lodo de 5,27 g/l.....	54
Tabela 5.6:	Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo.....	61
Tabela 8.1:	Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T2	70
Tabela 8.2:	Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T3.....	71
Tabela 8.3:	Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T4.....	72
Tabela 8.4:	Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T5.....	72
Tabela 8.5:	Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T6.....	73
Tabela 8.6:	Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T7.....	74
Tabela 8.7:	Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo a partir do respirograma gerado.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação brasileira de engenharia sanitária
bh	Constante de decaimento de lodo ativo $0,24(1,04)^{(t-20)} d^{-1}$
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
CO	Capacidade de oxigenação
CO _{max}	Capacidade de oxigenação máxima, massa de oxigênio transferido por unidade de tempo e por unidade de volume
CPU	Central Processing Unit
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mgO ₂ .L ⁻¹)
DO ₂	Déficit de OD
DQO	Demanda Química de Oxigênio (mgO ₂ .L ⁻¹)
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários
f	Fração de lodo ativo decaído e transformado em residuo endógeno: 0,2
f _{ana}	Fração anabolizada da DQO metabolizada
f _{cat}	Fração da DQO catabiolizada
f _{cv}	Razão DQO/SVS em lodo orgânico = 1,50 mgDQO/mgSVS
K _{la}	Constante de transferência de oxigênio (h ⁻¹);
K _{ms}	Constante de utilização de substrato
MBBR	Reator de Biofilme de Leito Móvel
MBR	Membrane Bio Reactor
mS _s	Massa de DQO adicionado por litro de reator.
mTCO _{exo}	Massa de oxigênio consumido para respiração exógena por litro de reator
OD _{cr}	Concentração de oxigênio dissolvido crítico (mgO ₂ .L ⁻¹)
OD _{eq}	Concentração de oxigênio dissolvido de equilíbrio (mgO ₂ .L ⁻¹)
OD _l	Concentração real de oxigênio dissolvido no tanque de aeração
OD _{max}	Concentração de oxigênio dissolvido de referência superior (mgO ₂ .L ⁻¹)

OD_{min}	Concentração de oxigênio dissolvido de referência inferior ($mgO_2.L^{-1}$)
OD_0	Concentração inicial de O_2 , ($mgO_2.L^{-1}$)
OD_s	Concentração de oxigênio dissolvido de saturação
RBS	Reator de bateladas sequenciais
r_{max}	Taxa máxima de consumo do substrato ($mgS.L^{-1}.h^{-1}$)
S	Concentração do substrato ($mg.L^{-1}$)
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SST	Sólidos Suspensos Totais ($mgSST.L^{-1}$)
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis ($mgSSV.L^{-1}$)
TCO_{end}	TCO endógena
TCO_{exo}	TCO exógena
TCO_{max}	TCO máxima
X_a	Concentração das bactérias heterotróficas (lodo ativo – $mg.L^{-1}$)
Y_{ae}	Coefficiente de rendimento das bactérias heterotróficas ($0,45 mgX_a * mgDQO^{-1}$)
Δt	Varição do tempo (h)
μ_m	Taxa de crescimento específica máxima (d^{-1})

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	OBJETIVO GERAL.....	17
2.1	Objetivos específicos.....	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Sistemas aeróbios.....	18
3.2	Microrganismos em sistema de lodo ativado.....	21
3.3	Metabolismo bacteriano.....	22
3.4	Lodo ativado em bateladas sequenciais.....	23
3.5	Técnicas de tratamento mais recentes.....	25
3.5.1	MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor.....	26
3.6	Análise crítica do sistema MBBR.....	28
3.7	Influência da concentração de sólidos na transferência de oxigênio.....	30
3.7.1	Influência do OD na remoção do substrato.....	31
3.7.2	Influência do OD na capacidade metabólica do lodo.....	32
3.7.3	Influência do OD na sedimentabilidade do Lodo.....	32
3.8	Aeração em reatores biológicos.....	32
3.8.1	Fundamentos.....	32
3.8.2	Sistemas de aeração.....	33
3.8.3	Transferência de oxigênio em sistemas de lodo ativado.....	34
3.9	Métodos para coeficiente global de transferência de oxigênio (K_{la}).....	37
3.10	Influência de substâncias tóxicas sobre o reator biológico.....	38
3.10.1	Efluente salino e reator biológico.....	39
3.11	Respirometria.....	41
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1	Caracterização e local da pesquisa.....	43
4.2	Material.....	43
4.2.1	Descrição do sistema de lodo ativado.....	43
4.2.2	Operação do sistema de lodo ativado para geração do lodo.....	44
4.3	Testes respirométricos.....	45
4.4	Determinação da CO e da constante de transferência de aeração.....	46
4.4.1	Capacidade de Oxigenação (CO).....	46
4.4.2	Constante de transferência de aeração (K_{la}).....	47
4.5	Equipamentos utilizados no teste respirométrico.....	49

4.6	Ensaio respirométrico na determinação da Capacidade de Oxigenação.....	50
4.7	Influência do sal (NaCl) sobre o metabolismo heterotrófico aeróbio.....	56
4.8	Determinação da Capacidade metabólica de bactérias heterotróficas.....	56
4.8.1	Determinação da concentração de lodo ativo.....	57
4.8.2	Determinação da fração catabolizada.....	58
4.8.3	Determinação da taxa de utilização específica máxima do substrato solúvel (K_{ms}).....	58
4.8.4	Determinação da taxa de crescimento das bactérias heterotróficas.....	59
5.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
5.1	Introdução.....	60
5.2	Determinação da capacidade de aeração do aerador em diferentes concentrações de lodo.....	60
5.3	Determinação da capacidade de aeração do aerador em diferentes concentrações de sal (NaCl).....	69
5.4	Influência do sal (NaCl) sobre a atividade metabólica do lodo.....	71
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	76
6.1	Conclusões.....	76
6.2	Recomendações.....	78
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
8.	APÊNDICE.....	83

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto sanitário ou industrial tem como meta reduzir o grau de impurezas dos produtos finais, para que eles possam ser devolvidos de forma adequada ao meio ambiente, ajustando suas características físicas, químicas e biológicas, de tal maneira que seu uso ou disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades ambientais regulamentadoras.

Existem diversas alternativas para o tratamento de esgoto, que se aplicam processos biológicos e/ou físico-químicos, contudo atualmente quase todas as estações são projetadas com base em processos biológicos, sejam eles em ambientes anaeróbios, anóxicos ou aeróbios.

Entre esses processos, o mais amplamente utilizado em tratamento de água residuária é o sistema de lodo ativado. Este tem como configuração básica um reator aerado (precedido, ou não, de um decantador primário) e um decantador secundário. O princípio do funcionamento deste sistema é que se mantenha uma população bacteriana no reator aerado, e se forneça oxigênio em quantidade suficiente para que esta biomassa possa metabolizar o material orgânico presente no afluente.

O processo de lodo ativado é uma tecnologia utilizada tanto para tratamento de esgotos domésticos, como industriais face à boa qualidade do efluente gerado com baixas concentrações de DBO, DQO, sólidos em suspensão e a possibilidade de remoção de nutrientes. Entretanto o custo da operação deste processo é elevado, pois um dos fatores que mais contribui é a energia necessária para aeração.

Por definição, para oxidar 1 kg de matéria orgânica (expressa como DQO) é necessário 1 kg de oxigênio. Por outro lado, para transferir 1 kg de oxigênio do ar para o licor misto ou conteúdo do reator (que é uma mistura de lodo e líquido) é necessário, aproximadamente, uma quantidade de energia de 1KWh, dependendo da eficiência do sistema de aeração.

Nos sistemas de lodos ativados a finalidade do uso do oxigênio é a oxidação de materiais que se encontram na água residuária. Geralmente as bactérias obtêm

novo material celular e a oxidação de parte da própria massa celular dos microrganismos. Para distinguir estas duas formas diferentes, na utilização do oxigênio, fala-se em respiração exógena para a oxidação de material extracelular e respiração endógena para a oxidação de material intracelular da massa bacteriana.

Recentemente foram introduzidos métodos, que permitem operar o sistema de lodo ativado com uma concentração de lodo muito maior que o sistema convencional. Um destes métodos é o uso de meio suporte sobre o qual um filme fixo de massa bacteriana se desenvolve. Os suportes para crescimento do biofilme podem receber configurações de leito fixo (biomassa imobilizada) e de leito móvel (MBBR - moving biological bed reactor), os quais oferecem vantagem em permitir alta concentração de lodo, sendo possível reduzir o volume deste sistema de tratamento, uma vez que a massa de lodo necessária para efetuar o tratamento é constante independente do tipo de sistema de lodo ativado. Por outro lado, a alta concentração de lodo nestes sistemas dá ao lodo uma maior viscosidade que por sua vez pode dificultar a transferência de oxigênio, ou seja, a energia por unidade de massa de oxigênio transferido pode aumentar. Portanto a concentração elevada de lodo pode ocasionar um alto consumo de energia de aeração. Nos sistemas convencionais de lodo ativado este fator é responsável por mais de 50% dos custos operacionais e nos sistema com alta concentração de lodo esta porcentagem pode ser mais elevada.

Outro fator de grande interesse em sistema de lodos ativados é a presença da concentração de sais, que pode afetar o desempenho do tratamento. A importância da compreensão do efeito da presença de sais no tratamento biológico se deve ao fato de vários tipos de atividades industriais produzirem efluentes salinos. Os maiores problemas encontrados no tratamento biológico de efluentes salinos são: limites na adaptação de culturas convencionais, redução na taxa de degradação dos substratos e aumento do teor de sólidos suspensos no efluente final. Estes problemas podem ser avaliados com a atividade metabólica do lodo, através da determinação da taxa de consumo de oxigênio (TCO), a qual pode ser medida em teste respirométrico.

A presente dissertação do mestrado se fundamenta numa investigação experimental, que avalia a influência da concentração de lodo sobre a capacidade

de oxigenação de aeradores e a influência da concentração de sais sobre a capacidade metabólica do lodo. Para tal foram realizados testes respirométricos, utilizando-se o respirômetro Beluga S4.0C. Um aerador foi ligado ao respirômetro, o qual aeração era controlada pelo software que acompanha o equipamento. Na determinação da constante global de transferência do aerador (K_{la}), utilizava-se o lodo concentrado num reator de batelada em escala de laboratório, que tem um aerador fixo (e constante). Determinava-se a concentração máxima de OD no licor misto quando a aeração era aplicada, em seguida a aeração era interrompida e determinava-se a TCO durante o período sem aeração (mas com agitação) e calculava-se a constante de transferência (K_{la}).

Para investigar a influência do sal sobre a atividade metabólica do lodo, utilizou-se uma batelada do licor misto num reator em escala de laboratório e determinou-se qual o efeito da concentração de sal na taxa máxima de respiração exógena ao adicionar um substrato ao lodo.

2. OBJETIVO GERAL

Determinar a influência da concentração de lodo na fase líquida do licor misto sobre a capacidade de aeração de aeradores e o efeito do sal sobre a capacidade metabólica do lodo na utilização de material orgânico.

2.1 Objetivos específicos

- (1) Verificar a viabilidade do uso do respirômetro na determinação da constante de aeração dos aeradores (KI_a);
- (2) Avaliar a influência das diferentes concentrações de lodo sobre a capacidade de aeração dos aeradores;
- (3) Estabelecer relações específicas entre a constante de transferência de oxigênio e a concentração de lodo.
- (4) Avaliar o efeito da salinidade sobre o processo metabólico do lodo em termos da constante de utilização de um substrato específico de material orgânico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas aeróbios

Nos sistemas de tratamento de águas residuárias os processos aeróbios são geralmente mais rápidos, mais eficientes e normalmente mais fáceis de controlar. O oxigênio é introduzido na massa líquida, com a finalidade de permitir a oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, resultando na liberação de energia para as suas atividades metabólicas.

Frente aos sistemas aeróbios podem-se destacar as lagoas de estabilização e o tratamento por disposição no solo, estes por sua vez não dispõem energia, no entanto demandam grandes áreas. Há também os filtros biológicos que não demandam energia e nem grandes áreas, no entanto nestes sistemas podem ocorrer entupimentos e proliferações de insetos.

Entre os sistemas aeróbios o processo de lodo ativado é de mais ampla aplicação na prática. As variantes mais avançadas são capazes de realizarem tratamento terciário, descarregando efluente essencialmente livre de sólidos em suspensão de material orgânico biodegradável e dos nutrientes: nitrogênio e fósforo. No entanto, demandam gasto de energia através do fornecimento de oxigênio pelos aeradores mecânicos ou por ar difuso, além de exigirem mão de obra especializada para operação e manutenção dos seus equipamentos.

Segundo Alem Sobrinho (1983), o sistema de lodo ativado é um processo no qual uma biomassa ou lodo, na forma de flocos biológicos em suspensão, constituída de bactérias heterotróficas aeróbias, autotróficas nitrificantes, heterotróficas desnitrificantes, filamentosas e protozoários estão aderidos a uma matriz de polissacarídeos. O lodo é continuamente agitado e colocado em contato com a matéria orgânica do despejo líquido afluente ao processo, na presença do oxigênio.

O processo é constituído basicamente de duas unidades: tanque de aeração, onde ocorrem as reações bioquímicas de remoção de matéria orgânica; seguida por

uma unidade de separação dos sólidos (decantador secundário), onde a biomassa é separada por sedimentação e quase que totalmente retornada ao tanque de aeração, para misturar com as águas residuárias, resultando um efluente clarificado. O esquema básico de um sistema de lodo ativado de mistura completa, operado continuamente está apresentado na figura 3.1.

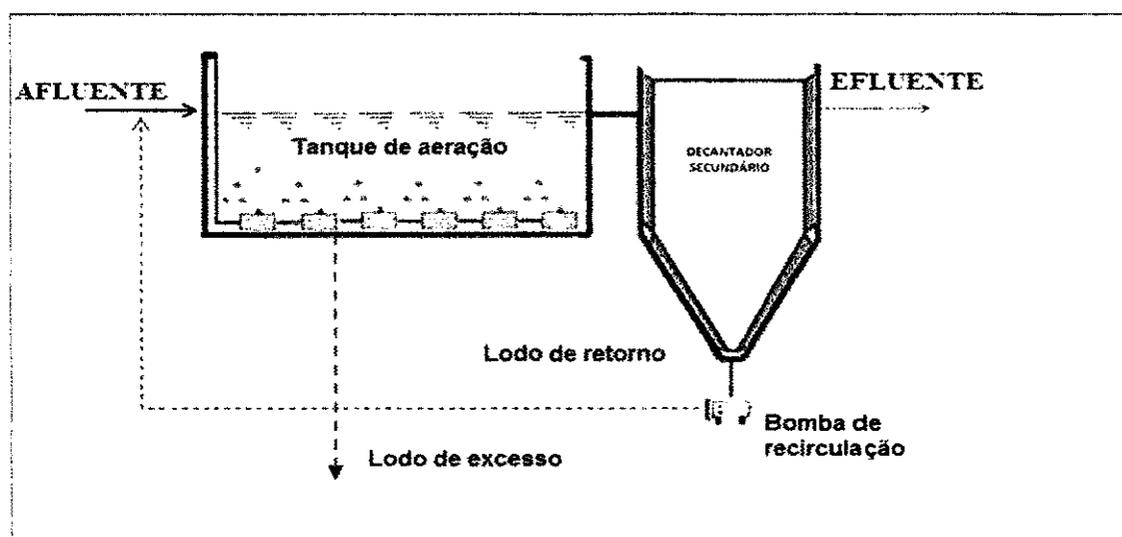


Figura 3.1: Representação esquemática do sistema de Lodo Ativado

Fonte adaptada: (VON SPERLING, 2002).

Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o tanque de aeração, aumentando a concentração de biomassa ativa do mesmo, o que é responsável pela eficiência do sistema. Por causa da recirculação dos sólidos, estes permanecem no sistema por um tempo superior ao do líquido. O tempo de retenção dos sólidos é denominado idade do lodo, ou seja, a idade de lodo representa o tempo médio que uma partícula de lodo permanece no sistema.

Os processos aeróbios tiveram início em 1914, quando Lockett e Ardem notaram que aeração de águas residuárias municipais resultava na remoção de material orgânico e, simultaneamente, na formação de flocos que se separam da fase líquida através de decantação simples. Segundo van Haandel e Marais (1999), a grande contribuição de Lockett e Ardem foi a constatação de que a adição deste lodo a uma outra batelada de água residuária resultava em aceleração do processo de remoção de material orgânico e crescimento adicional de lodo.

Com a evolução tecnológica e a pesquisa experimental o sistema de lodo ativado experimentou diversas adaptações para o melhoramento de sua eficiência, tendo surgido então algumas variantes do processo clássico (VON SPERLING, 2002; JORDÃO E PESSOA, 2005).

- **Quanto ao regime hidráulico do reator biológico**

- Processo de Mistura Completa;
- Processo Tubular, pistonado ou "Plug Flow".

- **Quanto à idade do lodo**

- Processo de Alta Taxa;
- Processo de Aeração Prolongada

a) Quanto ao regime hidráulico

A diferença física entre o reator tipo mistura completa e o tubular são pelo fato deste apresentar dimensões predominantemente longitudinais, ou seja, o seu comprimento é bem maior do que a largura, e o sistema de mistura completa o reator tem as dimensões largura e comprimento igual. E este tem a vantagem de promover uma distribuição homogênea de oxigênio, possibilitando um melhor controle na concentração de OD no licor misto, permitindo que o sistema seja mais resistente à sobrecarga e despejos tóxicos.

O reator tipo pistonado, caracteriza-se pelo decaimento da DBO ao longo da trajetória do líquido, de forma que a demanda de oxigênio decresce ao longo desta trajetória e, se caso os níveis de aeração for constante ao longo da trajetória, há uma tendência do aumento da concentração de OD, resultando numa perda desnecessária de energia para aeração.

b) Quanto à idade do lodo

Reatores de alta taxa ou de alta capacidade distinguem-se dos demais por operarem com idade do lodo de 2 a 3 dias e tempo de detenção hidráulica de 1 a 2 horas (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999; JORDÃO E PESSOA, 2005). Nestes reatores há pouca respiração endógena sendo exercida, visto que existe uma grande disponibilidade de alimento, baixo TDH e pouca massa bacteriana, o que leva a uma grande produção de lodo não estabilizado. Esse lodo em excesso pode exigir grandes unidades de tratamento para estabilizá-lo.

Nos reatores de aeração prolongada, devido à idade do lodo ser controlada entre 18 a 20 dias, podendo chegar a 30 dias em certos casos, a relação alimento/microrganismos é menor (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999), assim, a respiração endógena exercida tende a ser maior que nos reatores de alta taxa e o lodo de excesso pode já sair do sistema estabilizado. Recomendam-se estes tipos de reatores, para que se tenha a promoção satisfatória da nitrificação, visto que as bactérias nitrificantes são de crescimento lento em comparação com as bactérias heterotróficas que oxidam a matéria orgânica.

3.2 Microrganismos em sistema de lodo ativado

O sistema de lodo ativado consiste em uma complexa associação de microrganismos composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários, que oxidam os compostos orgânicos presentes nos efluentes. A comunidade estabelecida nesse sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, sendo que cada espécie tem sua importância para o bom funcionamento do sistema (BENTO *et al.*, 2005).

A estrutura dessa comunidade apresenta forte relação com as condições operacionais, com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo, de modo que a avaliação microbiológica do lodo é capaz de fornecer informações sobre o desempenho da ETE. Deste modo, mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do afluente do reator, ou mesmo da operação da estação podem levar a alterações na comunidade do lodo, influenciando os processos de biodegradação, portanto reduzindo a qualidade do efluente tratado (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Em sistemas de lodos ativados, quando organismos filamentosos dominam a competição entre as espécies é formada uma microestrutura filamentosa, o floco fica menos denso, ou seja, a estrutura do floco se torna mais difusa, dificultando a sedimentabilidade do lodo, isto pode ocasionalmente causar problemas de separação sólido-líquido. Os microrganismos filamentosos também podem causar formação de espuma em sistemas biológicos.

Os principais motivos para o aparecimento de filamentos em sistemas aeróbios são: baixa concentração de OD, deficiência de nutrientes, esgoto séptico e baixa carga orgânica.

3.3 Metabolismo bacteriano

Em sistemas de lodos ativados, o mecanismo principal para a remoção do material biodegradável do afluente é o metabolismo bacteriano. A remoção da matéria orgânica ocorre a partir da utilização dos compostos orgânicos, pelas bactérias heterotróficas por duas formas: catabolismo, onde os organismos obtêm energia através da oxidação de um doador de elétrons e anabolismo, que resulta na síntese de novas células. Segundo Marais e Ekama (1976), para o catabolismo é utilizado 1/3 do material orgânico e para o anabolismo 2/3 desse material.

De acordo com Van Haandel e Catunda (1983) a fração de matéria orgânica utilizada no catabolismo pode ser medida pelo consumo de oxigênio, estequiometricamente 1 grama de OD consumido equivale a 1 grama de DQO utilizado. Já a síntese de novo material celular pode ser determinada através dos sólidos suspensos. Van Haandel e Marais (1999), através de resultados experimentais, indicam que a produção de massa bacteriana no metabolismo oxidativo apresenta-se numa faixa de 0,35 a 0,52 gSSV.gDQO⁻¹, com valor médio (adotado) de 0,45 gSSV.gDQO⁻¹. Esse valor estabelece a proporção entre a massa microbiana sintetizada e a massa de DQO metabolizada, denominado de coeficiente de síntese celular ou de coeficiente de crescimento, que tem como símbolo Y.

De acordo com van Haandel e Marais (1999), com o valor da DQO de uma unidade de massa de microrganismo é possível determinar a fração de material catabolizado e anabolizado, dotando-se o valor médio de 1,48 mgDQO.mg⁻¹SSV.

Tendo-se os valores de Y e f_{cv} calculam-se as frações do material orgânico anabolizado ($f_{cv} \cdot Y$) e catabolizado ($1 - f_{cv} \cdot Y$), numericamente calcula-se:

- $1,48 \text{ mgDQO} \cdot \text{mg}^{-1} \text{SSV} \cdot 0,45 \text{ mgSSV} \cdot \text{mg}^{-1} \text{DQO} = 0,67$
- $1 - 0,67 = 0,33$.

Conclui-se, que no metabolismo de material orgânico 1/3 do material metabolizado é oxidado e 2/3 é anabolizado. A Figura 3.2 mostra o metabolismo de utilização do material orgânico por bactérias heterotróficas em ambiente aeróbio.

