



## Minimização de Custos com Aeração em Sistemas de Lodo Ativado

Danikelly Silva Damasceno<sup>1</sup>, Rosângela Maria da Silva<sup>1</sup>, Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos<sup>2</sup>,  
Heraldo Antunes Silva Filho<sup>2</sup>, Jarbas Rodrigues Chaves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduandas em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFCE Campus Limoeiro do Norte. email: danikelly.damasceno204@gmail.com

<sup>2</sup>Professores do IFCE- Campus Limoeiro Norte. email: heraldo@ifce.edu.br

<sup>3</sup>Técnico em laboratório do IFCE- Campus Limoeiro do Norte. email: jarbasrodrigues@ifce.edu.br

**Resumo:** Na decomposição de matéria orgânica as bactérias precisam da quantidade de oxigênio adequado para utilizarem em seu metabolismo e na obtenção de energia, sendo assim se não houver oxigênio suficiente no sistemas as bactérias não irão desempenhar com qualidade o seu metabolismo (prejudicando o tratamento), e se houver oxigênio em excesso haverá maiores gastos no tratamento, além de prejuízo ao metabolismo pela própria oxidação das bactérias e dos outros organismos componentes da biomassa. Este trabalho tem por objetivo determinar a melhor capacidade de transferência de oxigênio sob influência de diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (inertes) nas concentrações de 0,2g, 2g, 4g, 6g, 10g e 15g usando como referência a constante de transferência de oxigênio  $K_L a$ . Para a determinação dessa constante, foram utilizadas duas metodologias diferentes, descritas em Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (1997). Os resultados indicaram que quanto maior a concentração de sólidos menor será a constante de transferência de oxigênio, e consequentemente menor a capacidade de oxigenação e maiores os gastos com a energia para a transferência do oxigênio requerido. A concentração de 15 gSST/L foi a concentração que obteve maior interferência na transferência de oxigênio chegando a ter uma capacidade de oxigenação de 42,5% e essa concentração também mostrou maiores gastos com a energia na transferência de oxigênio. A concentração de 10 gSST/L, mostrou que pode ser adequada, pois os gastos não são tão elevados e não é uma concentração tão baixa para sistemas aerados.

**Palavras-chave:** capacidade de oxigenação, coeficiente de transferência de oxigênio, aeração

### 1. INTRODUÇÃO

Em efluentes domésticos onde existe uma grande variedade de poluentes como: sólidos, matéria orgânica (MO), nutrientes em formas de nitrogênio (amônia, N-orgânico, nitrito e nitrato), fósforo e patógenos, quem se destaca por apresentar em maior quantidade é a matéria orgânica, que é um dos poluente responsável pela redução de oxigênio dissolvido em mananciais e em efluentes, pois o oxigênio é utilizado pelos microrganismos decompositores no momento do seu metabolismo na ocasião da oxidação da MO.

Sendo o processo de tratamento aeróbio, para que as bactérias possam degradar o esgoto e seus constituintes, é importante que haja oxigênio suficiente para que não tenha um comprometimento no metabolismo das mesmas. Segundo Silva Filho (2009), nem sempre é possível manter a concentração de oxigênio ideal para o crescimento e desenvolvimento de microrganismos aeróbios, pois fatores ambientais e operacionais podem interferir de forma negativa nesse processo. É importante que a quantidade do oxigênio gerada para os sistemas seja a adequada para que não haja gastos excessivos e não prejudique o metabolismo dos microrganismos presentes no tratamento.

Os recursos investidos com a aeração nos sistemas de lodos ativados é um problema a ser enfrentado quando se busca otimização de gastos, pois os custos são muito altos com a transferência de oxigênio para a fase líquida, podendo aumentar à medida que fatores intervenientes interagem negativamente, como a concentração de sólidos totais, os sais dissolvidos, o volume do reator, a natureza do efluente a ser tratado, o dimensionamento dos difusores, a presença de substâncias tensoativas, entre outros.

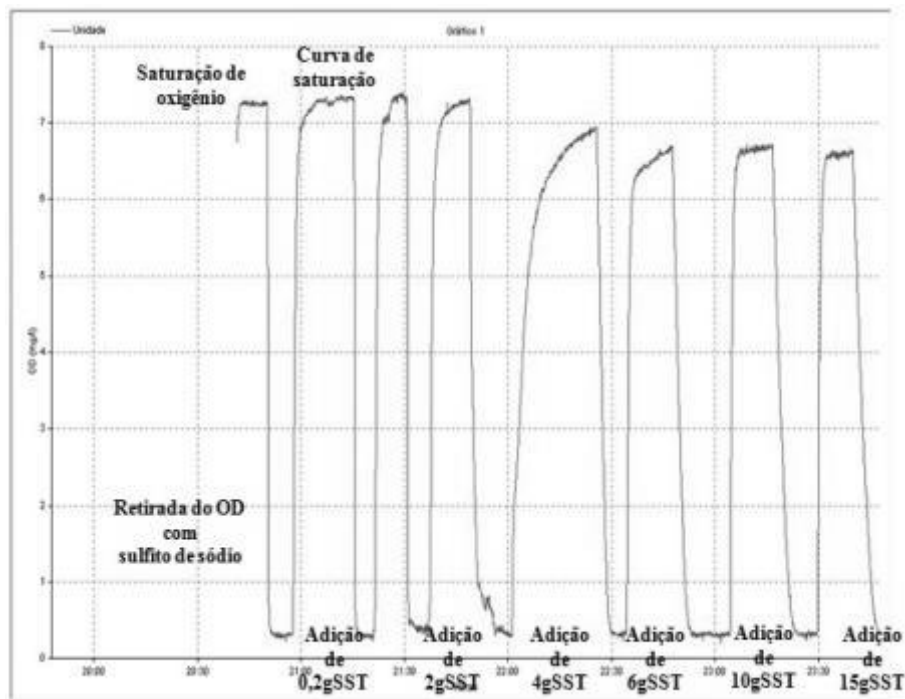
Por essa razão, é importante saber a taxa de transferência que cada aerador pode desempenhar em condições normais e a quantidade ideal de sólidos que o sistema pode suportar, mantendo um equilíbrio em relação ao custo e benefício entre os sólidos e a capacidade de aeração.

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo determinar a melhor concentração de SST que pode ser mantida em sistema aerados visando o gasto mínimo com aeração.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Métodos para a determinação da constante de transferência

Para a determinação da transferência de oxigênio usaram-se duas metodologias diferentes: a descrita em Van Haandel e Marais (1999) e a descrita em Von Sperling (1997), no qual a escolha da melhor teoria poderá informar qual a melhor forma de determinar o  $K_{la}$  e a capacidade de oxigenação. A seguir na **Figura 1** estará representado um esquema das etapas dos testes de determinação de  $K_{la}$ .



**Figura 1:** Respirograma das etapas ocorridas nos testes com sólidos.

Nesta figura é mostrado como ocorrem os testes. Primeiramente a água é saturada com oxigênio através de aerador e em seguida é retirado o oxigênio com sulfito de sódio. Na Equação 1 apresentará a equação estequiométrica da reação do sulfito de sódio com o oxigênio.



Foi utilizado cloreto de cobalto hexahidratado PA ( $CoCl_2 \cdot 6 H_2O$ ) como catalisador para acelerar a reação do sulfito com o oxigênio.

Após a retirada do OD saturava-se novamente e forma-se uma curva de OD e é com os dados dessa curva que são calculados os valores de  $K_{la}$  que serão apresentados em seguida.