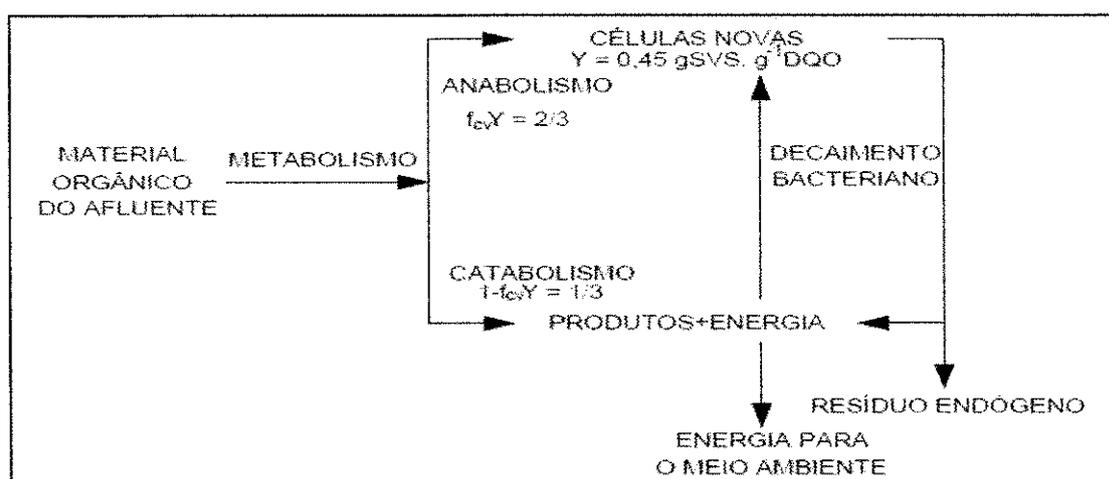


Figura 3.2: Representação esquemática dos processos metabólicos num ambiente aeróbio (Fonte adaptada van Haandel e Marais, 1999).

Segundo van Haandel e Marais (1999), há um resíduo de material orgânico não biodegradável, denominado resíduo endógeno (f), que foi determinado experimentalmente por diversos pesquisadores, sendo adotado $f = 0,2$ uma fração que não pode ser oxidada. Essa fração do material decaído acarreta perda de massa de sólidos voláteis e consumo de oxigênio.

3.4 Lodo ativado em bateladas sequenciais

O reator de bateladas sequenciais (RBS) é a variante mais simples do sistema de lodo ativado convencional, pois consiste na incorporação de todas as unidades normalmente utilizadas no processo convencional em um único reator, “método de enchimento, aeração, sedimentação e esvaziamento”, no mesmo tanque.

Embora a utilização dos reatores com operação intermitente tenha se dado há décadas atrás, foi a partir do início da década de 80 que essa tecnologia tornou-se mais difundida e aplicada ao tratamento de uma diversidade de efluentes (Von Sperling, 2002). O reator tipo RBS foi descoberto por Ardern e Lockett, em 1914, mas por falta de condições tecnológicas, teve que ser abandonado, vindo a ressurgir com o avanço tecnológico. Irvine e Bush em 1979 propuseram uma nomenclatura padrão para descrever as cinco fases operacionais básicas do ciclo do sistema de RBS (CYBIS e PINTO, 1997).

O aumento do número de reatores do tipo RBS tornou-se possível por causa do desenvolvimento dos processos de automação, que foi desenvolvido com mais simplicidade e eficiência, haja vista que o tipo de processo em batelada necessita deste para efetivar todas as mudanças de fases.

O tratamento de efluentes domésticos por reator em batelada sequencial (RBS) tem despertado interesse, devido: 1) pequenas áreas ocupadas pelas unidades de tratamento, por causa da forma simplificada de construção; 2) redução de custos em relação aos processos contínuos, em virtude da facilidade na instalação de equipamentos tecnicamente simples; 3) possibilidade de remoção conjunta de matéria carbonácea e dos nutrientes- fósforo e nitrogênio, em um único ciclo de operação; 4) facilmente adaptável às variações de cargas e vazões; 5) boa decantabilidade do lodo e 6) funcionamento moderadamente simples (SHEKER et al., 1993; MORGENROTH & WILDERER, 1998; van LOOSDRECHT & JETTEN, 1998; LEE et al., 1997; MOREIRA et al., 2002).

O reator em batelada apresenta-se como uma alternativa bastante atraente para o tratamento de efluentes industriais, devido sua facilidade de operação, flexibilidade de tratamento e possibilidade de retenção do líquido até que seja atingido o grau de tratamento desejado (GUIMARÃES, 2003). Outro fator de grande interesse nos reatores de bateladas sequenciais com aeração intermitente é a capacidade de intercalar as fases aeróbias e anaeróbias, favorecendo as condições necessárias para o sucesso de remoção de fósforo e nitrogênio. A Figura 3.3 apresenta as etapas do ciclo operacional do RBS.

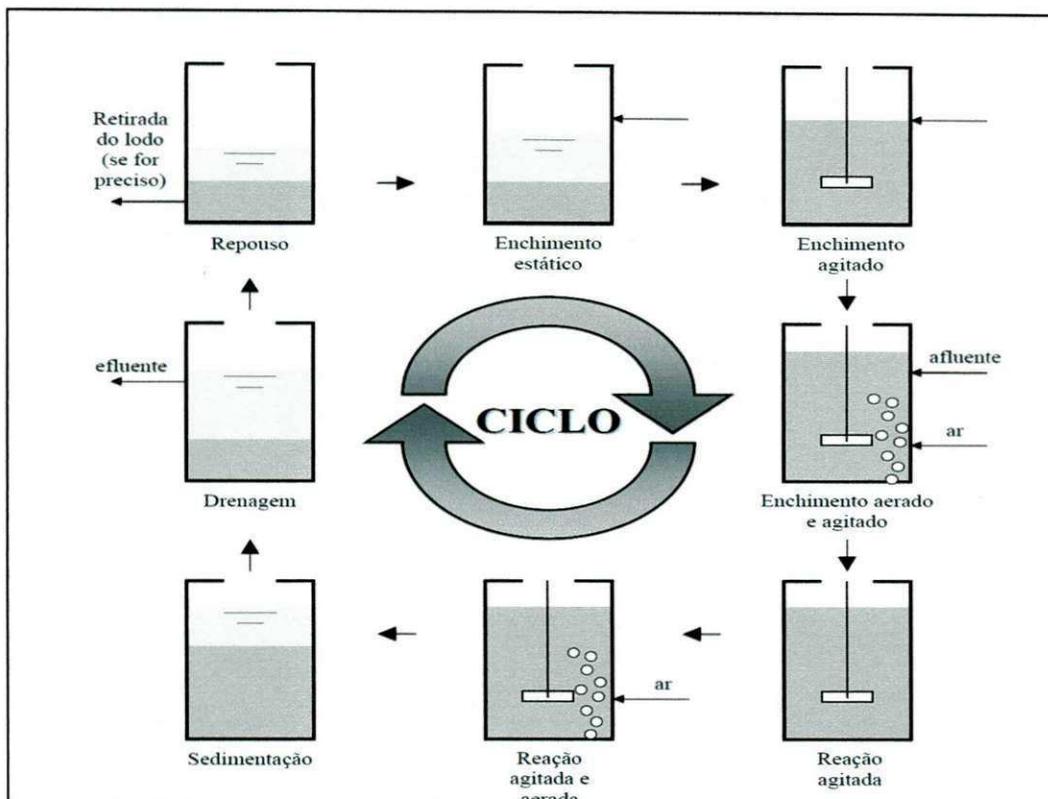


Figura 3.3: Representação esquemática do ciclo de operação do RBS (KETCHUM, 1997)

3.5 Técnicas de tratamento mais recentes

Tendências registradas nos últimos vinte anos apontam para os grandes centros urbanos do planeta e para um futuro próximo, que as ETEs deverão ter instalações compactas, de operação estável e de baixo impacto ambiental (incluindo-se controle de odores, de ruídos e de impacto visual). Neste contexto em muitos casos deverão ser cada vez mais necessários os processos biológicos de alta capacidade de tratamento, com remoção de nutrientes, alta eficiência e baixa produção de lodo (REIS, 2007). Isso se deve ao custo cada vez maior dos terrenos necessários às instalações.

Para atender a todas estas necessidades têm surgido nos últimos tempos novas tecnologias de tratamento, quer atendendo ao propósito de diminuição das áreas necessárias à implantação das unidades, quer seja para melhorar a qualidade dos efluentes tratados.

3.5.1 MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor

O reator de biofilme com leito móvel é uma tecnologia relativamente recente, que surgiu como variante adaptada do sistema de lodo ativado. Pode ser utilizado no tratamento de esgoto sanitário e efluente industrial, tanto para remoção biológica de carga orgânica quanto para remoção biológica de nutrientes como nitrogênio e fósforo (WOLFF *et al.*, 2003). Esta modalidade híbrida denominada de Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR opera ao mesmo tempo e num mesmo tanque, com biomassa suspensa e com biomassa aderida.

O MBBR teria surgido como resultado de um acordo político entre as autoridades da Noruega e com os especialistas daquele país, para estudos de novas tecnologias de tratamento que ocupassem menor área do que o lodo ativado, porém mantivessem a mesma boa eficiência no tratamento (NUVOLARI, 2011).

A concepção do MBBR, quando utilizados em tanques de lodos ativados já existentes, ou nas novas unidades construídas são introduzidos meios de suportes para fixação da biomassa. O meio de suporte, ou *carriers*, são anéis de polietileno de alta densidade (0,95 a 1,5 g/cm³), cilíndricos e de tamanhos variados, mantidos em suspensão em meio líquido. A recomendação é que o volume ocupado pelos *carriers* no MBBR deve ser de no máximo 70% do volume do reator.

O MBBR começou a ser estudado em 1985 e, em 1989 foi patenteada e instalada a primeira unidade. Os *carriers* originais utilizados na primeira unidade foram inspecionados rotineiramente durante 15 anos, e nenhum desgaste nesse período foi observado (RUSTEN *et al.*, 2006).

Grande parte da biomassa que cresce nos tanques irá se fixar nos *carriers*, e com isso, aumenta-se consideravelmente a concentração da biomassa nos reatores, com maior eficiência na remoção da carga orgânica. Apesar da concentração da biomassa no reator ser bem maior do que nos lodos ativados, também ocorre no MBBR limitações na taxa de aplicação orgânica, para evitar prejuízos na etapa de sedimentação de sólidos, nos clarificadores secundários (ODEGAARD *et al.*, 2000).

O conceito de obtenção de maior eficiência do reator, com presença de meio suporte, pode-se afirmar que: quanto maior a concentração de biomassa presente no reator de lodo ativado, maior a sua eficiência, ou seja, aumenta-se a

probabilidade de ocorrência da adsorção dos sólidos finamente particulados e dissolvidos ao floco biológico. Na figura 3.4 mostra um dos modelos de *carriers* mais utilizados nos sistemas MBBR.

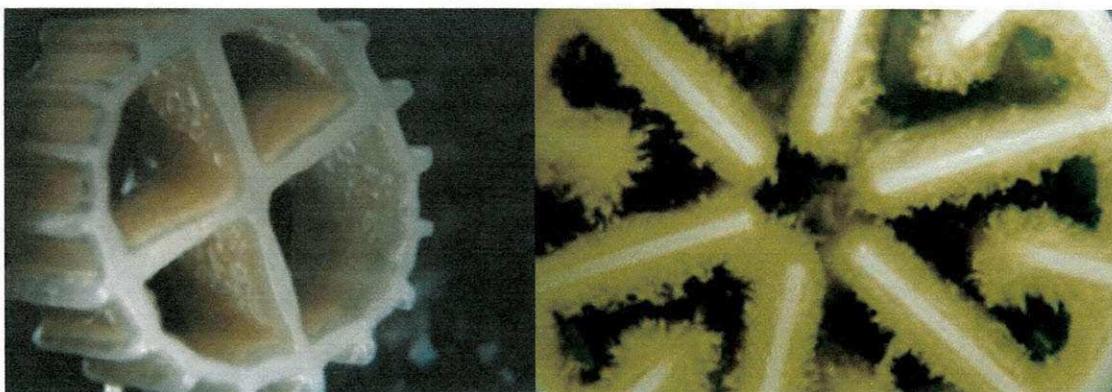


Figura 3.4: Material suporte utilizados no MBBR (Carriers)

Fonte: Anoxkaldnes

Na figura 3.5 novos modelos de suporte que surgiram no mercado nos últimos anos, pretendendo melhorar as condições de operação dos MBBR.

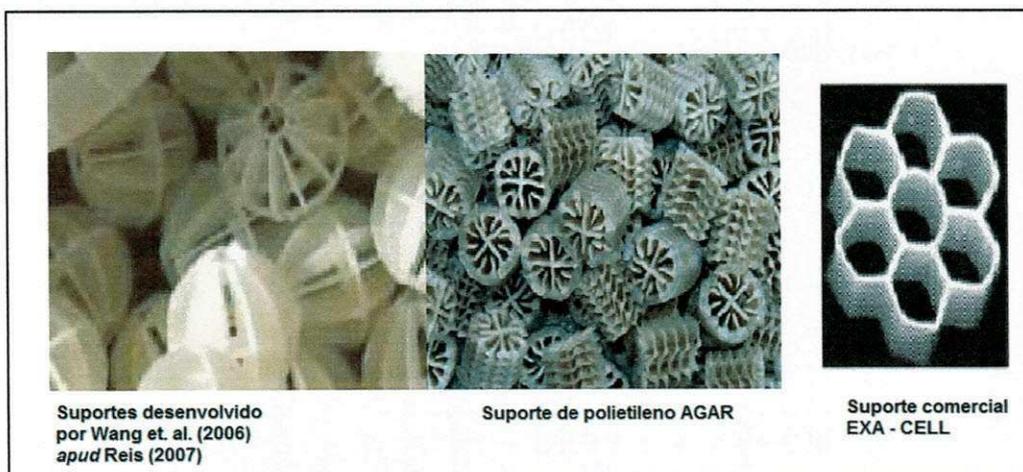


Figura 3.5: Modelos de suportes utilizados em MBBR

A Figura 3.5 ilustra as configurações dos suportes AGAR (Attached Growth Airlift Reactor), modelo de suporte desenvolvido por WANG em 2006 e o EXA-CELL, que também vem sendo comercializado. Segundo Reis (2007) os suportes comerciais da marca Kaldnes apresentam vantagens entre os outros, por serem os únicos produzidos de várias formas e tamanhos, com isto permitem maior possibilidades de adaptações.

No MBBR a maior parte da biomassa fica aderida aos meios de suportes, e estes permanecem no reator mesmo com alta concentração de sólidos no reator, até certo ponto, não há sobrecarga de sólidos nos clarificadores secundários. Como consequência, o volume do reator resulta bem menor do que o de lodos ativados, no caso de projetos de novas unidades, e no caso de reatores existentes, pode-se aumentar a carga orgânica a ser tratada. Outro fator é a grande quantidade de sólidos presentes no reator, não sendo necessário fazer o retorno do lodo a partir do fundo dos clarificadores secundários, como se faz nos processos de lodos ativados.

Para que os suportes fiquem distribuídos uniformemente no tanque é necessário que ocorra um suprimento de demanda de oxigênio suficiente. Os difusores devem ser instalados no fundo do tanque de aeração, objetivando uma movimentação circular dos suportes, evitando assim a aglomeração dos mesmos em determinada área do reator, em caso de reator anóxico será necessário à instalação de um sistema de movimentação mecânica, como representado na Figura 3.6.

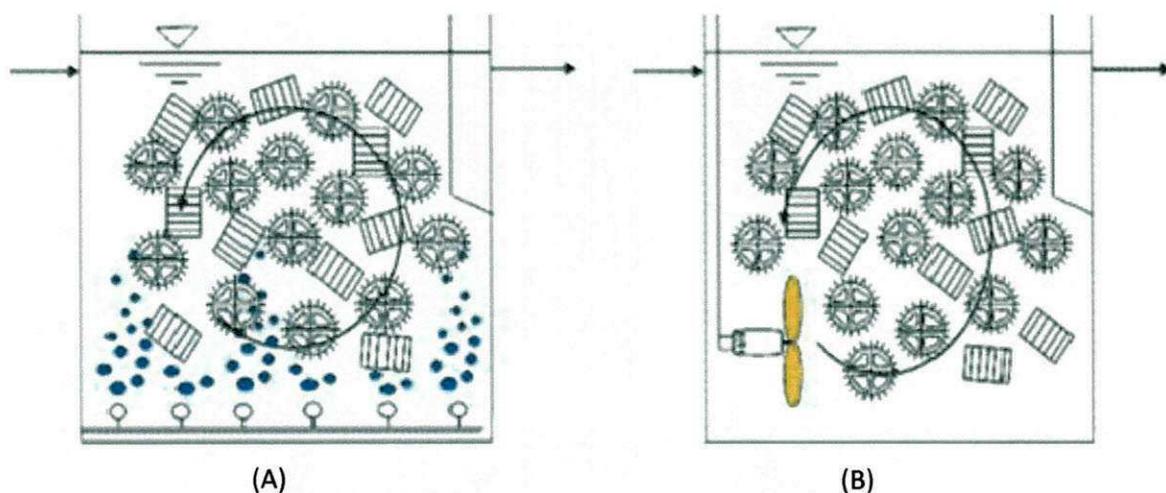


Figura 3.6: Agitação em reatores (a) aeróbio, (b) anóxicos (VEOLIA, 2008).

3.6 Análise crítica do sistema MBBR

Segundo Droppelmann (2008), vários autores mencionam vantagens do sistema MBBR, que esta relacionada à maior eficiência de remoção de matéria orgânica e uma melhor qualidade da biomassa ativa, mas a informação é escassa e pouco clara quanto à demanda de oxigênio necessária e quanto à produção de lodo, sendo

dois aspectos relevantes quanto ao alto custo do fornecimento de energia para aeração.

A concentração de oxigênio dissolvido a ser mantida no tanque de aeração é uma condição de suma importância, em especial aos processos aeróbios desenvolvidos com MBBR, que tem como característica a alta carga orgânica aplicada favorecendo o crescimento dos microrganismos heterotróficos, os quais apresentam alta taxa de crescimento específico e se posicionam na parte externa do biofilme, dificultando a transferência do oxigênio (FUJII, 2011).

No sistema MBBR operado para remover nutrientes, deve-se ter cuidado com as cargas orgânicas aplicadas, pois o crescimento elevado dos microrganismos heterotróficos pode interferir no desempenho da biomassa nitrificante, pelo fato das heterotróficas competirem mais por oxigênio e espaço no biofilme, sendo necessário elevar o nível de oxigênio dissolvido, para que haja penetração nas camadas mais internas, onde a biomassa nitrificante se encontra (FLORENCIO et al., 2009). Essa constatação é muito relevante, uma vez que o consumo de energia elétrica para a aeração do sistema deverá ser substancialmente maior, referente ao processo de lodo ativado convencional.

O biofilme neste caso tende a possuir maior espessura e densidade, e menor porosidade, o que dificulta ainda mais a transferência de massa para algumas regiões da matriz biológica. Em consequência os teores de oxigênio são reduzidos, e o oxigênio pode torna-se o fator limitante em sistema de MBBR (WIJFFELS e TRAMPER, 1995).

Segundo Stenstrom et al. (2006), a transferência de oxigênio é uma parte importantíssima para o tratamento de águas residuárias, sendo responsável por 60% do consumo energético em processos de lodos ativados. A NBR-12209/92 recomenda uma concentração mínima de OD no reator de 2,0 mg/L, para idade de lodo menor que 18 dias, em sistemas de lodo ativado convencional. No entanto, para o MBBR ocorre a necessidade de maior concentração de O₂ no reator. Segundo Odegaard et al. (2000), foram relatadas concentrações de O₂ bem mais altas na faixa de 3,5 a 4,5 mgO₂.L⁻¹ e numa outra fase do experimento variou de 6,2 a 6,4 mg O₂.L⁻¹.

3.7 Influência da concentração de sólidos na transferência de oxigênio

A transferência de oxigênio é proporcional ao déficit de oxigênio dissolvido no licor misto, ou seja, à diferença que existe entre a concentração de saturação e a concentração realmente presente no licor misto (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999):

$$CO = K_{la}(OD_s - OD_l)$$

Onde:

CO = taxa de transferência de oxigênio ($\text{kgO}_2/\text{m}^3\text{h}^{-1}$) ou capacidade de oxigenação;

K_{la} = constante de transferência (h^{-1});

OD_s = concentração de saturação de oxigênio dissolvido;

OD_l = concentração real de oxigênio dissolvido no tanque de aeração.

A transferência de oxigênio será máxima (CO_{\max}) quando a concentração de oxigênio dissolvido for zero:

$$CO_{\max} = (dOD_l / dt)_{a,\max} = K_{la} \cdot OD_s$$

$(dOD_l/dt)_{a,\max}$ = massa de oxigênio transferida máxima por unidade de tempo e por unidade de volume do licor misto ($\text{kgO}_2/\text{m}^3\text{h}^{-1}$);

O consumo de energia para aeração é inversamente proporcional à diferença que existe entre a concentração de saturação e a concentração na fase líquida do licor misto, sendo assim, quanto maior a concentração de OD no licor misto, maior será o consumo de energia para manter essa concentração.

Naturalmente em sistema de lodo ativado a concentração de OD mínimo no sistema gira em torno de 1 a 2 mgO_2/L , entretanto nos sistemas onde ocorre a presença de material suporte, como o caso do MBBR, a concentração de oxigênio mínimo pode ficar em torno de 3,5 a 4,5 mgO_2/L , e quando este pretende promover

a nitrificação a concentração de oxigênio dissolvido pode chegar a 6,4 mgO₂/L. A elevada concentração de OD é decorrente do aumento da concentração da biomassa no reator, podendo chegar até 20gSST/L, a NBR 12.209 da ABNT recomenda uma concentração máxima de 15gSSV/L. Para manter esta concentração de OD no licor misto o consumo de energia pode aumentar em até três vezes em comparação com o sistema convencional de lodo ativado, resultando no aumento do consumo de energia e também os custos de operação.

A concentração mínima de OD será dada pelo valor que não prejudique o desempenho do sistema e nem a qualidade do lodo. É importante observar que no presente trabalho se pretende estudar a influência da concentração de lodo (biomassa) em função da transferência de oxigênio.

A concentração de OD é um importante parâmetro para a operação do sistema de lodo ativado. Caso não seja transferida em concentração adequada pode afetar no desempenho, nas propriedades biológicas e mecânicas do lodo. O valor da concentração de OD abaixo do mínimo pode acarretar prejuízo no sistema de três maneiras: (1) diminuindo a eficiência de remoção dos substratos (material orgânico e material nitrogenado); (2) inibindo o metabolismo das bactérias heterotróficas e autotróficas e (3) prejudicando as características de sedimentação do lodo (ÚRSULA et al., 2005).

3.7.1 Influência do OD na remoção do substrato

A falta de disponibilidade de oxigênio para a massa bacteriana pode ocasionar uma diminuição da eficiência de remoção de substrato, uma vez que um aspecto fundamental do metabolismo (utilização) de substratos em sistemas aeróbios é que parte seja oxidada. O substrato que pode ser removido no sistema de forma fácil e rápida é o material orgânico biodegradável. Todavia a degradação de material biodegradável e particulada é mais difícil e lenta. Se a utilização do material biodegradável e particulada é incompleta, por causa da falta de oxigênio, o resultado será a flocculação do material não degradado, levando a um aumento da concentração e produção de lodo volátil (ÚRSULA et al., 2005).

3.7.2 Influência do OD na capacidade metabólica do lodo

É possível que a falta de oxigênio apropriada possa levar à geração de um lodo, que tenha uma capacidade metabólica menor que o lodo gerado sob uma concentração adequada de OD. Isto seria indesejável, porque mesmo se o lodo tivesse capacidade de metabolizar a carga normal do afluente, poderia não ter capacidade no caso de sobrecargas.

3.7.3 Influência do OD na sedimentabilidade do Lodo.

A relação entre uma concentração baixa de OD e o surgimento de lodos filamentosos tem sido amplamente documentada na literatura. Muitos autores defendem que em sistema com alta concentração de biomassa, como nos casos de MBBR, não ocorre presença de lodos filamentosos, mesmo assim, quando os requisitos de oxigênio não são atendidos podem ser criadas condições anaeróbias no interior da biomassa e como consequência podem ser produzidos maus odores, ou um destacamento descontrolado de segmentos de biofilme, efeito chamado de descamação.

3.8 Aeração em reatores biológicos

3.8.1 Fundamentos

A aeração é de fundamental importância em grande número de processos aeróbios de tratamento de esgotos. O oxigênio é um gás com baixa solubilidade em meio líquido, por esta razão existe a necessidade de se acelerar o processo natural, aumentando a sua velocidade de transferência para que se iguale ao consumo pelas bactérias.

As principais finalidades da aeração em sistemas biológicos aeróbios são: o suprimento adequado de oxigênio para os microrganismos e a homogeneização do meio e, conseqüentemente, a garantia que a massa bacteriana tenha efetivamente acesso aos substratos: material orgânico e oxigênio.

O oxigênio do meio líquido é fornecido pela dissolução do oxigênio atmosférico e introduzido artificialmente por diversos processos de aeração. Já durante a estabilização da matéria orgânica as bactérias utilizam o oxigênio dissolvido na água, causando uma redução da sua concentração no meio, e dependendo da concentração de oxigênio dissolvido no meio, se for baixa, pode gerar condições anaeróbias (VON SPERLING, 2005).

Portanto o oxigênio dissolvido é usado como parâmetro para o controle de operação de estações de tratamento de esgotos e caracterização de corpos d'água.

Para a operação de uma ETE, é necessário um teor mínimo de oxigênio dissolvido para os reatores de sistemas aeróbios. Segundo van Haandel, *et al.* (1997), existe uma estratificação na concentração de OD nos tanques de aeração, no entanto para manter uma concentração mínima (por exemplo, de OD = 1 mg/L) no tanque inteiro é necessário que se tenha uma concentração bem mais elevada na zona próxima aos aeradores, onde ocorre a transferência de oxigênio.

3.8.2 Sistemas de aeração

Segundo von Sperling (2002), há duas formas principais de produzir aeração artificial. A primeira é causando um grande turbilhonamento, expondo o líquido, na forma de gotículas, ao ar, ocasionando a entrada do ar atmosférico no meio líquido (aeração mecânica). A segunda é introduzindo ar ou oxigênio no líquido (aeração por ar difuso).

De acordo com van Handeel e Marais (1999), os aeradores mecânicos mais importantes são os aeradores de superfície com fluxo radial, que têm uma baixa velocidade de rotação e são montados sobre plataformas fixas, tendo cada aerador seu próprio motor e redutor, e os aeradores de superfície com fluxo axial, muitas vezes montados sobre plataformas flutuantes.

O sistema de aeração por ar difuso é composto por difusores submersos no líquido, tubulações distribuidoras de ar, tubulações de transporte de ar, sopradores ou outras unidades por onde o ar passa. O ar é introduzido próximo ao fundo do

tanque a ser aerado, e o oxigênio é transferido ao meio líquido, à medida que as bolhas se elevam a superfície, como apresentado na Figura 3.7.

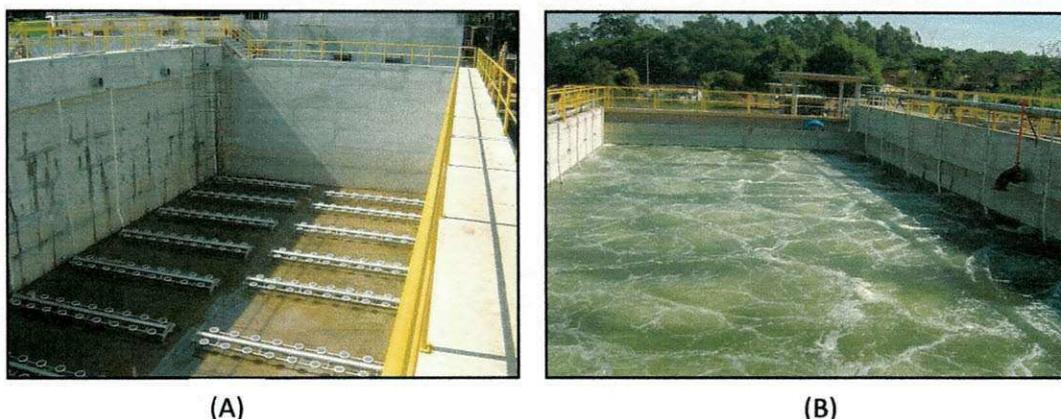


Figura 3.7: Aeração por difusão – (A) vista dos difusores num reator vazio (B) aspectos de turbulência na superfície do líquido.

Os principais sistemas de aeração por ar difuso podem ser classificados segundo a porosidade do difusor e segundo o tamanho das bolhas produzidas: O difusor poroso (disco, domo e tubo) resulta em bolhas finas de ar comprimido, necessitando-se para tanto uma pressão relativamente alta e o difusor não poroso (tubos perfurados ou com ranhuras) resulta em bolhas médias e grossas, a uma pressão mais baixa. (VAN HANDEEL E MARAIS, 1999).

3.8.3 Transferência de oxigênio em sistemas de lodo ativado

Um dos tópicos mais importantes na análise de reatores aeróbios é a transferência de oxigênio do meio gasoso (ar) para o meio líquido (licor misto) e, conseqüentemente, para disponibilização para os microrganismos. Essa transferência torna-se mais importante quando reatores híbridos, contendo células imobilizadas, são empregados.

A transferência de oxigênio baseia-se na Lei de Henry. Segundo van Haandel e Marais (1999), esta lei afirma que quando houver contato entre uma fase líquida e uma fase gasosa, então há uma tendência de se estabelecer um equilíbrio entre estas fases que se caracteriza pelo fato que há proporcionalidade entre a pressão

parcial de um componente gasoso e a concentração daquele componente dissolvido na fase líquida. A concentração da fase líquida chama-se concentração de saturação. No caso de aeração no sistema de lodo ativado, o componente gasoso de interesse é o oxigênio, a fase gasosa é o ar e a fase líquida é o licor misto.

Segundo Nuvolari (2011), pode-se resumir que no líquido há sempre a tendência de se estabelecer o equilíbrio dos gases dissolvidos. A saturação do gás no líquido depende:

- I. Da temperatura – quanto maior a temperatura, menor o grau de saturação;
- II. Da altitude – quanto maior a altitude, menor o grau de saturação;
- III. Da concentração de sólidos – quanto maior a concentração de sólidos dissolvidos, menor o grau de saturação;
- IV. Da taxa de transferência – que será maior ou menor se a água for límpida ou suja; e que essa taxa de transferência será tanto maior quanto maior for o déficit de DO_2 , sendo:

$$DO_2 = OD_s - OD_i$$

Onde:

DO_2 = déficit de OD = diferença entre a concentração de saturação e a concentração momentânea na fase líquida

Sabe-se que o oxigênio tem baixa solubilidade em meio líquido e o processo de transferência da fase gasosa (ar) para o líquido (licor misto) pode ser agravado por causa do aumento da concentração da biomassa e o aumento da velocidade específica de respiração celular, resultando no aumento do consumo global de oxigênio.

De acordo com Kargi e Moo-Young (1985) A resistência global à transferência de oxigênio é igual à soma das resistências individuais e suas magnitudes, dependem da hidrodinâmica da bolha, da composição do líquido (licor misto) e da concentração e atividade da biomassa.

As principais etapas de resistências ao transporte de oxigênio são ilustradas na Figura 3.8, na qual se identificam oito possíveis estruturas resistivas à transferência de massa.

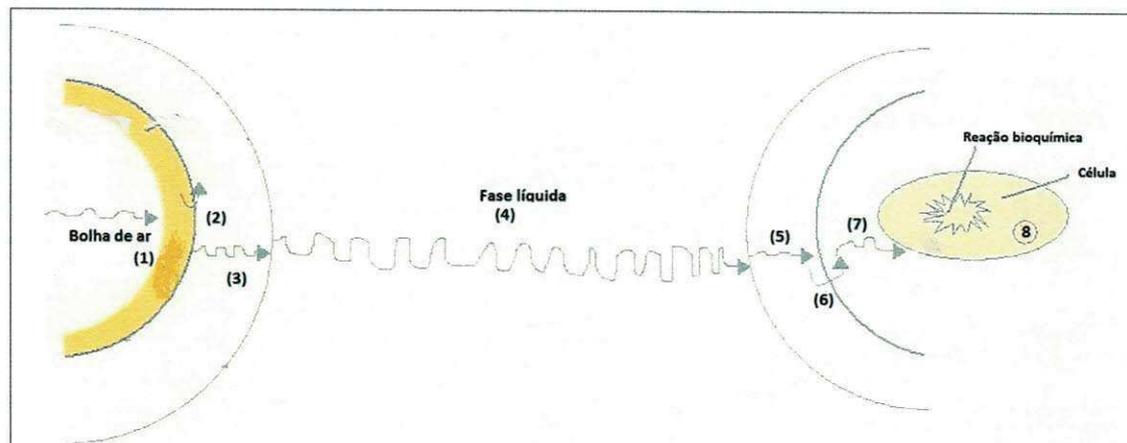


Figura 3.8: Resistências associadas ao transporte de oxigênio (ZAIAT, 2007).

As resistências consideradas nos sistemas trifásicos estão:

1. No filme gasoso da bolha, entre o seio do gás na bolha e a interface gás-líquido;
2. Na interface gás-líquido;
3. No filme líquido próximo a interface gás-líquido, entre essa interface e o meio líquido;
4. No meio líquido;
5. No filme entre o meio líquido e a interface líquido-sólido (resistência externa);
6. Na interface líquido sólido;
7. Na fase sólida (resistência interna);
8. Nos sítios de aeração bioquímica (dentro dos microrganismos).

A magnitude relativa dessas resistências depende da hidrodinâmica da bolha de gás, da solubilidade do oxigênio, da temperatura, da atividade celular, da composição do líquido e de fenômenos interfaciais, entre outros. Geralmente a principal resistência é a da interface gás e líquido (licor misto), sendo a determinante no processo global de transferência (ZAIAT, 2007).

Segundo Kargi e Moo-Young (1985), coeficiente global de transferência de oxigênio (K_{la}) é um importante parâmetro usado para avaliar a capacidade de transferência de oxigênio em reatores aeróbios, e serve como referência para avaliar a eficiência do processo de aeração sobre diferentes condições operacionais e de geometria do sistema.

3.9 Métodos para coeficiente global de transferência de oxigênio (K_{la})

Segundo ZAIAT (2007), existem vários métodos aplicados para determinação de K_{la} em reatores aeróbios, na ausência de microrganismos, destacam-se o método de oxidação do sulfito e o método dinâmico. Na presença de microrganismos existe a possibilidade de determinar o K_{la} pelo método dinâmico (técnica do estado estacionário), sendo este método o objeto de estudo desta dissertação.

O método de oxidação do sulfito é realizado em um reator cheio de água, onde se remove o oxigênio dissolvido com a adição do sulfito de sódio, que é oxidado para sulfato, usando-se cloreto de cobalto como catalisador. Calcula-se a quantidade de oxigênio transferido para a fase líquida correlacionando a variação da concentração de oxigênio durante a aeração ao tempo de aeração (VAN HANDEEL E MARAIS, 1999). Esta correlação é estabelecida pela forma integrada da seguinte equação:

$$dOD_t/dt = K_{la} (OD_s - OD_t)$$

Este método comumente é utilizado pelos fabricantes dos equipamentos do sistema de aeração, na maioria das vezes utilizam os testes de transferência de oxigênio nas condições padrão – água limpa completamente desoxigenada sob pressão atmosférica (760mmHg) e uma temperatura a 20°C – este teste faz parte da aquisição do equipamento para as estações de tratamento de esgoto, que utilizam o sistema de lodos ativados. No entanto é sabido que a transferência de oxigênio é influenciada por diversos fatores simultâneos, tornando-se evidente que a taxa de transferência para um mesmo equipamento, deverá variar de um local para outro.

Portanto é importante verificar se o equipamento, que está sendo fornecido, oferece a demanda de oxigênio solicitada pelo projeto.

Estudo desenvolvido por Alem Sobrinho et al. (2002) juntamente com a equipe de operação da estação de Tratamento de Esgoto Suzano, pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP, verificou que o sistema de aeração instalado na estação existente, era ineficiente em comparação com os valores que foram projetados, como também observou-se a deficiência na homogeneização e estratificação na concentração de oxigênio dissolvido (OD).

O método dinâmico em ensaios sem a presença de microrganismos, inicialmente injeta-se nitrogênio gasoso na entrada de ar do reator para a remoção de oxigênio da fase líquida, até ser registrada a concentração próxima de zero, o fluxo do nitrogênio é interrompido e imediatamente inicia-se aeração do meio líquido com a vazão de ar conhecida e constante. Assim, plota-se a curva de oxigênio dissolvido em função do tempo e o valor de K_{la} obtido por ajuste do modelo a dados experimentais.

Na presença de microrganismos a forma de obtenção do K_{la} pelo método dinâmico (método estacionário) é um pouco diferente. Para a realização do ensaio a aeração deve ser interrompida, registrando-se a diminuição da concentração de oxigênio pelo consumo dos microrganismos, até atingir a concentração de OD mínimo, diferente de zero. Neste ponto a aeração deve ser reativada e a variação da concentração de oxigênio dissolvido até o equilíbrio com a fase gasosa deve ser registrada. Esse método também pode ser usado para estimar a velocidade de respiração da biomassa ativa (ZAIAT, 2006).

3.10 Influência de substâncias tóxicas sobre o reator biológico

Frequentemente em sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias industriais, ocorrem problemas com componentes tóxicos e/ou substâncias inibitórias nelas presentes. Estes componentes podem afetar tanto o metabolismo das bactérias presentes no lodo, como a sua sedimentabilidade.

Em geral, nas águas residuárias industriais há mais causas de toxicidade que nos esgotos municipais, porém também é possível ocorrer toxicidade em esgotos municipais contaminados com resíduos líquidos de indústrias, que despejam seus

efluentes na malha municipal. Todavia como não ocorrem com o mesmo risco e intensidade, a preocupação maior está sobre os efluentes industriais.

Os efluentes industriais podem conter substâncias tóxicas, inibidoras do metabolismo bacteriano. A presença destas substâncias no reator biológico inibe a atividade das bactérias, reduzindo a eficiência do sistema, levando-o ao completo colapso.

A toxicidade do afluente de uma estação está diretamente relacionada à qualidade do afluente. Caso ocorra um alto grau de toxicidade, certamente haverá menor desempenho da biomassa do lodo, diminuindo a qualidade do tratamento.

3.10.1 Efluente salino e reator biológico

Atualmente o sal é considerado um fator comum de instabilidade em estações de tratamento de águas residuárias, especialmente no âmbito industrial. Indústrias de processamento de frutos do mar e de conservas, curtumes, fabricação de queijo, produção de químicos farmacêuticos e indústrias petrolíferas geram efluentes com elevadas concentrações de sais inorgânicos. Outra fonte de efluentes salinos provém da infiltração da água do mar em regiões costeiras e do chorume de aterros sanitários.

Segundo Measures (1975), a taxa de crescimento de bactérias não-halofílicas diminui com o aumento da concentração de sal no meio, devido ao fato de que parte do substrato consumido é gasto na síntese de "solutos compatíveis" para balançar a pressão osmótica do meio, que implica em um alto custo energético para o consórcio microbiano.

O sal pode ter um efeito significativo na taxa de consumo de substrato, o mesmo pode ocasionar a inibição das enzimas, afetando diretamente na sua atividade de oxidação da matéria orgânica. Além de alterar a atividade e fisiologia do consórcio microbiano, o efeito salino, compromete diretamente a estrutura e as características de sedimentabilidade do floco microbiano, como também a diminuição da diversidade da população de microrganismos encontrados em sistemas biológicos, tornando-se problemático (DALMACIJA *et al.*, 1996). Sabe-se que o aumento da diversidade de bactérias em sistemas de tratamento de águas residuárias é

recomendado para propiciar consórcios microbianos mais resistentes a perturbações.

Segundo Kinner *et al.* (1962), concentrações de sal acima de 2% do sistema utilizado, resultaram em reduções significativas nos desempenhos no processo de nitrificação e desnitrificação, observou-se que a desnitrificação foi mais sensível ao sal em comparação com nitrificação.

Estudo realizado por Kargi e Dincer (1996), a fim de quantificar os efeitos adversos de sal sobre o tratamento biológico de águas residuais salinas mostrou que as altas concentrações de sal no afluente causaram plasmólise e perda de atividade das células, resultando em baixa eficiência de remoção da matéria orgânica.

Os efluentes das indústrias pesqueiras na maior parte são tratados pelo processo de lodo ativado. O processo não tem sido eficiente, devido às variações na concentração de sal e carga de poluentes. MOON *et al.* (2003), utilizaram um RBS para verificar os problemas causados pelo aumento da concentração de NaCl sobre os flocos e na remoção da DQO. Eles concluíram que os efeitos do aumento da salinidade sobre a eficiência de remoção da DQO apareciam mais rápido, do que sobre o tamanho e a dimensão fractal dos flocos, que decaíam devido à ruptura desses aglomerados.

Estes fatores revelam que a abrupta elevação da salinidade na alimentação parece afetar: primeiro a biodegradação da matéria orgânica e depois as características dos flocos.

Pesquisa realizada por Kargi e Uygur (2005), utilizando um RBS, avaliaram o efeito da inibição de sal (NaCl) na remoção de DQO e nutrientes (N-NH₄ e P-PO₄). Tentando estabilizar no RBS uma percentagem de remoção de DQO acima de 90% para um teor salino abaixo de 0,5% (5 g.L⁻¹), observou-se que a percentagem de remoção de DQO caiu drasticamente, quando a concentração salina variou de 0 a 6%, passando de 96 para 32% de remoção de DQO.

3.11 Respirometria

A respirometria é uma ferramenta que possibilita a medição da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO), exercida pelos microrganismos aeróbios e por isso mede indiretamente também a taxa de utilização do material orgânico. A medição pode ser realizada através da determinação por respirômetro aberto ou por respirômetro fechado.

Os respirômetros fechados não permitem trocas gasosas entre o ambiente e o material. Sendo assim torna-se desvantajoso por apresentar resultado lento e só poder ser usadas bateladas de licor misto, permitindo a determinação da demanda do oxigênio apenas de uma amostra coletada num determinado instante. Exemplo de respirômetro fechado é o frasco de DBO, este tipo de respirômetro é bastante aplicado na engenharia sanitária, em especial na determinação da DBO.

Os respirômetros abertos caracterizam-se pela exposição do meio de reação ao ambiente atmosférico, considerando a reoxigenação através de aeradores em sua estrutura de funcionamento. Quando o respirômetro é aberto, pode ser do tipo contínuo (aeração constante) ou semicontínuo (intervalos de aeração e não aeração).

- Respirômetros semicontínuos: a TCO é determinada a partir da variação da concentração de OD em função do tempo. O princípio da determinação semicontínua da taxa de consumo de oxigênio é bastante simples, baseia-se em interrupções planejadas da aeração em um reator de lodo ativado. Durante os períodos sem aeração, se observa a diminuição da concentração de OD. Estabelecem-se duas concentrações de referência: uma superior, OD_{sup} e um inferior, OD_{inf} . Quando se aplica aeração a concentração de OD é elevada de um valor mínimo (OD_{min}) até um valor máximo (OD_{max}), sendo então a aeração interrompida. O decréscimo de OD devido à atividade das bactérias presentes no licor misto é registrado em função do tempo até que se estabeleça o valor mínimo pré-fixado, quando então o valor da TCO é calculado de acordo com a equação abaixo:

$$TCO = \frac{dOD}{dt} = \frac{OD_{m\acute{a}x} - OD_{m\acute{i}n}}{t_1 - t_0}$$

O fator de grande relevância nos testes respirométricos abertos é a praticidade na determinação da TCO e na realização do monitoramento on-line, esse processo resulta numa economia de tempo, podendo obter resposta rápida em situações atípicas, que possam causar danos aos processos biológicos.

Por outro lado para aplicar o método semicontínuo em sistemas de tratamento de grande porte, torna-se inviável por não poder ligar e desligar os motores dos aeradores com muita frequência, sobre pena de danificar o equipamento rapidamente. Outra limitação é quanto ao desligamento da aeração, pois ocorre à sedimentação do material suspenso, e não permite uma leitura correta da TCO.

- Respirômetros contínuos: a TCO é medida sobre aeração contínua do licor misto, e pode ser usado nos sistemas em escala real, com aeradores ligados continuamente. Para que TCO possa ser determinada é preciso encontrar a constante de transferência K_{la} e a concentração de saturação de OD no efluente do sistema de tratamento para uso da equação:

$$TCO = K_{la}(OD_s - OD_i)$$

Os testes respirométricos permitem avaliar o efeito tóxico de algum componente afluente, realizar o balanço de massa em sistemas de tratamento de lodo ativado e determinar as constantes cinéticas de organismos autotróficos e heterotróficos presentes em sistemas de tratamento aeróbio, também tem grande possibilidade de aplicação em outros campos, em especial no controle de automação de sistemas de tratamento de esgoto. Além do mais, possibilita determinar a capacidade de oxigenação dos aeradores.

Para a investigação experimental desta dissertação foi utilizado o respirômetro Beluga modelo S4.0C, do tipo aberto e semicontínuo, desenvolvido pela Biotec soluções, Comércio e Indústria de Equipamentos de Controle Ambiental Ltda.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização e local da pesquisa

Para atender aos objetivos propostos nesta dissertação, a pesquisa foi desenvolvida em duas etapas:

- 1) A determinação da constante de transferência do aerador em sistema de lodo ativado em função da concentração de lodo e de sal (NaCl) e
- 2) Aplicação da respirometria para determinar a influência da concentração de sal (NaCl) sobre a atividade metabólica do lodo.

Neste capítulo serão descritas as etapas e atividades realizadas no período de estudo.

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), localizada no bairro do Tambor em Campina Grande, numa área pertencente à Universidade Estadual da Paraíba e Universidade Federal de Campina Grande (UEPB/UFCG).

4.2 Material

4.2.1 Descrição do sistema de lodo ativado

O reator para geração de lodo foi construído em acrílico de forma cilíndrica, com 22 cm de diâmetro e 50 cm de altura, com volume útil de 15 litros. Esse sistema foi projetado com a finalidade de produzir lodo aeróbio, a partir do esgoto sanitário. O esgoto afluente era proveniente da rede coletora de esgotos da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA. Era bombeado de um ramal do emissário que transporta os esgotos domésticos da cidade de Campina Grande, passando pelo campo experimental do laboratório. No bombeamento foi utilizado conjunto motor-bomba do poço de visita para um tanque de armazenamento de capacidade de 2m³. A partir deste o esgoto era encaminhado por gravidade até o reator. O reator foi operado em regime de bateladas sequenciais, com uma alimentação diária.

No sistema de lodo ativado, RBS, instalou-se um agitador mecânico de eixo vertical com palhetas, que era acionado por um motor trifásico, 1/3 HP de baixa rotação (45rpm). Esta agitação assegurava a suspensão do lodo, o contato deste com toda a massa líquida e um aerador/compressor (tipo nebulizador), que insuflava bolhas de ar através de pedras porosas presas no fundo do reator, garantindo o suprimento do oxigênio dissolvido (OD) aos microrganismos.

4.2.2 Operação do sistema de lodo ativado para geração do lodo

A investigação experimental foi iniciada em julho de 2011, a duração de 4 meses. Durante toda a investigação, o reator RBS foi operado, concomitantemente, com os ensaios respirométricos.

A ideia básica da investigação experimental era produzir lodo suficiente para realizar os experimentos, que se planejavam de acordo com a teoria de lodo ativado apresentado por Van Haandel e Marais (1999).

A idade do lodo durante a investigação era de 5 dias, como o volume do reator era 15L, a produção do lodo de excesso (licor misto) foi 3L/d, esta produção era adensada até 1L de lodo concentrado. No reator a concentração do lodo era de 5 g/L, totalizando 15g/L, quando concentrado. Usando a teoria de lodo ativado, calcula-se que para produzir uma massa de lodo de 5g/d com uma idade de lodo de 5 dias, a uma temperatura ambiental de 25°C, requer uma carga orgânica de aproximadamente 40gDQO/d.

A alta carga orgânica aplicada diariamente foi utilizada para simular a alta concentração de sólidos presentes nos sistemas MBBR ou MBR, geralmente se situa na faixa de 10 g/L, tendo um máximo de uns 15 g/L. Como os testes de respirometria eram realizados em um béquer de 1L, precisou-se adensar o lodo do sistema gerador para uma concentração de 15 g/L.

O volume de bateladas diárias aplicadas nos 15L de volume do reator, que gerava o lodo era 10L. Portanto era necessária uma concentração de aproximadamente $40/10 = 4$ gDQO/L no afluente, para gerar a quantidade de lodo desejada. Como a concentração do esgoto era muito menor, adicionou-se material orgânico, composto por proteínas e carboidratos, o qual resultava numa massa de

DQO aplicada de $37,5\text{gDQO}\cdot\text{d}^{-1}$, sendo o restante aportado pelo material orgânico no próprio esgoto.

Tendo-se um volume útil de licor misto de 15L, para manter a idade de lodo aeróbio de 5 dias, determinada para o sistema, diariamente eram descartados 3 litros do lodo de excesso do reator aerado. A vazão afluente, o descarte do lodo de excesso, a descarga do sobrenadante e o tempo de aeração foram controlados manualmente. O lodo de excesso era coletado e armazenado em cones de Imhoff, gerando um volume total de aproximadamente 1 litro de lodo concentrado, o mesmo era encaminhado para os testes respirométricos.

4.3 Testes respirométricos

Para determinar a constante de transferência de oxigênio foram realizados testes respirométricos, do tipo aberto e de forma semicontínua. Um aerador era ligado ao respirômetro, que controlava a aeração através do software S4.0C, que acompanha o equipamento. O respirômetro ativava o aerador, quando a concentração de OD atingia um limite inferior estabelecido, desativando-o quando este atingia um limite superior também estabelecido, iniciando ciclos de períodos com e sem aeração. Desta maneira determinava-se a TCO semicontinuamente (VAN HAANDEL e CATUNDA, 1982). Os dados de TCO, OD e temperatura foram registrados automaticamente, através do software em arquivos do Excel.

A taxa de consumo de oxigênio (TCO) é calculada através da variação da concentração de OD em função do tempo, quando não se aplica aeração. Nestas condições se observa uma diminuição linear de OD com o tempo e a TCO é determinada como:

$$\text{TCO} = (d\text{OD}/dt) = (\text{OD}_{\text{max}} - \text{OD}_{\text{min}}) / \Delta t \quad (4.1)$$

TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$);

OD_{max} : concentração de oxigênio dissolvido de referência superior ($mgO_2.L^{-1}$);

OD_{min} : concentração de oxigênio dissolvido de referência inferior ($mgO_2.L^{-1}$);

Δt : variação do tempo (h).

4.4 Determinação da CO e da constante de transferência de aeração

4.4.1 Capacidade de Oxigenação (CO)

Pela lei de Fick a capacidade de oxigenação de um aerador é proporcional à diferença que existe entre a concentração de saturação do oxigênio e a concentração de oxigênio dissolvido na fase líquida, que envolve o aerador. A constante de proporcionalidade se chama a constante de transferência. Assim tem-se:

$$CO = K_{la} * (OD_s - OD_l) \quad (4.2)$$

Onde:

CO = capacidade de oxigenação por unidade de volume ($gO_2.L^{-1}h^{-1}$);

K_{la} = constante de transferência de oxigênio (h^{-1});

OD = concentração de oxigênio dissolvido (mg/L).

Os índices "s" e "l" se referem à concentração de saturação e atual de OD na fase líquida respectivamente, sendo que no caso da "fase líquida", significa o licor misto perto do aerador, onde ocorre a transferência do oxigênio, fase gasosa para a fase líquida.

Tendo definida a capacidade de oxigenação, pode-se expressar a capacidade de oxigenação máxima, igualando a concentração atual de OD à concentração mínima. Na realidade no sistema de lodo ativado a concentração de OD não pode ser zero, porque neste caso o lodo teria más propriedades biológicas e mecânicas. Por esta razão, considera-se que a concentração mínima na prática tem de ser igual

à concentração crítica, abaixo do qual o oxigênio começa a ser um fator limitante no metabolismo.

$$CO_{\max} = K_{la} \cdot (OD_s - OD_{cr}) \quad (4.3)$$

CO_{\max} : Capacidade de oxigenação máxima, massa de oxigênio transferido por unidade de tempo e por unidade de volume;

K_{la} : Constante de transferência de oxigênio (h^{-1});

OD_s : Concentração de saturação de oxigênio;

OD_{cr} = concentração de oxigênio dissolvido mínimo ou crítico que deve ser mantido no reator ($mg \cdot L^{-1}$).

4.4.2 Constante de transferência de aeração (K_{la})

O valor da constante de transferência (K_{la}) depende do tipo de aerador (mecanismo, geometria, profundidade de imersão e tamanho das bolhas insufladas), e constitui o parâmetro de fundamental importância na avaliação da sua qualidade.

O reator utilizado nos ensaios respirométricos foi um Béquer, possuindo um volume total de 2 litros. O aerador utilizado foi do tipo nebulizador, que insuflava bolhas de ar através de pedras porosas presas no fundo do reator, o aparelho garantia uma vazão de 8L/min e uma potência de 30W.

Na aeração do reator tem-se a difusão do oxigênio do ar em meio líquido (água), considerando-se a hipótese de mistura perfeita na fase líquida, supõe-se que a concentração volumétrica de oxigênio seja constante ao longo da coluna de aeração. Essa consideração de mistura perfeita está presente na maioria dos trabalhos em que se deseja modelar a transferência de oxigênio em reatores.

Com relação às considerações acima e caso não haja consumo do oxigênio no meio líquido em aeração (sem lodo), a taxa de variação da concentração de oxigênio dissolvido pode ser expressa na forma de uma reação de primeira ordem:

$$(dOD/dt) = K_{la}(OD_s - OD_{cr}) \quad (4.4)$$

No entanto, em sistemas de lodo ativado, há dois mecanismos que afetam a concentração de OD e sua variação com o tempo pode ser descrito como:

$$dOD_l/dt = (dOD_l/dt)_a + (dOD_l/dt)_c = K_{la}(OD_s - OD_l) - TCO \quad (4.5)$$

Quando a concentração de OD não varia com o tempo a taxa de aeração se iguala a taxa de consumo de oxigênio. Neste caso há um equilíbrio que se expressa como:

$$dOD_l/dt = 0 = (OD_s - OD_{eq}) - TCO \quad (4.6)$$

Onde:

(dOD_l/dt) : taxa de variação da concentração de oxigênio no licor misto ($mgO.L^{-1}.h^{-1}$);

TCO : Taxa de consumo de oxigênio ($mgO.L^{-1}.h^{-1}$).

Quando o consumo de oxigênio pelas bactérias é igual à taxa de produção pelo sistema de aeração, e a concentração de OD adquire seu valor de equilíbrio o valor de K_{la} no licor misto pode ser determinado como:

Taxa de produção de O_2 = taxa de consumo de O_2

$$K_{la} (OD_s - OD_l) = TCO \quad (4.7)$$

Enquanto a concentração de OD não adquire seu valor de equilíbrio, seu valor pode ser expresso em função do tempo pela integração da equação diferencial (4.7):

$$OD_l = (OD_s - TCO/K_{la}) * (1 - \text{Exp}(-K_{la}t)) + OD_o * \text{Exp}(-K_{la}t) \quad (4.8)$$

OD_t = Concentração de O_2 no licor misto em um tempo qualquer ($mgO_2.L^{-1}$);

OD_s = Concentração de saturação ($mgO_2.L^{-1}$);

OD_0 = concentração inicial de O_2 , ($mgO_2.L^{-1}$);

T = Tempo (minuto ou hora);

K_{la} = Constante de transferência de oxigênio (min^{-1} ou h^{-1});

TCO = Taxa de Consumo de Oxigênio.

Para ser validado o método na determinação do K_{la} a partir da integração da equação diferencial (4.7), a TCO tem que permanece constante durante o intervalo da integração.

4.5 Equipamentos utilizados no teste respirométrico

Na figura 4.1 estão apresentados os equipamentos utilizados nos testes respirométricos.

- CPU (Central Processing Unit) com o software S4.0C instalado e seus periféricos (monitor, mouse, teclado);
- Respirometro Beluga com saída para a CPU, aerador e entrada para o eletrodo de OD;
- Aerador de aquário com pedra porosa;
- Eletrodo de oxigênio;
- Béquer com 2 litros de capacidade;
- Agitador magnético com bastão, para manter o lodo em suspensão.

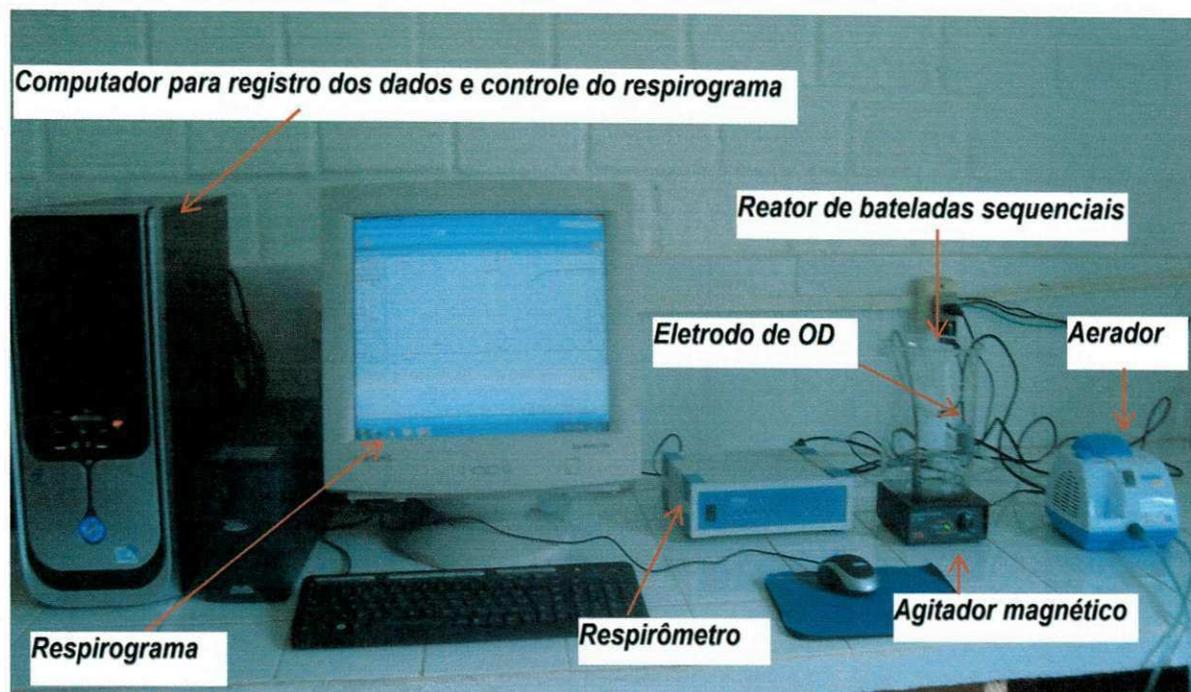


Figura 4.1: Esquema do sistema montado para realizar os testes respirométricos.

4.6 Ensaio respirométricos na determinar da Capacidade de Oxigenação

4.6.1 Influência da concentração de lodo

Tendo-se estabelecido um procedimento para determinar o valor de K_{la} e a concentração de saturação do OD, procedeu-se uma série de testes nos quais foram determinados estes valores em função da concentração de lodo.

Para verificar a influência que a concentração de lodo exercia sobre a Capacidade de Oxigenação (CO), foram realizados testes respirométricos específicos para esse fim.

O lodo utilizado para eles era coletado do reator aeróbio. Inicialmente coletava-se 3L do licor misto do reator aeróbio homogeneizado e armazenava-se em cones de Imhoffe, ficavam sedimentando durante 45 minutos. Após a sedimentação dos sólidos nos cones, o sobrenadante era descartado, em seguida coletava-se e armazenava-se apenas o lodo sedimentado, adquirindo-se no total um litro de lodo

concentrado, o qual era armazenado no béquer de dois litros para a realização dos ensaios.

A metodologia a seguir descreve as etapas do ensaio:

- Ligava-se o respirômetro e esperava-se 15 minutos, para então se calibrar o eletrodo de oxigênio com o valor de saturação da temperatura ambiente e altitude local;
- Deixava o lodo concentrado sobre agitação e emergia o eletrodo de OD, ligado ao respirômetro, dando início aos ciclos com e sem aeração, tendo como referências a concentração máxima de OD de 8mg/L e mínima de 1mg/L. O software do respirômetro calculava a TCO, por regressão linear, através dos dados de depleção de OD;
- Depois de estabelecida a respiração endógena, que era indicada por uma TCO constante mostrada na tela, a referência superior era aumentada para 8 mg/L, sabendo-se que este valor não podia ser atingido. Nestas condições a aeração durava o período máximo que o software do respirômetro permitia, num período de 5 minutos.
- Determinava-se então, algumas vezes repetidas, o valor da TCO e variação da concentração de OD em função do tempo, durante o período de aeração que precedia a determinação da TCO. Os valores de OD e da TCO eram armazenados no computador, numa planilha Excel, que o software criava automaticamente. Iniciava-se então uma nova série, ou período de aeração e interrupção de aeração para determinar a concentração de OD_i em função do tempo e a TCO, respectivamente;
- Curvas teóricas do valor de OD_i em função do tempo eram criadas para diferentes valores de K_{ia} e OD_s com auxílio da Eq (4.8), na qual se sabia o valor OD_0 pelo valor armazenado na planilha para $t = 0$;
- Adotava-se como verdadeiro os valores de OD_s e K_{ia} que davam a melhor correlação entre a curva teórica e os pontos experimentais de OD_i em função do tempo. Estes valores valiam para a concentração de lodo que prevalecia durante o teste;

- Em seguida o teste era repetido para uma concentração menor de lodo. Para tanto alíquotas de 250 ml eram retiradas do béquer e substituídas por efluente do sistema gerador, diminuindo-se a concentração de lodo;
- Parte das alíquotas de 250 ml era usada para fazer testes da concentração de lodo;
- O procedimento de aerar, e não aerar era repetido para a concentração de lodo reduzida, os valores de OD_s e K_{la} eram determinados para esta concentração reduzida;
- Realizando-se testes respirométricos, após retiradas sucessivas de alíquotas de lodo, obtinha-se valores de K_{la} e OD_s para as diferentes concentrações de lodo no reator.

A Figura 4.2 contém o respirograma de um teste descrito acima. A tela apresenta dois gráficos. No gráfico inferior, observa-se a TCO em função do tempo, expressa em $mgO_2.L^{-1}.h^{-1}$. Os valores da TCO são calculados a partir da diminuição da concentração do OD nos períodos sem aeração. No gráfico superior vê-se a concentração do OD em função do tempo. Traçado a partir dos dados do OD medidos durante os períodos com aeração (quando atingia concentração máxima de OD) e os sem aeração, quando a concentração do OD era reduzida.

Os momentos da interrupção e do recomeço da aeração na Figura 4.2 foram determinados por dois critérios independentes: (1) A aeração era interrompida, quando a concentração de OD chegava ao valor de referência máxima ou (2) quando o tempo de aeração excedia um determinado valor que se podia especificar no software. Nos testes a concentração de OD tinha o valor inatingível de 8 mg/L, como este valor não era alcançado nos testes, a interrupção era determinada pelo valor de duração máximo da aeração, especificado em 5 minutos.

Quanto ao recomeço da aeração, iniciava-se quando: (1) o valor de OD chegava ao valor da referência mínima, ou (2) o desvio padrão da melhor reta através dos pontos de medição de OD é menor que um valor de referência, que se insere na tela do software.

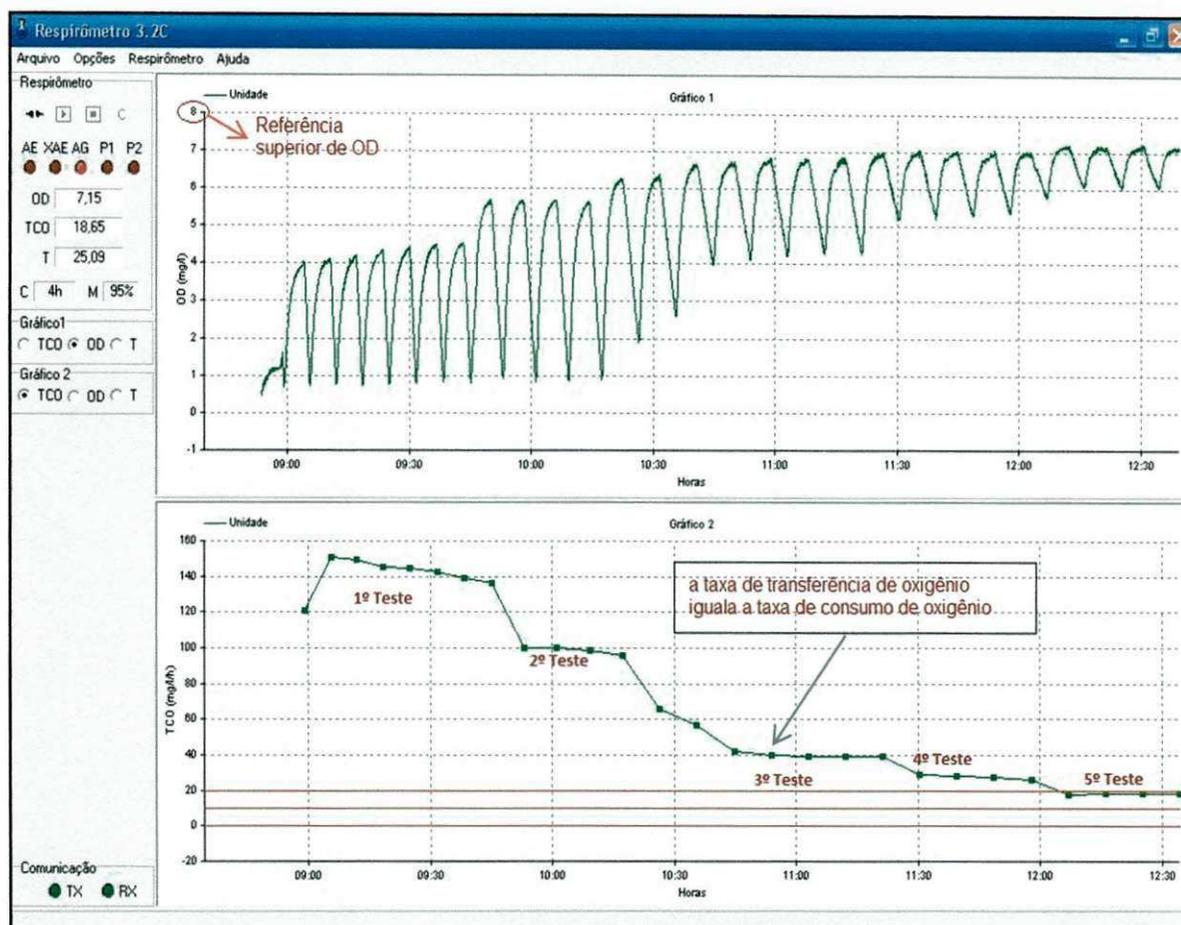


Figura 4.2: Exemplo de um respirograma obtido em um teste com o lodo em diferentes concentrações de SST, para a determinação da constante de transferência de aerador.

A Figura 4.2 mostra para diferentes testes (testes 1 a 5 indicadas no gráfico da TCO) quanto era o valor da TCO para as diferentes concentrações. A partir dos valores da TCO e de OD registrados pelo respirômetro, calculavam-se os valores de K_{la} e de OD_s correspondentes às mesmas concentrações do lodo.

Determinação da constante de transferência (K_{la})

Os valores de K_{la} foram determinados a partir da integração da equação diferencial (4.8), que ocorreria no melhor ajuste de curva do oxigênio dissolvido em função do tempo, tiveram como parâmetros conhecidos a concentração inicial de oxigênio dissolvido e a taxa de consumo de oxigênio. A concentração de saturação de OD_s e da constante de transferência (K_{la}) inicialmente desconhecidas. Os seus valores foram determinados por tentativas, inseriam-se diferentes valores na

equação do oxigênio dissolvido teórico (OD_t) em função do tempo, e também aqueles valores que resultassem na melhor correlação entre os pontos experimentais de OD e os valores teóricos gerados pela equação.

Na figura 4.3 é apresentado um exemplo da curva que estabelecia a correlação de OD experimental com o OD teórico, a partir das estimativas iniciais da constante de transferência K_{la} e OD_s .

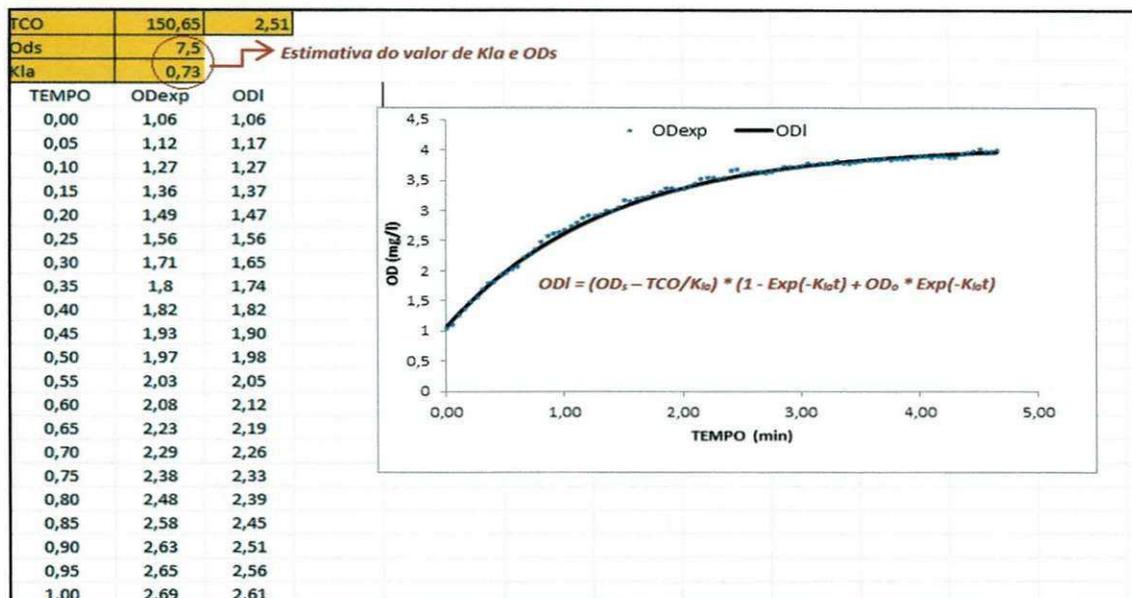


Figura 4.3: Exemplo da fase de estimativa inicial dos parâmetros de ajuste.

Os dados obtidos no ensaio foram: concentração de oxigênio dissolvido em função do tempo e a TCO, armazenados numa planilha eletrônica Excel. Os dados do OD eram registrados a cada 6 segundos e os da TCO calculados pelo respirometro a cada 4 minutos.

4.6.2 Influência das diferentes concentrações de sal (NaCl)

Para determinação da influência da concentração de sais sobre a capacidade de aeração utilizou-se os mesmos equipamentos usados nos testes respirométricos, sobre a influência da concentração do lodo, ver seção (4.5).

Na figura 4.4 apresenta um exemplo do respirograma obtido em um teste com o licor misto em diferentes concentrações do sal (NaCl), para a determinação da constante de transferência do aerador.

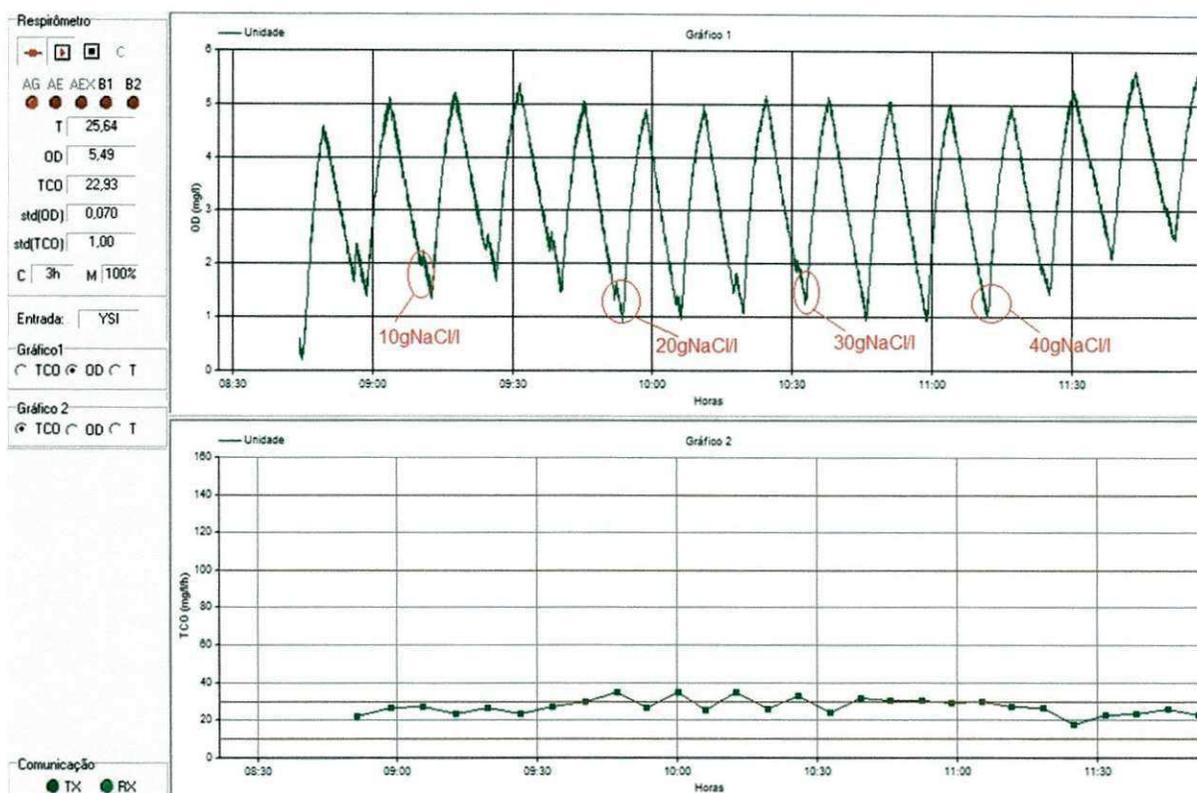


Figura 4.4: Respirograma obtido em um teste com diferentes concentrações de NaCl, para a determinação da constante de transferência de aeradores.

A avaliação da influência que a concentração do sal exercia sobre a Capacidade de Oxigenação (CO), resultava a partir de testes, usando o respirometro. A amostra utilizada nos testes era coletada do reator aeróbio, RBS, utilizou-se um volume de 1L do licor misto, que era armazenado no béquer de dois litros e posteriormente submetido aos ensaios.

A metodologia era a mesma descrita acima para testes de CO em função da concentração de lodo, porém nestes testes se manteve uma única concentração do lodo, e se incrementava a concentração de sal no reator. No caso dos testes com sal realizaram-se testes para determinar a influência do sal sobre a eficiência da aeração e sobre a capacidade metabólica do lodo. Para descrever a influência da

concentração de sal sobre a aeração seguiu-se os mesmos passos descritos na secção anterior, que analisou a influência da concentração de lodo.

4.7 Influência do sal (NaCl) sobre o metabolismo heterotrófico aeróbio

Os testes respirométricos descritos acima podem ser usados, não somente, para a determinação da influência da concentração de sólidos sobre a capacidade de oxigenação, mas também para avaliar a influência sobre a capacidade metabólica do lodo. Para tanto é preciso determinar qual a relação entre a concentração do sal e a taxa máxima de respiração exógena, quando se adiciona um substrato ao lodo.

Para realização dos testes respirométricos com bactérias heterotróficas, foi utilizado o substrato acetato de sódio ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), por ser rapidamente consumido pelas bactérias.

4.8 Determinação da Capacidade metabólica de bactérias heterotróficas

Foram realizados testes respirométricos para determinar as constantes cinéticas das bactérias heterotróficas, a partir da determinação da TCO máxima (TCO_{max}) e da TCO endógena (TCO_{end}). A finalidade era verificar a capacidade metabólica do lodo, através da influência das diferentes concentrações do sal (NaCl).

Segue o método utilizado durante os testes respirométricos, com suas respectivas etapas:

- Uma amostra de 1L do lodo era submetida à agitação e a aeração controlada pelo respirômetro, até que todo material orgânico biodegradável presente na amostra fosse utilizado, e se estabelecesse uma TCO aproximadamente constante e mínima (TCO endógena), correspondente à respiração endógena;
- Quando se estabelecia a respiração endógena, era adicionado 10gNaCl/L (cloreto de sódio), concomitantemente, adicionava-se o substrato, sendo registrada pelo respirômetro a TCO exógena;

- Esperava-se restabelecer a respiração endógena, que caracterizou a utilização completa do substrato adicionado;
- A respiração exógena foi determinada pela diferença entre a TCO total e a TCO endógena;
- A integração da curva da respiração exógena resultava no consumo de oxigênio para o metabolismo do substrato e da fração da DQO catabolizada;
- Quando a TCO_{end} era restabelecida adicionava-se novamente o cloreto de sódio (NaCl), na mesma concentração 10gNaCl/L, resultando em concentrações acumulativas, e também o substrato;
- A finalização deste teste caracterizava-se, quando o cloreto de sódio era adicionado e tornava-se um fator limitante para o metabolismo das bactérias heterotróficas, tornando-se impraticável os dados registrados pelo respirômetro da TCO exógena.

A partir do método descrito e com o auxílio da teoria de lodo ativado desenvolvida por Marais e seus colaboradores, determinavam-se as constantes cinéticas das bactérias heterotróficas: concentração do lodo ativo (X_a), taxa de utilização específica máxima do substrato solúvel (K_{ms}) e a taxa de crescimento específica máxima (μ_m).

4.8.1 Determinação da concentração de lodo ativo

A partir da TCO endógena determinada na ausência de material extracelular, também é possível determinar o valor de X_a (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999). A equação 4.9 apresenta uma maneira do cálculo utilizado para determinar a concentração das bactérias heterotróficas:

$$X_a = TCO_{end} / (f_{cv}bh(1-f)) \quad (4.9)$$

Onde:

X_a : concentração de lodo ativo;

TCO_{end} : taxa de consumo de oxigênio devido à respiração endógena;

f_{cv} : proporção entre a concentração de sólidos voláteis e a DQO de um lodo 1,5 mg SSV/mgDQO (van Haandel e Marais 1999);

f : fração de lodo ativo que quando decai permanece como resíduo endógeno 0,2;

bh : constante de decaimento de lodo ativo $0,24(1,04)^{(t-20)} d^{-1}$ (Van Haandel e Marais 1999).

4.8.2 Determinação da fração catabolizada

A fração catabolizada era calculada diretamente do respirograma como a fração da DQO que era oxidada na respiração exógena:

$$f_{cat} = mTCO_{exo}/mS_s \quad (4.10)$$

Onde:

f_{cat} = fração da DQO catabolizada;

$mTCO_{exo}$ = massa de oxigênio consumido para respiração endógena por litro de reator;

mS_s = massa de DQO adicionado por litro de reator.

4.8.3 Determinação da taxa de utilização específica máxima do substrato solúvel (K_{ms})

Obtida a fração catabolizada determinava-se facilmente a taxa de utilização do substrato da seguinte forma:

$$r_{us} = TCO_{exo}/f_{cat} \quad (4.11)$$

A taxa máxima da respiração endógena estava relacionada com a taxa máxima de utilização de material orgânico:

$$r_{usm} = k_{ms}X_a = TCO_{exom}/f_{cat} \quad (4.12)$$

Sendo:

K_{ms} : taxa de utilização máxima do material carbonáceo ($\text{mgDQO} \cdot \text{mgX}_a^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$);

TCO_{exom} : taxa de consumo de oxigênio exógena máxima observada;

r_{usm} = taxa máxima de utilização do substrato.

4.8.4 Determinação da taxa de crescimento das bactérias heterotróficas

A constante μ_m indica qual o aumento máximo da massa do lodo ativo, por unidade de tempo. A constante de utilização do material orgânico e a constante de crescimento máximo do lodo ativo são vinculadas:

$$\mu_m = Y_{ae} * K_{ms} \quad (4.13)$$

Sendo:

μ_m : taxa de crescimento específico máximo das bactérias heterotróficas (/d);

Y_{ae} : coeficiente de rendimento das bactérias heterotróficas ($0,45 \text{ mgX}_a \cdot \text{mgDQO}^{-1}$);

K_{ms} : taxa de utilização máxima do material carbonáceo ($\text{mgDQO} \cdot \text{mgX}_a^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

A constante de rendimento representa a produção de lodo ativo por unidade de massa de DQO metabolizada, e pode ser expressa:

$$Y_{ae} = f_{\text{ana}}/f_{\text{cv}} = (1-f_{\text{cat}})/f_{\text{cv}} \quad (4.14)$$

Onde:

f_{ana} = fração anabolizada da DQO metabolizada f_{cv} = proporção entre DQO e massa de lodo volátil = $1,5 \text{ mgDQO}/\text{mgSVS}$.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a investigação experimental. Serão discutidos dois aspectos: (i) determinação da capacidade de aeração do aerador em diferentes concentrações do lodo e do sal (NaCl) e (ii) determinação da influência da concentração do sal (NaCl) sobre a atividade metabólica do lodo.

5.2 Determinação da capacidade de aeração do aerador em diferentes concentrações de lodo

Para estabelecer a influência da concentração de lodo sobre a eficiência da aeração, foram realizados ensaios respirométricos, a fim de determinar a constante de aeração, visando obter diferentes concentrações de sólidos suspensos no reator.

Nesta etapa será apresentado um ensaio, como exemplo, para discussão da capacidade de oxigenação. No apêndice encontram-se os demais respirogramas obtidos durante a investigação experimental.

Na figura 5.1 mostra-se o respirograma característico para a realização dos ensaios experimentais na determinação da influência da concentração do lodo, sobre a constante de transferência (K_{la}). Na parte superior do respirograma, descrito como gráfico 1, observa-se vários perfis do ciclo de aeração do respirômetro, onde são apresentados as concentrações do oxigênio dissolvido em função do tempo. Na parte inferior do respirograma, no gráfico 2, observa-se a taxa de consumo de oxigênio para diferentes concentrações de lodo.

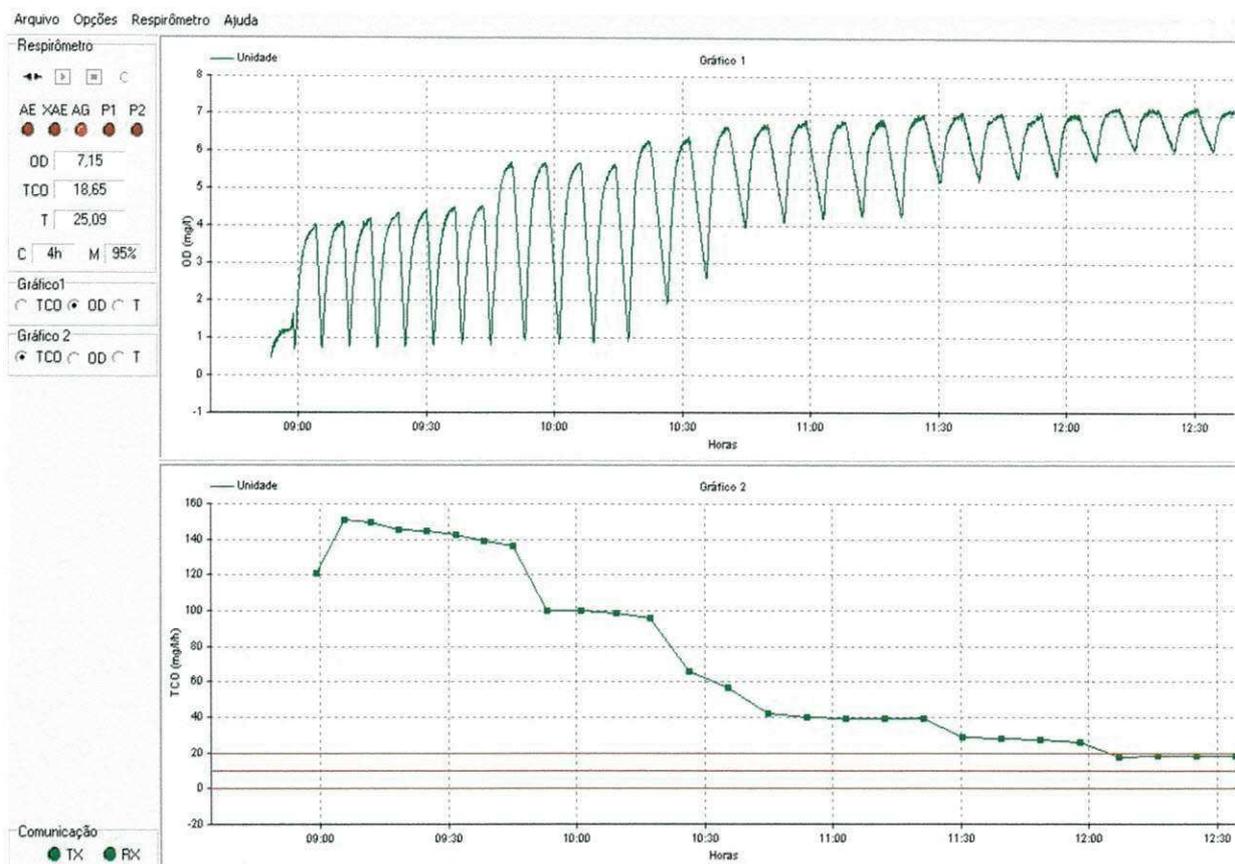


Figura 5.1 – Respirograma obtido durante um teste respirométrico na determinação da constante de aeração.

O respirograma da Figura 5.1 apresenta 5 experimentos com diferentes concentrações de lodo, visando a determinação das constantes de aeração em função da concentração, neste ensaio realizou-se o método semicontínuo, com períodos de aeração, sendo alternados com períodos sem aeração, adotava-se o limite inferior de OD em 1,0mg/L e o limite superior de 8,0mg/L. Observou-se que as concentrações de lodo no tanque de aeração (béquer) diminuía e a taxa de consumo de oxigênio também, e a concentração do oxigênio no meio aumentava, chegando próximo a concentração de saturação.

Na primeira fase do ensaio foram obtidos 6 pontos experimentais para a realização do cálculo do K_{la} , nesta fase o lodo tinha uma concentração de 13,53gSST/L, observa-se que o oxigênio alcançava o valor de referência mínima, estabelecido pelo software de 1mg/L, no entanto o valor de referência superior estabelecido pelo software de 8mg/L não era atingido, porque este valor era maior

que a concentração de saturação do líquido. Todavia o software tem um tempo máximo de aeração (foi selecionado 5 min).

Na segunda fase operava-se o reator com uma concentração menor, pela descarga de 25 % (250 ml) do lodo e sua substituição por efluente. Nesta fase foram realizados 4 determinações da TCO como indica a Figura 5.1.

Para diluições adicionais do lodo os testes foram repetidos até que a concentração de OD aumentava, na medida em que a concentração de lodo diminuía gradativamente. A referência inferior estabelecida não era alcançada, porque bem antes de chegar em $1\text{mgO}_2/\text{L}$ o número de medições da concentração do OD (medida cada 6 segundos) já era suficiente para o computador calcular uma reta com um desvio padrão estabelecido pelo programa, de 0,1 %. Quando o desvio padrão chegava ao valor especificado, o respirômetro reiniciava a aeração, mesmo sem que a concentração de OD tivesse chegado ao limite inferior.

Na Figura 5.2 observa-se as diferentes concentrações de lodo pesquisadas, os pontos da concentração de lodo medidos de 6 em 6 segundos pelo respirômetro durante o período da aeração. Na mesma figura plotava-se curvas do valor teórico de OD em função do tempo pela equação (4.8), inseria-se vários valores da constante K_{la} e de OD_s na equação. O resultado mostrava que para todos os casos era possível obter excelente correlação entre o experimento e a teoria, desde que se selecionassem os valores certos da constante K_{la} e OD_s . Os valores que resultavam a melhor correlação eram adotados como verdadeiros, para cada uma das concentrações utilizadas de lodo.

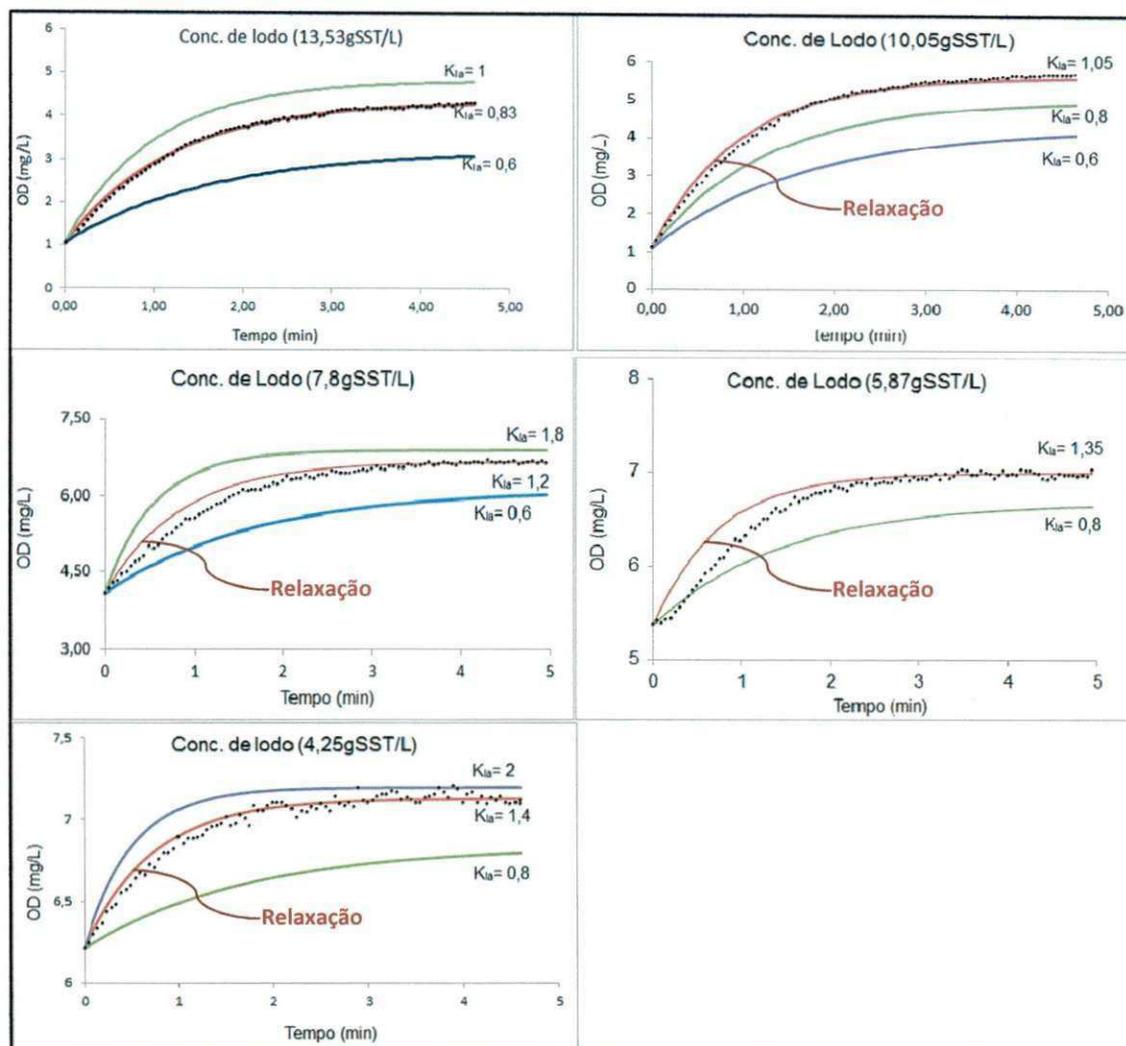


Figura 4.2: Simulações para diferentes valores das concentrações do lodo, na determinação das constantes K_{ia} e variação da concentração do OD experimental e teórico.

Na figura 5.2 a curva vermelha representa o valor teórico calculado e os pontos pretos medidos de 6 em 6 segundos os valores experimentais, medidos pelo respirômetro. Observa-se os dados experimentais e curva teórica para uma concentração de lodo de 13,53 gSST/L e indicam que a melhor correlação se obteve para $K_{ia} = 0,83 \text{ min}^{-1}$. Para a concentração de lodo de 10,05; 7,8; 5,87 e 4,25 gSST/L, corresponde respectivamente para a melhor correlação de K_{ia} de 1,05; 1,2; 1,35 e 1,4. min^{-1} . Observou-se que na medida em que a concentração de lodo no reator diminuía, a constante de transferência de aeração (K_{ia}) aumentava. Demonstrando que a elevada concentração de lodo, sólidos em suspensão na água residuária, teve um efeito marcante sobre a transferência de oxigênio.

Uma análise crítica dos dados experimentais mostra mesmo que houvesse boa correlação do OD teórico e experimental, havia uma tendência deste ser mais baixo que o valor teórico na parte inicial da curva, principalmente quando a variação do mesmo com o tempo for muito grande (concentrações menores do lodo). Este desvio ocorria por causa da relaxação do eletrodo, a variação da concentração do oxigênio era tão alta que o valor medido não correspondia exatamente ao valor verdadeiro, porque o eletrodo tinha uma inércia e não conseguia acompanhar a variação do valor da concentração de OD. Portanto neste caso a curva teórica, e não a curva experimental fornecia a melhor estimativa do valor verdadeiro. Na medida em que aumentava a concentração de OD e a taxa de aeração diminuía, a variação de OD se tornava mais lenta e os valores experimentais e teóricos se aproximavam.

Assim foram tratados todos os dados experimentais obtidos nos cinco experimentos, com diferentes concentrações de lodo. Os valores resultantes da k_{La} e OD_s estão nas Tabelas 5.1 a 5.5, para a gama de concentrações de lodo pesquisada. Os valores médios da K_{La} e OD_s também estão indicados, como também os valores da CO_{max} .

Tabela 5.1: Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} (min^{-1}), OD_s (mg/L) e CO_{max} ($\text{mg.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$) para a concentração do lodo de 13,53 g/L.

PONTOS	TCO	K_{La}	OD_s	OD_{cr}	CO_{max}
1	150,65	0,83	7	1,00	4,98
2	149,69	0,83	7,12	1,00	5,08
3	145,28	0,83	7,15	1,00	5,10
4	144,55	0,83	7,25	1,00	5,19
5	142,23	0,83	7,2	1,00	5,15
6	139,15	0,83	7,2	1,00	5,15
Média	144,02	0,83	7,15	1,00	5,11

Na tabela 5.1 na qual estão apresentados os valores calculados da K_{La} e CO_{max} do aerador, para a concentração de 13,53gSST/L, o valor experimental da

TCO obteve uma média de 144,02mg/L/h ou 2,4mg/L/min, este valor da TCO não condizia com o da TCO_{exo}, por não apresentar material extracelular no ensaio. O valor da K_{la} calculado do ensaio foi de 0,83.min⁻¹, permaneceu constante pelo fato da composição e concentração do licor misto (lodo concentrado), não mudar com o tempo da realização do experimento. Para estimar a capacidade da oxigenação máxima, foi necessário estabelecer o valor da concentração crítica do oxigênio, onde este começa a ser um fator limitante na taxa de consumo. Em tanques de aeração há uma variação de OD, que deve se manter num valor mínimo nas zonas perto da introdução do oxigênio na fase líquida, para que não haja regiões sem OD nas zonas mais afastadas.

Tabela 5.2: Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{la} (min⁻¹), OD_s (mg/L) e CO_{max} (mg.L⁻¹.min⁻¹) para a concentração do lodo de 10.05 g/L.

PONTOS	TCO	K_{la}	OD _s	OD _{cr}	CO _{max}
1	100,01	1,05	7,2	1,00	6,51
2	100,01	1,05	7,2	1,00	6,51
3	98,8	1,05	7,2	1,00	6,51
4	96,09	1,05	7,2	1,00	6,51
Média	98,73	1,05	7,2	1,00	6,51

Na tabela 5.2 observa-se que a TCO teve uma diminuição de 31% com relação ao primeiro experimento (TCO=144,02mg/L/h), uma vez que ocorreu a diluição do licor misto de 25%, pelo o qual foi retirado 250ml de lodo concentrado, e substituído pelo efluente do sistema RBS, resultando na diminuição da concentração de lodo e ocasionando um aumento da K_{la} de 20%. A capacidade de oxigenação foi de 6.51 mgO/L/min.

Tabela 5.3: Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{la} (min⁻¹), OD_s (mg/L) e CO_{max} (mg.L⁻¹.min⁻¹) para a concentração do lodo de 7.8 g/L.

PONTOS	TCO	K_{la}	OD _s	OD _{cr}	CO _{max}
1	41,96	1,25	7,28	1,00	7,85
2	39,98	1,25	7,28	1,00	7,85

3	39,59	1,25	7,28	1,00	7,85
4	39	1,25	7,28	1,00	7,85
5	39,63	1,25	7,28	1,00	7,85
Média	40,03	1,25	7,28	1,00	7,87

Na tabela 5.3 verificou-se que a TCO experimental foi de 40,03 mgO/L/min para a concentração de lodo de 7,8gSST/L, constatando uma diminuição da taxa de consumo de oxigênio de 60% em relação ao ensaio anterior. A constante K_{la} aumentou 34%, quando comparado com a concentração de lodo 13,53g/L e 7,8g/L, a capacidade de oxigênio calculada foi de 7,87 mgO/L/min. O OD_s determinado a partir da correlação entre OD experimental e o teórico foi de 7,28mg/L, demonstrando um pequeno acréscimo com relação ao lodo concentrado da primeira batelada de teste.

Tabela 5.4: Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} (min^{-1}), OD_s (mg/L) e CO_{max} ($\text{mg.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$) para a concentração do lodo de 5,87 g/L.

PONTOS	TCO	K_{la}	OD_s	OD_{cr}	CO_{max}
1	28,73	1,35	7,32	1,00	8,53
2	28,09	1,35	7,32	1,00	8,53
3	27,66	1,35	7,32	1,00	8,53
4	26,16	1,35	7,32	1,00	8,53
Média	27,66	1,35	7,32	1,00	8,53

Observa-se que na tabela 5.4 a TCO diminui 30% com relação à batelada anterior, isto ocorre porque na medida em que a concentração de lodo no reator diminuía, a taxa de consumo de oxigênio também e a concentração do oxigênio no meio aumentava, chegando próximo a concentração de saturação. A capacidade de oxigenação com esta concentração de lodo (5,87gSST/L) foi de 8,53 mgO/L/min, a capacidade de aeracão aumentou 40% em relação a concentração de lodo de 13,53g/L. Observou-se o mesmo comportamento na pesquisa realizada por Dib Gebara et al. (2010), numa investigação experimental, quando comprovou que a

concentração de sólidos suspensos (areia) no tanque de aeração tem influência direta no coeficiente de transferência de oxigênio, K_{la} . No ensaio foi observado que a K_{la} era maior com água limpa, diminuindo com o aumento da concentração dos sólidos suspensos.

Tabela 5.5: Valores experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} (min^{-1}), OD_s (mg/L) e CO_{max} ($\text{mg.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$) para a concentração do lodo de 4,25 g/L.

PONTOS	TCO	K_{la}	OD_s	OD_{cr}	CO_{max}
	17,81	1,4	7,35	1,00	9,21
2	18,59	1,4	7,39	1,00	8,95
3	18,1	1,4	7,35	1,00	8,89
4	18,65	1,4	7,35	1,00	8,89
Média	18,28	1,40	7,35	1,00	8,90

Observa-se nas tabelas 5.1 a 5.5, que a concentração de OD_s calculados nos ensaios realizados não obteve variações significativas. Concluiu-se que os valores estimados de OD_s não teve efeito marcante sobre a capacidade de oxigenação máxima.

A concentração de OD crítico (OD_{cr}) era estabelecido em 1 mg/L para todos os ensaios, este valor era com base na informação de que na prática a concentração de OD mínimo ou crítico mantido em sistema convencional de lodo ativado raramente é inferior a faixa de 0,5 a 1 mg.L^{-1} , para remoção de material orgânico e 1 a 2 mg.L^{-1} para nitrificação. A concentração mínima de OD que deve ser mantida no reator é para garantir que dentro do floco, onde o consumo ocorre, para oxidar material orgânico e amônia, não ocorra à falta deste substrato. No entanto, à medida que a concentração de lodo e a TCO aumenta, poderá ocorrer uma tendência de aumentar a concentração de OD crítico. O fato da concentração de OD mínimo aumentar pode resultar em um acréscimo do consumo de energia para aeração.

Os dados indicaram que a capacidade de aeração do sistema, com uma concentração de 13.53 g/L é uma fração $5.11/8.9 = 0.57$ da capacidade do mesmo aerador, quando a concentração do lodo é de 4.25 g/L. Em outras palavras, o

consumo de energia para transferência de oxigênio num sistema com 13,53 g/L de lodo será 2,0 vezes maior que num sistema com o mesmo aerador, mas com uma concentração de 4,25 g/L. Como normalmente a energia para aeração é um dos maiores fatores de custo de sistemas de lodo ativado, concluiu-se que a alta concentração de lodo em sistema aeróbio deve ser um alvo estudado para avaliar o custo de operação em ETE, e verificar se a introdução dos meios de suporte é viável para o afluente que se deseja tratar. Outro fator que deve ser observado é o tipo de aerador, que deve ser utilizado na transferência da massa de oxigênio.

Análise da viabilidade econômica dos sistemas MBBR está na comparação da diminuição do volume do reator e do decantador, com o custo das membranas ou do leito móvel, incluindo-se custos de investimento e de operação. A análise acima indica claramente que um fator importante é o aumento do custo de energia da aeração, que poderia facilmente dobrar quando a concentração de lodo aumenta de 4-5 g/L (lodo ativado convencional) para 10-15 g/L (MBBR e MBR). Esta constatação é importante, pois considerações sobre o aumento do custo de energia para aeração dificilmente pode ficar fora de uma análise econômica mais refinada.

O efeito dos sólidos em suspensão se torna importante somente quando a concentração de lodo for maior que 10 g.L^{-1} , o que quase nunca será o caso para o licor misto de lodo ativado convencional, que normalmente tem 2 a 5 g/L de sólidos em suspensão. Concentrações acima de 10 g.L^{-1} podem ocorrer em digestores aeróbios tratando lodo adensado (digestão termofílica), e principalmente em sistemas onde a retenção de lodo é aumentado por membranas (MBR, membrane bio reactor) ou pela introdução de suportes no licor misto, no qual o lodo se adere (MBBR, moving biological bed reactor).

Na figura 5.3 apresentam-se várias concentrações de lodo em função da constante de transferência de oxigenação. estes dados foram obtidos a partir de vários ensaios realizados na pesquisa. com diferentes concentrações de sólidos suspensos.

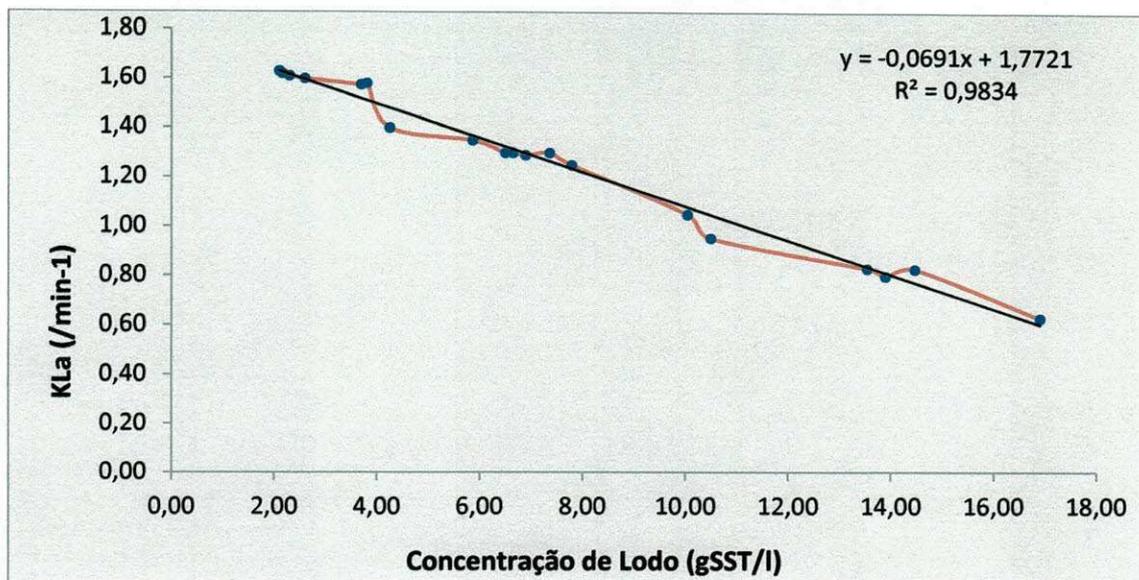


Figura 5.3: Relação entre a constante de transferência de oxigenação e a concentração de SST.

Na figura 5.3 verificou-se que a constante de transferência de aeração depende claramente da concentração de lodo, tendo-se em vista que a capacidade de oxigenação do aerador é proporcional a constante de transferência de aeração. Observou-se que em sistemas tendo licor misto com alta concentração de lodo, aproximadamente de 16 gSST/L, o consumo de energia no mínimo será 2 vezes maior que em sistemas com concentração de lodo em torno de 5 gSST/L.

5.3 Determinação da capacidade de aeração do aerador em diferentes concentrações de sal (NaCl)

Na Figura 5.4 observa-se as diferentes concentrações do sal pesquisadas, os pontos medidos de 6 em 6 segundos pelo respirômetro durante um período de aeração e as curvas do valor teórico de OD em função do tempo pela equação (4.8), inserindo-se vários valores de K_{la} e de OD_s . O resultado mostra que para todos os casos foi possível obter excelente correlação entre o experimento e a teoria, desde que se seleccionassem os valores certos de K_{la} e OD_s . Os valores que davam a melhor correlação eram então adotados como os valores verdadeiros de k_{la} e OD_s , para cada uma das concentrações do sal utilizadas.

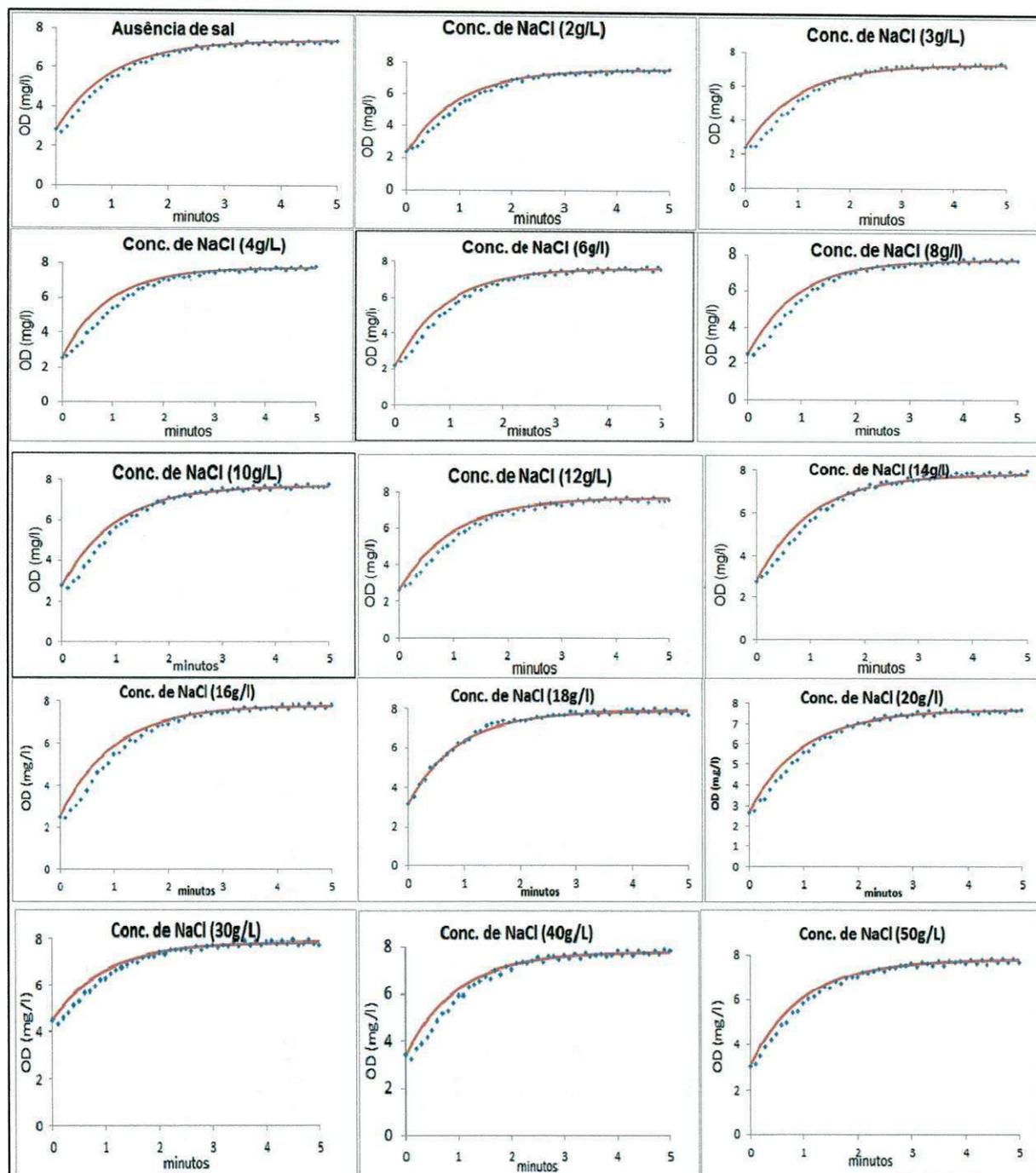


Figura 5.4: Simulações para diferentes valores da concentração de sais (2 à 50g/l) da variação da concentração de OD para valores de K_{la} e a concentração experimental de OD medida em função do tempo.

Na figura 5.4 para cada concentração do sal estudada, nota-se que a constante de transferência de aeração não depende da concentração do sal. Observa-se que os valores de K_{la} para todas as concentrações permaneceram em 1/min e os valores de OD_s em 8mg/L. Tendo-se em vista que a capacidade de oxigenação do aerador é proporcional com a constante de transferência, conclui-se

que em sistemas tendo licor misto com uma concentração do sal de até 50g/L, a capacidade de oxigenação do aerador não será afetada.

5.4 Influência do sal (NaCl) sobre a atividade metabólica do lodo.

Na figura 5.5 apresenta-se o respirograma característico para a realização dos ensaios experimentais na determinação da influência da concentração do sal (NaCl), sobre a atividade metabólica do lodo. Durante um teste respirométrico realizado com uma batelada de lodo aeróbio, no qual foram utilizados diferentes concentrações do NaCl.

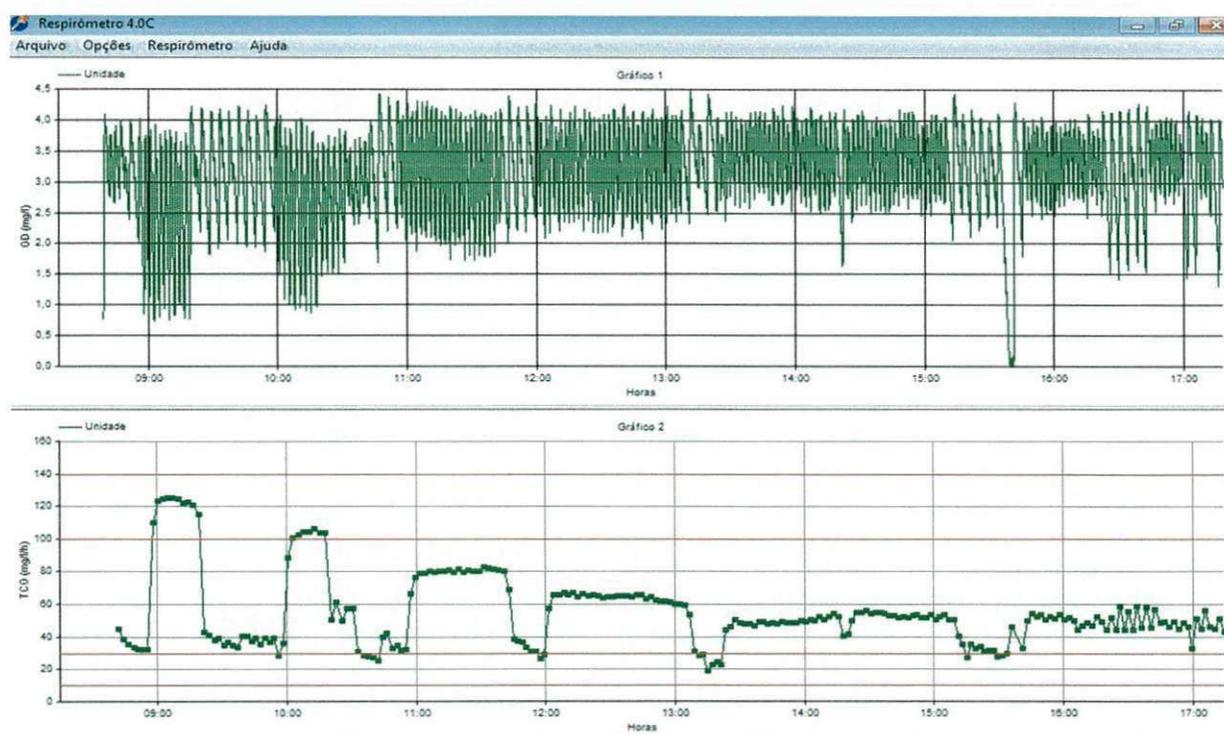


Figura 5.5: Respirograma da TCO após a adição de substrato e sal (NaCl), a uma batelada de lodo ativado.

O respirograma da figura 5.5 mostra seis experimentos, para as determinações da TCO, sendo que dos seis apenas o primeiro não contém NaCl. Para verificar e quantificar a atividade metabólica das bactérias neste ensaio o cloreto de sódio (NaCl) foi adicionado em diferentes concentrações, usava-se a mesma concentração de acetato de sódio (120mgDQO/L) para cada experimento realizado.

A partir dos testes respirométricos foi possível obter dados da TCO_{end} e da $TCO_{máx}$, que subtraída do valor da TCO_{end} fornecia o valor da TCO_{exo} referente à adição do substrato. A partir dos dados experimentais da TCO_{end} se obteve a concentração das bactérias ativas X_a , sabendo-se da X_a calculava-se as constantes da K_{ms} e μ_m .

A seguir na figura 5.6 estão demonstrados os testes realizados no respirograma, apresentado na figura 5.5 de forma separadamente para melhor visualização da adição da DQO e do NaCl.

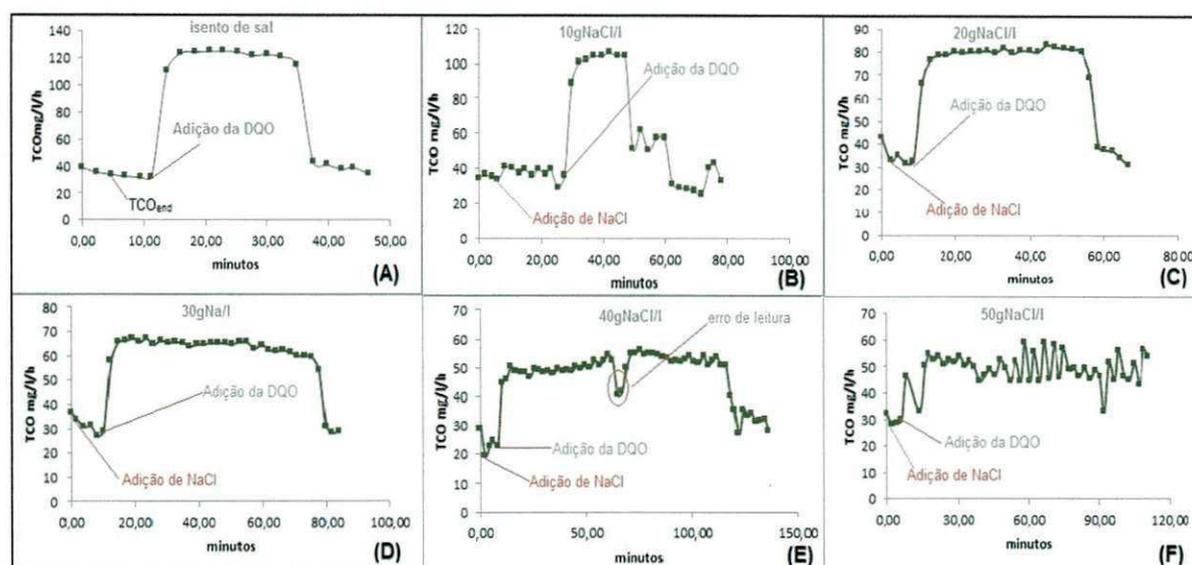


Figura 5.6: Respirogramas típicos dos testes de TCO para determinação da atividade metabólica das bactérias heterotróficas em diferentes concentrações de NaCl

Na figura 5.6 observa-se para todos os ensaios, exceto da figura 5.6 (A), que estabelecendo a TCO da respiração endógena, adicionava-se o NaCl e em seguida o substrato, aumentando rapidamente a TCO até atingir o seu valor máximo. Durante o tempo a TCO_{exo} permanecia constante, refletindo a taxa máxima do metabolismo do substrato adicionado. Esta fase permitia calcular o valor máximo da taxa de respiração exógena (TCO_{exo}). Quando o substrato adicionado era completamente consumido a TCO_{end} voltava a atingir um valor ligeiramente superior da taxa de respiração endógena anterior. A partir deste foi possível determinar alguns aspectos importantes da estequiometria da cinética do metabolismo do substrato e da massa bacteriana (heterótrofas) do lodo. No caso das bactérias heterotróficas estes aspectos são: (1) Proporção anabolismo/catabolismo, esta era calculada a partir do consumo de oxigênio para respiração exógena; (2) A

concentração do lodo ativo que era calculada diretamente da TCO_{end} e (3) A constante de crescimento máximo e constante de utilização do material orgânico era calculada a partir do valor da respiração exógena máxima.

Na figura 5.6 (A), verifica-se que o substrato foi metabolizado no período de 25 minutos e a TCO atingiu o seu valor máximo de 122mg/L/h. A partir daí à medida que o substrato era utilizado, a TCO diminuía até restabelecer o seu valor mínimo ($TCO_{end} = 34,62$ mg/L/h).

Na figura 5.6 (B) ocorreu o primeiro experimento com adição do sal (10gNaCl/L), observa-se que a TCO_{max} teve um pequeno decréscimo atingindo o seu valor de TCO máxima de 103,28mg/L/h. Concluiu-se que este valor da concentração de sal não teve grande influência na atividade metabólica do lodo.

Observa-se que na figura 5.6 (C) ocorreu um acumulativo de 20gNaCl/L, esta concentração resultou numa queda da TCO_{max} de 35%, chegando ao seu valor máximo de 80,28mg/L/h, o substrato adicionado foi de 120mgDQO/L e o tempo para consumi-lo foi de 55 minutos, bem superior ao teste na ausência de sal que utilizou a mesma concentração de substrato.

Na figura 5.6 (D) verificou-se que foi adicionado 30gNaCl/L, afetando significativamente o metabolismo das bactérias. Segundo Gharsallah, *et al.*, esta concentração de sal pode ser encontrada principalmente em casos de produção de conservas. Observa-se que a TCO diminuía, atingindo o seu valor máximo de 63,6mg/L/h, esta concentração do sal dificulta a assimilação do substrato (acetato de sódio) pelas bactérias, sendo este um material rapidamente biodegradável. O tempo de consumo do substrato para esta concentração de sal foi de uma hora e vinte minutos (1h20min), muito elevado. Neste experimento as bactérias gastaram cinquenta e cinco minutos (55min) a mais em relação ao primeiro experimento, onde não há presença do sal.

Na figura 5.6 (E) a concentração do sal foi de 40gNaCl/L, afetando diretamente o tempo de consumo do substrato que foi de duas horas (2h15min) e a TCO atingiu o seu valor máximo de 51,48mg/L/h, 58% a menos em comparação com o experimento 5.6 (A).

No experimento (F), observa-se que não foi possível determinar cinética do metabolismo do substrato e das bactérias heterótrofas no lodo através da respirometria, isto pode ter sido por causa da alta vazão de ar atribuída especificamente neste experimento, e também pelo fato de não ter sido possível a

regularização da vazão do ar. Comparando com o decorrer dos experimentos anteriores, fica claramente visível que a tendência das bactérias não metaboliza o substrato com a presença de 50gNaCl/L, no afluente é provável, podendo ter ocasionado a inibição e/ou perda da atividade metabólica para elevadas concentrações do sal. No trabalho de ROSA et al. (1998), utilizando a mesma concentração do sal, num filtro biológico submerso aerado para a remoção de amônia de um efluente salino sintético, obteve uma eficiência de 48%, em contrapartida, na ausência de NaCl a remoção foi de 94%, este resultado, segundo a mesma autora, esta atribuído as alterações fisiológicas nas células provocadas pelas altas concentrações do sal, que afetaram o metabolismo microbiano.

Pesquisa realizado por Mesquita *et al.*(2006), estudando o efeito de adições crescentes de sal (NaCl) na remoção de amônia e da DQO utilizando um RBS, observou que a remoção da DQO no reator diminui de 90% para 27%, com o aumento da concentração do sal, afirmando que o processo de aclimação é de extrema importância para os microrganismos de forma a não promover choques de carga, e conseqüente perda da atividade metabólica.

Na tabela 5.6 estão descritos os valores calculados da concentração de lodo ativo (X_a), constante de utilização do substrato (R_{us}), constante de utilização do material orgânico (K_{ms}) e constante de crescimento máximo (μ_m).

Tabela 5.6: Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo

Conc. de NaCl (g/l)	TCO_{max}	TCO_{end}	TCO_{exo}	X_a	R_{us}	K_{ms}	μ_m
0	122,60	33,06	89,54	2361,32	6612,18	2,80	1,26
10	103,78	29,36	72,14	2097,14	5327,26	2,54	1,14
20	80,28	33,06	47,22	2361,43	3487,02	1,48	0,66
30	63,58	27,83	35,75	1987,86	2640,00	1,33	0,60
40	51,48	25,12	26,37	1883,57	1855,02	0,98	0,44

Na tabela 5.6 observa-se que a influência de efluente salino no sistema de lodo ativado resulta numa diminuição da taxa do consumo de oxigênio da biomassa, sem que esteja relacionada a uma diminuição da carga orgânica aplicada nos testes. Apesar de ter sido observado uma leve diminuição da concentração de biomassa

ativa dentro do reator durante o período do teste, a taxa de utilização do substrato diminuiu muito mais com o aumento da concentração de sal no licor misto, apontando um efeito inibitório do sal.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Os resultados da investigação experimental com objetivos de determinar a influência da concentração de lodo e sal sobre a capacidade de aeração do aerador, e determinar o efeito de diferentes concentrações do sal sobre a atividade metabólica do lodo, levaram as seguintes conclusões:

- Quanto ao uso do respirômetro na determinação da constante de aeração de aeradores (K_{la}):

A constante de transferência de oxigênio é o principal parâmetro que mede a velocidade com que o sistema de aeração transfere o oxigênio para água, servindo como referência para avaliar a eficiência do processo de aeração dos aeradores. O K_{la} pode ser determinado por diferentes métodos e equipamentos que mede a concentração de OD ao longo do tempo no tanque de aeração. O respirômetro BELUGA, demonstrou ser uma ferramenta importante para determinar a eficiência de transferência de oxigênio pelos aeradores, pois possibilita a visualização em tempo real do acréscimo da concentração de oxigênio no líquido em estudo, registra e armazena automaticamente as medições de oxigênio realizadas pelo o eletrodo a cada seis (6) segundos, como também registra o tempo de consumo que a biomassa gasta para utilizar o oxigênio dissolvido no meio líquido.

- Quanto à influência das diferentes concentrações de lodo sobre a capacidade de aeração do aerador:

As concentrações de lodo (Biomassa) estudadas variaram de 2 a 16gSST/L, com o desígnio de observar a transferência de oxigênio para cada uma das concentrações de lodo utilizadas. O aerador em estudo foi utilizado em todos os ensaios, e exercia uma vazão de ar de $0,48\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ (8L/min). Observou-se, que a concentração de lodo acima de 14g/L, comprometia a homogeneização do licor misto, por apresentar alta viscosidade, dificultando deste modo à suspensão da biomassa no reator, e conseqüentemente a transferência de massa de oxigênio. Para este fim, necessita-se do aumento da vazão de ar para obter uma melhor homogeneização do sistema. Nota-se que em instalações de processos que

acumulam alta concentração de biomassa em sistemas de tratamento, requer uma alta concentração de OD, como por exemplo, os reatores aerados de leito móvel, o MBBR. Este sistema requer uma avaliação criteriosa quanto aos custos energéticos para a sua manutenção. Observou-se neste trabalho que concentrações de lodo na faixa de 15g/L, o consumo energético foi de 2 vezes maior em comparação de lodo com concentração de 5g/L. Este resultado mostrou-se preocupante quanto ao estudo de viabilidade econômica da ETE. Nos processos MBBR o custo de instalação podem ser bem superiores aos sistemas de lodos ativados, devido à aquisição de maiores sopradores de ar e dos meios de suportes. O custo de operação pode-se demonstrar elevado, devido especialmente ao requisito de energia do sistema de aeração. Para as concentrações do sal analisadas, observou-se que a constante de transferência de aeração (K_{la}) permaneceu constante em todos os ensaios, deste modo, concluiu-se que concentrações do sal (NaCl) até 50g/L, não afeta diretamente na capacidade de oxigenação do aerador.

- Quanto às relações específicas entre a constante de transferência de oxigênio e a concentração de lodo e de sal:

A relação específica entre a presença de sólidos com a constante de transferência de aeração obteve resultados confiáveis, verificando que a presença elevada de sólidos afeta diretamente a constante K_{la} . Os resultados mostraram que embora as relações lineares entre K_{la} e concentração de lodo tenham sido observadas com frequência em todos os ensaios, os valores de K_{la} são fortemente dependentes do sistema estudado, em particular, do tipo de difusor de ar e principalmente da característica do licor misto.

- Quanto ao efeito da salinidade sobre o processo metabólico do lodo em termos da constante de utilização de um substrato específico de material orgânico, temos:

O aumento da concentração do sal (NaCl) acarretou decréscimo na taxa de consumo de oxigênio, que caiu de 122,6mg/L/h para 51,48mg/L, com a concentração de sal de 40g/L. Os experimentos utilizados ao longo de uma batelada de ensaio, permitiram verificar que o incremento do teor de sal causou efeito deletério sobre a taxa específica de consumo do substrato.

A constante de utilização do material orgânico (K_{ms}) e constante de crescimento máximo (μ_m) observado no ensaio atingiu uma redução de 65%. A concentração de lodo ativa reduziu 20% da concentração inicial, uma redução relativamente baixa, no entanto, a capacidade metabólica do lodo foi afetada como observado no respirograma do teste. Por este fato, considera-se que o tempo de aclimação é necessário para permitir que os microrganismos responsáveis pela oxidação do substrato realizassem adequadamente no processo da atividade metabólica do lodo.

O efeito inibitório do sal em sistemas de lodo ativado resulta numa diminuição repentina da atividade bacteriológica, o qual foi detectado pelo respirômetro.

6.2 Recomendações

O sistema MBBR está se consolidando no mercado como alternativa viável para melhorar desempenho de plantas de lodo ativado existentes, construção de novas estações em locais com pouco espaço disponível, principalmente nos grandes centros urbanos. Partindo deste princípio sugiro monitorar paralelamente os sistemas de lodo ativado com o sistema MBBR, com o intuito de comparar e/ou buscar condições operacionais, que resultem em maior economia em termos de insumos para a implantação e operação dos sistemas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEM SOBRINHO, P. Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados - determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos. In: Revista DAE, 132, p. 49-85, 1983.
- ALEM SOBRINHO, P.; PIVELI, R. P.; CHERBAKIAN, E. H. Estudo comparativo de sistemas de aeração para a estação de tratamento de esgotos Suzano. In: XXVIII Congresso internacional de engenharia sanitária e ambiental. Cancún, México, 2002.
- BENTO, A.P. et al. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005.
- CYBIS, L. F.; PINTO, C. R.R. Protozoários e metazoários presentes em reatores sequenciais em batelada (RBS) observados no processo de nitrificação. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, 1997.
- DALMACIJA, B., KARLOVIC, E., TAMAS, Z., MISKOVIC, D., 1996, "Purification of high salinity wastewater by activated sludge process", Water Research, v. 30, p: 295-298.
- DIB GEBARA, ARAÚJO, L. S.; SOBRINHO, M. D. A. Oxygen transfer in two and three-phase internal-loop airlift reactor with riser diameter variation. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15, n.3, p. 267-274, 2010.
- DROPPELMANN, V. C.; SEBASTIÁN L. Z.; RODRIGO C. A. Comparison between traditional and hybrid activated sludge system with regard to the oxygen requirement and sludge production. In: XXXI Congresso Interamericano AIDIS, 2008 Santiago – CHILE.
- FLORENCIO, L., ALMEIDA, P. G. S., MENDONÇA, N. M., VOLSHAM, I., PIVELI, R. P., CHERNICHARO, C. A. L. Nitrificação em Reatores Aeróbios com Biomassa Aderida. In: Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. PROSAB. ABES. Rio de Janeiro - RJ, 2009.
- FUJII, F. Y. Análise comparativa entre o processo de lodo ativado e o reator de biofilme de leito móvel na remoção de nitrogênio de esgoto sanitário, 2011. Dissertação de M.Sc em Engenharia Sanitária – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP.
- GHARSALLAH, N., KHANNOUS, L., SOUISSI, N., NASRI, M. (2002). Biological treatment of saline wastewaters from marine-products processing factories by a fixed-bed reactor. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 77: 865-870.
- GUIMARÃES, P. Sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais para póstratamento de esgoto digerido em um reator UASB, 2003. Tese de Doutorado em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- HENRIQUE, I. N. Tratamento de águas residuárias domésticas através de sistema conjugado anaeróbio/aeróbio: alternativa tecnológica para minimização de impactos

ambientais, 2010. Tese de Doutorado em Recursos Naturais – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. (2005). Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, v. 1. 906 p.

KARGI, F., UYGUR, A., 2005. Improved Nutrient Removal from Saline Wastewater in an SBR by Halobacter Supplemented Activated Sludge, Environmental Engineering Science, v. 22, p: 170-176.

KARGI, F.; DINÇER, A. R. Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation. Enzyme & Microbial Technol., v. 19, p: 529-537, 1996.

KETCHUM, JR. L.H., 1997, "Design and Physical Features of Sequencing Batch Reactors", Water Science Technology, vol 35 nº1, pp: 11-18

KINNER, N.E.; BISHOP, P.L.; ASCE, M. Treatment of saline domestic wastewater. Journal of Environmental Engineering. ASCE. v. 108, p: 650-663, 1962.

LEE, S. E. Comparison of phosphorus removal characteristics between various biological-nutrient removal processes. Water Science and Technology, New York, USA, v. 36, n. 12, p: 61-68, 1997.

MARAIS, G. v. R. e EKAMA, G. A. (1976). The Activated Sludge Process: Steady State Behaviour. Water S.A.2, (4), 163-200.

MEASURES, J.C., 1975, "Role of amino acids in osmoregulation of on halophilic bacteria", Nature, v. 257, p: 398-400.

MEDEIROS, U. T. P.; VAN HAANDEL, A. C.; CATUNDA, P.F.C. Influência da concentração de oxigênio dissolvido sobre o desempenho de sistemas de lodo ativado. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande/MS.

Mesquita, D. P.; COELHO, M. A. Z.; FERREIRA, E. C. Efeito do sal no desempenho de um reator batelada sequencial. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química- COBEQ, 2006 Santos (SP).

MOON B.H.; SEO G.T.; LEE T.S.; KIM S.S.; YOON C.H. "Effects of Salt Concentration on Floc Characteristics and Pollutants Removal Efficiencies in Treatment of Seafood Wastewater by RBS", Water Science and Technology, v. 47 p: 65-70, 2003.

MOREIRA, M. P.; YAMAKAWA, C. S. e ALEGRE, R. M.. Adição de fonte de carbono no início da fase anóxica na remoção de macronutrientes e DQO por lodo ativado usando SBR no tratamento de água residuária avícola. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 7, n. 1, 2002.

MORGENROTH, E. & WILDERER, P.A. Sequencing Batch Reactor Technology: concepts, design and experiences. Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, v.12, n.5, p: 314-321, 1998.

NUVOLARI, A. (2011). Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ª ed., p: 563, São Paulo: Blucher

ODEGAARD, H., GISVOLD, B., STRICKLAND, J. the influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process. *Water Science and Technology*, v. 41, n.5, p: 383-392, 2000.

OLIVEIRA, G.S.S.; ARAÚJO, C.V.M.; FERNANDES, J.G.S. Activated sludge system microbiology and its relationship with the industrial effluents treatment: the experience of the Cetrel. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 2, p: 183-192, 2009.

REIS, G.G. Influência da carga orgânica no desempenho de reatores de leito móvel com biofilme (MBBR), 2007. Dissertação de M.Sc., em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ROSA, M.F., FURTADO, A.A.L., ALBUQUERQUE, R.T., LEITE, S.G.F., MEDRONHO, R.A., 1998, "Biofilm development and ammonia removal in the nitrification of a saline wastewater", *Bioresource Technology*, v. 65, n. 1, p: 135-138.

RUSTEN, Bjorn; EIKEBROKK, Bjornar; ULGENES, yngve e LYGREN, Eivind. Design and operation of the Kaldenes moving bed biofilm reactors. In: *aquacultural Engineering*, 34, 2006, p. 322-331.

SHEKER, R.E.; ARIS, R.M. & SHIEH, W.K. The Effects of Fill Strategies on SBR Performance under Nitrogen Deficiency and Rich Conditions. *Water Science and Technology*, New York, USA, v.28, n.10, p: 259-266, 1993.

SOBRINHO, P. A. Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos. *Revista DAE*. n. 132. P: 49-85. 1983.

STENSTROM, M. K.; Shao-Yuan, B. L.; JIANG P. Theory to Practice: Oxygen Transfer and the New ASCE Standard. *Water Environment Foundation*, p: 4838-4852, 2006.

VAN HAANDEL, A. C. e CATUNDA, P.F.C. Determinação da taxa de consumo de oxigênio em sistemas de tratamento de esgotos. *Revista Engenharia Sanitária*, v 21, n 4, 1982.

VAN HAANDEL, A. C. e CATUNDA, P.F.C. O balanço de massa em sistemas de tratamento com lodo em suspensão. *Revista Engenharia Sanitária*, v 22, 1983.

VAN HAANDEL, A.C; CATUNDA P.F.C. E NEIVA M.R. Um método experimental para a determinação da eficiência de aeradores superficiais em sistemas de lodo ativado. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Foz de Iguaçu. 1997.

VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para projetos e operações. Campina Grande: Epgraf, 1999.

VAN LOOSDRECHT, M.C.M. & JETTEN, M.S.M. Microbiological conversions in nitrogen removal. *Water Science and Technology*, New York, USA, v.38, n.1, p:1-7, 1998.

VEOLIA, MBBR Techonology – Technical Details, 2009. Disponível em: http://www.veoliawaterst.com/mbbr/en/technical_details.htm.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados. 2ª ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, p: 428, 2002.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. Belo Horizonte: DESA – UFMG, p: 452, 2005.

WIJFFELS R. H.; Tramper J. Nitrification by immobilized cells. Enzyme and Microbial Technology, v. 17, p: 462-492, 1995.

Wolff, D.B., Ochoa Chavez, J.C., Paul, E Costa, R.H.R. Estudo da biomassa heterotrófica e autotrófica ativa desenvolvida em reatores híbridos no tratamento de esgoto urbano. In: XIV SINAFERM, Editoração eletrônica, Florianópolis SC, 2003.

ZAIAT, M. Fundamentos de cinética e análise de reatores aplicados ao tratamento de águas residuárias. Notas de aulas, p. 250-264. Universidade de São Paulo - São Carlos, 2007.

8. APÊNDICE

Neste Apêndice estão apresentados os respirogramas obtidos durante teste em batelada com as diferentes concentrações de lodo do sistema RBS e os respirogramas obtidos durante os ensaios com diferentes concentrações de sais (NaCl) para avaliar a influência do sal com a atividade metabólica do lodo.

RESULTADOS REFERENTES A INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE LODO SOBRE A CAPACIDADE DE AERAÇÃO DOS AERADORES

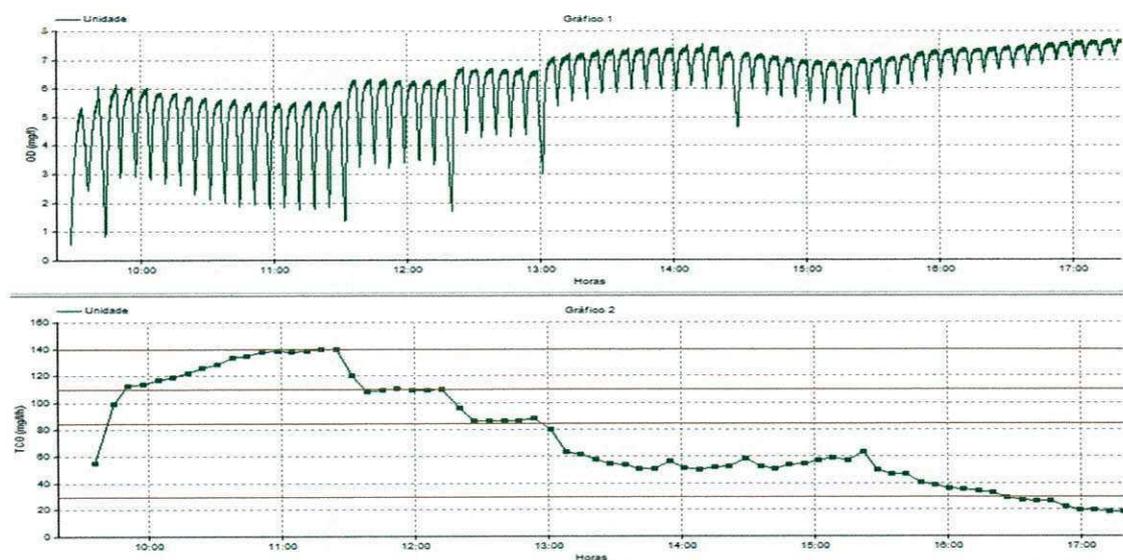


Figura 8.1 - Respirograma do teste T2.

Tabela 8.1: Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T2

SST (g/L)	TCO ($mg.L^{-1}.h^{-1}$)	$k_{La}(min^{-1})$	OD_s	OD_{cr}	$CO_{max}(mg.L^{-1}.min^{-1})$
6,90	137,99	1,29	7,18	1,00	7,97
3,70	50,97	1,58	7,80	1,00	10,71
2,10	27,19	1,63	8,00	1,00	11,41
1,70	18,96	1,90	8,00	1,00	13,30

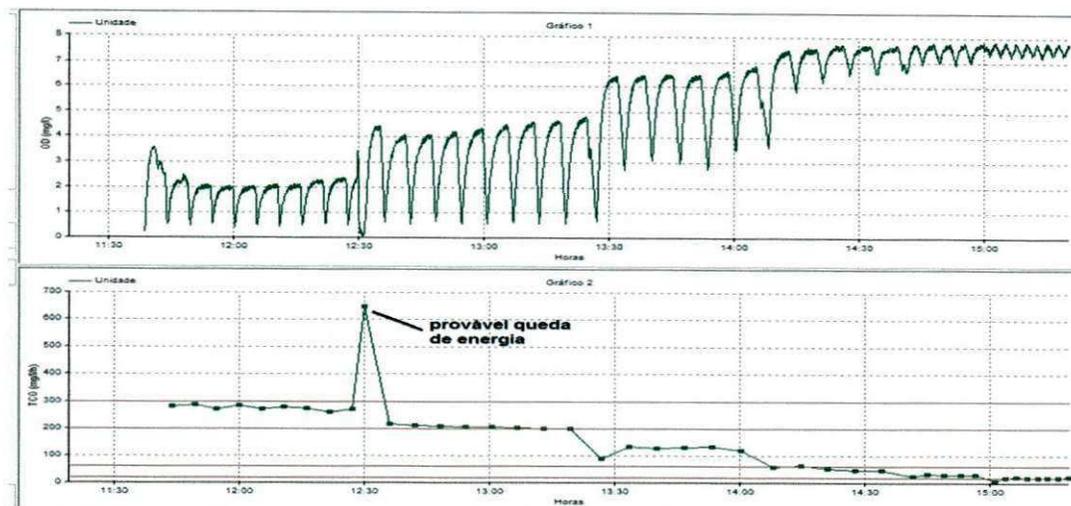


Figura 8.2 - Respirograma do teste T3.

Tabela 8.2: Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e OD_{min} do teste T3

X_t (g.L ⁻¹)	TCO (mg/L/h)	K_{La} (min ⁻¹)	OD_s	OD_{cr}
13,90	277,12	0,80	7,30	1,00
10,50	203,88	0,95	7,60	1,00
6,50	128,28	1,30	7,65	1,00
2,60	53,84	1,60	8,00	1,00
1,10	21,53	2,10	8,00	1,00

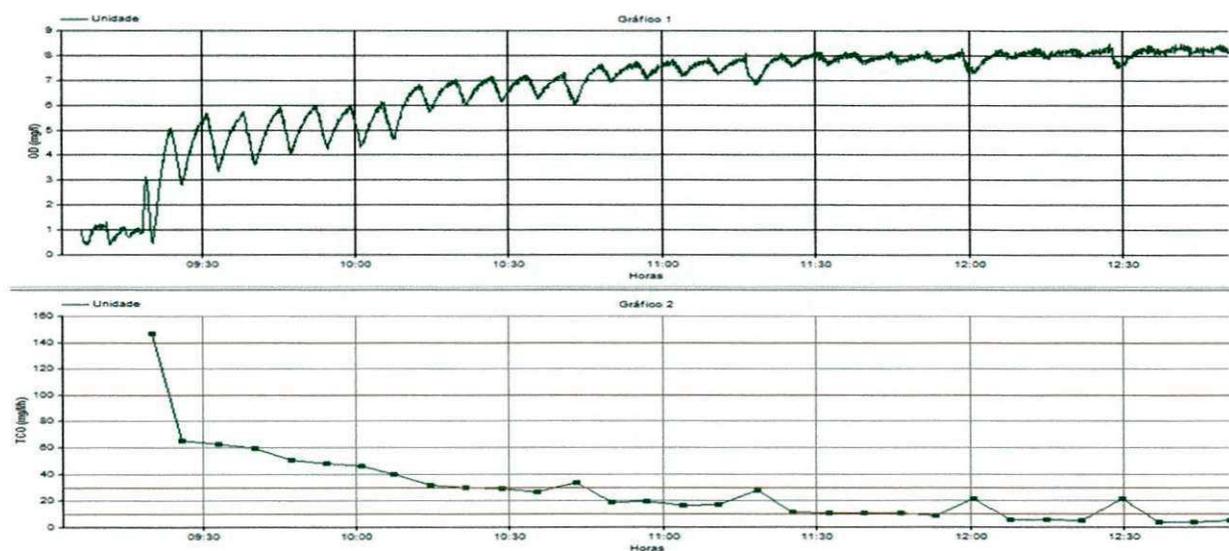


Figura 8.3 - Respirograma do teste T4.

Tabela 8.3: Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T4

Xt (g.l-1)	TCO (mg/l/h)	K_{La} (min-1)	OD_s	CO_{max} (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)
6,65	55,35	1,30	7,20	8,06
3,81	29,36	1,58	7,40	10,11
2,16	18,07	1,62	8,00	11,34
1,49	10,79	2,00	8,11	14,21
0,80	5,62	2,15	8,23	15,55
0,50	4,15	2,20	8,28	16,02

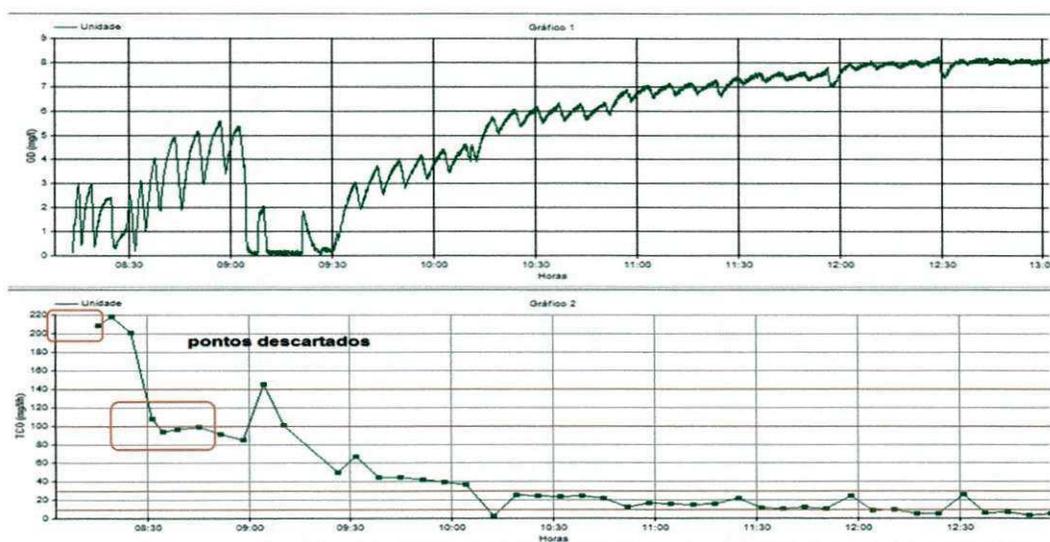


Figura 8.4 - Respirograma do teste T5.

Tabela 8.4: Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T5

Xt (g.l-1)	TCO (mg/l/h)	K_{La} (min-1)	OD_s	CO_{max} (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)
16,91	41,22	0,63	7,27	2,71
14,47	23,96	0,83	6,63	4,66
7,36	15,04	1,30	7,00	7,80
2,30	11,01	1,61	8,00	11,27
1,51	7,02	2,00	7,80	13,60
1,13	5,50	2,00	8,00	14,00

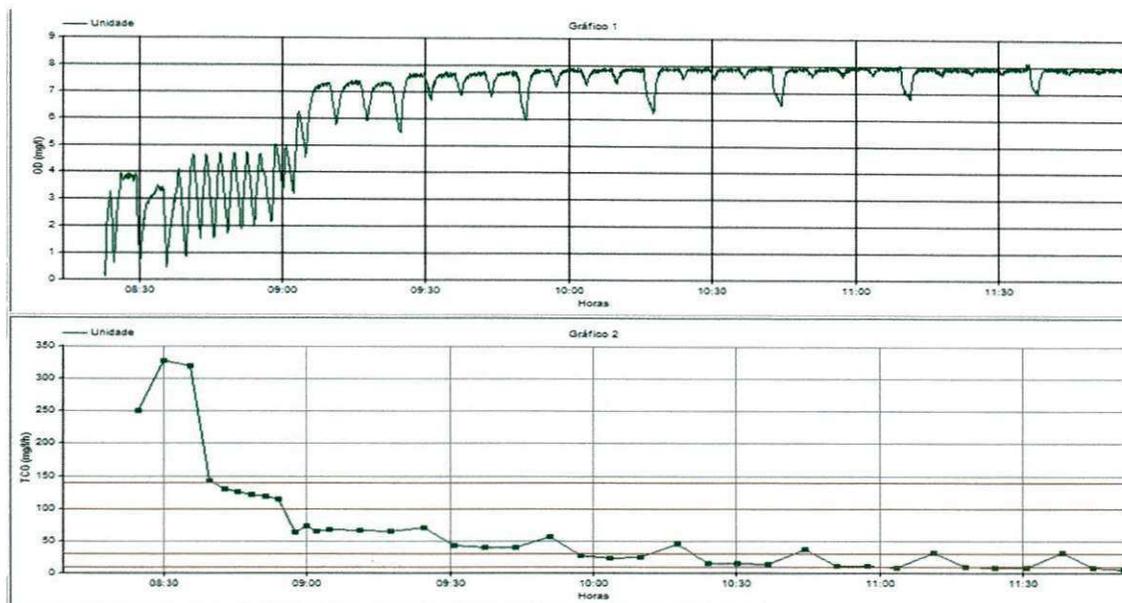


Figura 8.5: Respirograma do teste T6

Tabela 8.5: Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T6

Xt (g.l-1)	TCO (mg/l/h)	k_{La} (min-1)	OD_s	CO_{max} (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)
11,71	125,92	0,97	8,13	6,90
7,87	67,02	1,30	8,17	9,32
3,65	41,05	1,31	8,26	9,49
2,53	25,58	1,32	8,25	9,59
1,98	14,72	1,40	8,15	10,01
1,24	10,28	1,48	8,11	10,55
0,89	8,86	1,50	8,10	11,65
0,55	8,39	1,60	8,10	11,36

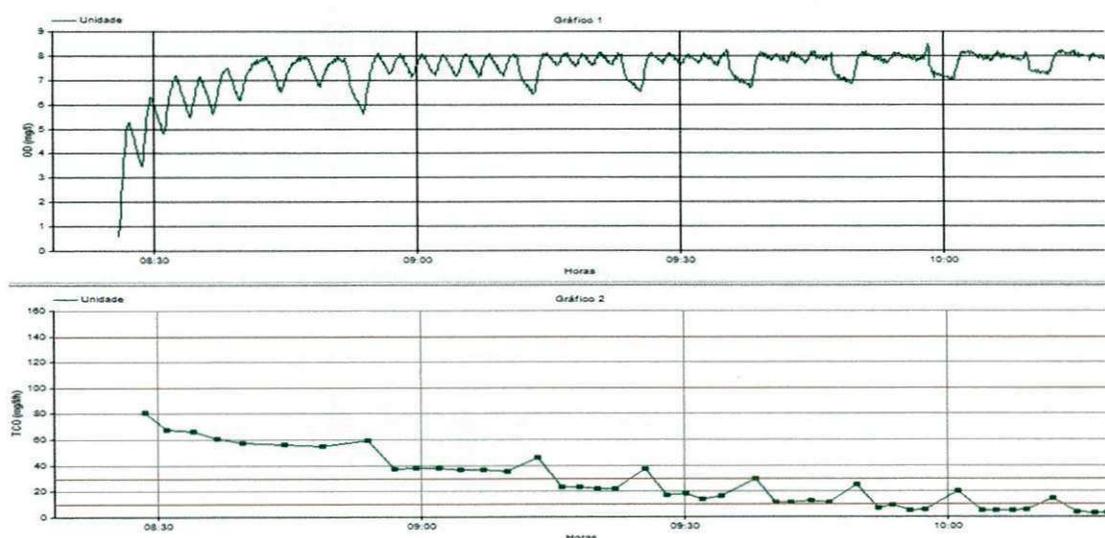


Figura 8.6 - Respirograma do teste T7.

Tabela 8.6: Valores médios experimentais da TCO e valores calculados de k_{La} , OD_s e CO_{max} do teste T7

X_t (g.l-1)	TCO (mg/l/h)	K_{La} (min-1)	OD_s	CO_{max} (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)
11,05	57,41	1,69	8,20	12,15
7,98	37,39	1,69	8,24	12,21
5,65	22,78	1,80	8,24	13,03
4,78	16,45	2,27	8,20	16,32
2,87	11,55	2,33	8,25	16,86
2,01	6,73	2,30	8,21	16,59
1,64	4,79	2,40	8,13	17,10

RESULTADOS REFERENTES A INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SAIS (NaCl) SOBRE ATIVIDADE METABÓLICA DO LODO

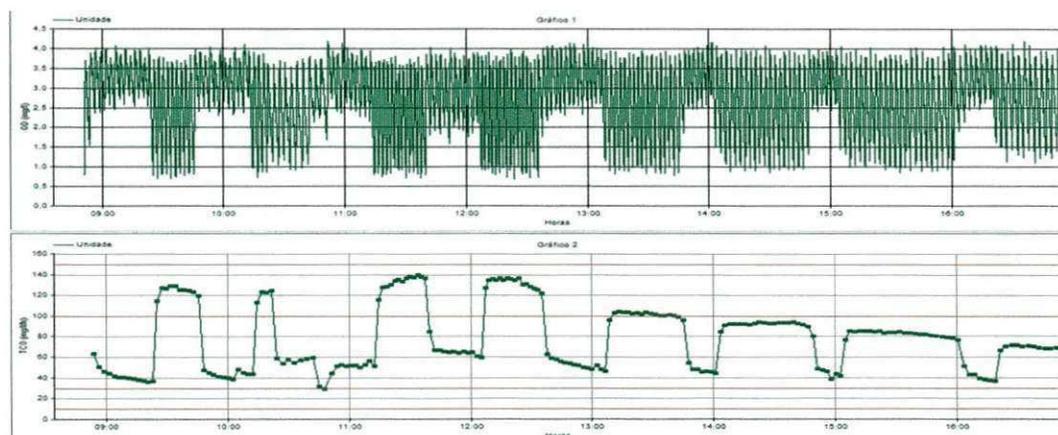


Figura 8.7 – Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T1.

Tabela 8.7: Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo a partir do respirograma gerado do T1

BATELADAS	Área	TCO_{exo}	TCO_{end}	X_a	R_{us}	K_{ms}	μ_m
Og/INaCl	31,31	83,11	41,89	2992,14	7644,74	2,55	1,15
10g/l NaCl	32,51	75,97	58,61	4186,43	6730,04	1,61	0,72
15g/l NaCl	36,08	72,92	59,02	4215,71	5820,67	1,38	0,62
20g/l NaCl	36,46	55,72	45,64	3260	4401,36	1,35	0,61
25g/l NaCl	36,23	46,26	47,13	3366,43	3677,31	1,09	0,49
30g/l NaCl	39,32	43,27	41,84	2988,57	3169,32	1,06	0,48
35g/l NaCl	35,45	27,3	43,12	3080	2217,88	0,72	0,38

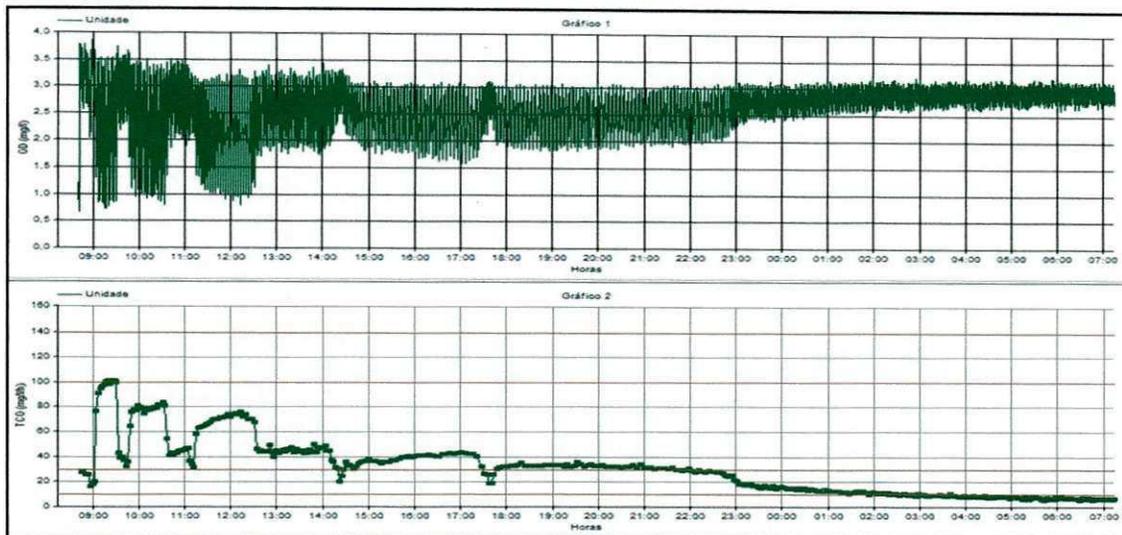


Figura 8.8 - Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T2..

Tabela 8.8: Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo a partir do respirograma gerado do T2.

BATELADAS	TCO _{exo}	TCO _{end}	TCO _{max}	X _a	R _{us}	K _{ms}	μ _m
0g/LNaCl	70,63	25,99	96,62	1856,43	5996,89	3,23	1,45
10g/l NaCl	42,92	36,34	79,26	2595,71	3252,03	1,25	0,56
20g/l NaCl	37,32	34,18	71,5	2441,43	2206,56	0,90	0,41
40g/l NaCl	22,24	19,53	41,77	1395,00	1067,70	0,77	0,31
60g/l NaCl	14,30	18,33	32,63	1309,29	595,32	0,45	0,20

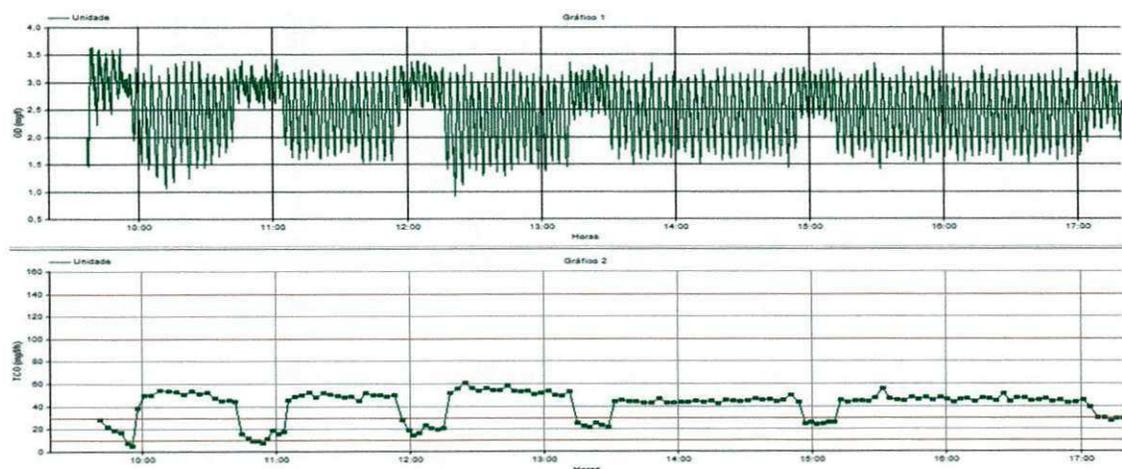


Figura 8.9 - Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais (NaCl) a uma batelada de lodo ativado T3.

Tabela 8.9: Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo a partir do respirograma gerado do T3.

BATELADAS	TCO_{max}	TCO_{exo}	TCO_{end}	X_a	R_{us}	K_{ms}	μ_m
0	49,99	42,33	7,66	547,14	3680,87	6,73	3,03
5g/l	49,75	32,75	17	1214,29	3400,14	2,80	1,26
10g/l	55,01	33,8	21,25	1517,86	3129,03	2,06	0,93
20g/l	44,85	22,13	22,72	1622,86	2034,94	1,25	0,56
30g/l	46,16	19,47	26,69	1906,43	1515,50	0,79	0,36

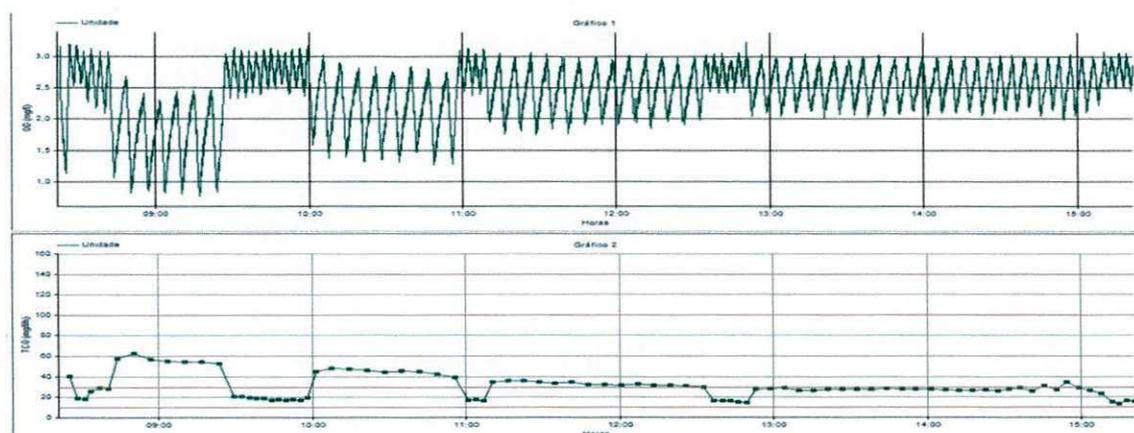


Figura 8.10 - Respirograma da TCO após a adição de substrato e sais ($NaCl$) a uma batelada de lodo ativado T4.

Tabela 8.10: Dados calculados das Constantes cinéticas do metabolismo a partir do respirograma gerado do T4.

BATELADAS	TCO_{max}	TCO_{exo}	TCO_{end}	X_a	R_{us}	K_{ms}	μ_m
0	52,98	31,24	21,74	1552,86	3899,92	2,51	1,13
10g/l	44,54	25,78	18,76	1340,00	2958,02	2,21	0,99
20g/l	34,2	18,35	15,85	1132,14	2148,29	1,90	0,85
30g/l	27,84	12,73	15,11	1079,29	1245,33	1,15	0,52