### 2.2 Geração do Lodo Ativo e Posterior Inativação

O lodo utilizado nos testes foi retirado de um sistema de lodo ativado tipo batelada que fica no CETE (Centro experimental de tratamento de esgoto) do IFCE Campus Limoeiro do Norte. Na **Tabela 1** estão alguns dados do sistema e na **Figura 2** ilustra o reator em bateladas sequenciais que foi gerado o lodo para os testes e na **Figura 3** o compartimento reserva do lodo.

Tabela 1: Características operacionais do sistema de Lodo Ativado usado para geração do lodo de teste

---

#### Dados do Reator em Bateladas sequenciais

---

Vazão afluente	70 litros
Idade de Lodo ( $R_s$ )	20 dias
Oxigênio Dissolvido mantido no Sistema (OD)	$\approx 2,0$ mg/L
SST	3.099
Temperatura Ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ )	$34^{\circ}$
Tempo de Operação (d)	2 anos e 4 meses
Volume do Reator (l)	70l



Figura 2: Reator Batelada que gera o lodo para os testes



Figura 3: Compartimento reserva do lodo

A biomassa utilizada nos testes era proveniente da ação de descarte de lodo ( $R_s = 20$  dias), sendo então acondicionado em um recipiente fechado, fazendo com que o lodo fosse bastante adensado. Depois de concentrado o lodo era retirado para a etapa de inativação (descrita a seguir) e diluição nas concentrações desejadas (0,2g, 2g, 4g, 6g, 10g e 15g).

Para inativar o lodo foram seguidas as seguintes etapas:

- 1) Foram retirados 3 litros de licor misto adensado e deixado em repouso por 3 dias em pH 2 ( para a inativação da biomassa);
- 2) Após o descarte do sobrenadante, reajusta-se o pH 7 para a neutralidade com solução de hidróxido sódio e o volume restante (sólidos adensados) removidos para tubos de centrifuga de 50ml;
- 3) Após a centrifugação a 2500 RPM (rotação por minuto), o sobrenadante é descartado e o centrifugado transferido para vidros de relógio e dispostos em estufa a  $100^{\circ}\text{C}$  por 2 dias para retirar a umidade restante e finalização da inativação;
- 4) Após a estufa, a massa restante foi macerada e acondicionada em frasco apropriado, sendo esse resíduo utilizado para representar os sólidos no sistema.

Na **Figura 3** estão representadas as etapas desenvolvidas para a inativação do lodo.

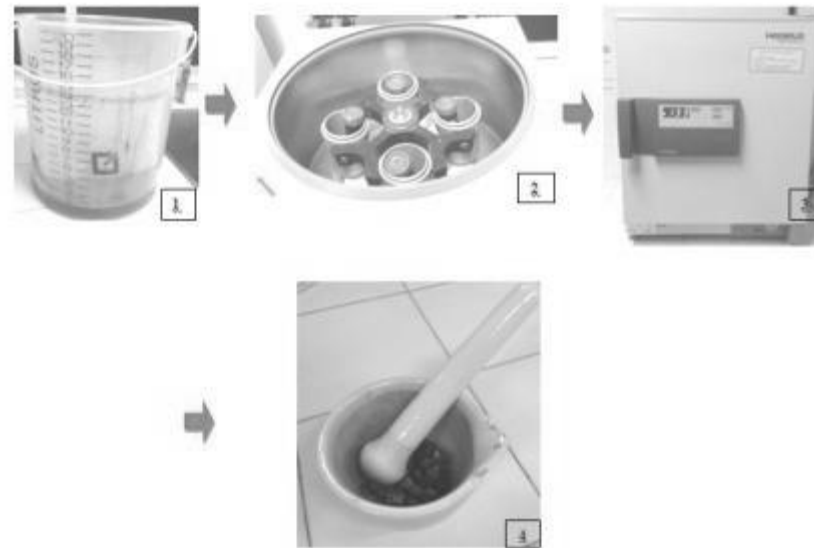


Figura 3: Etapas desenvolvidas para inativação do lodo.

Após a inativação foram usados nos testes varias concentrações de sólidos na expectativa de determinar se as mesmas poderiam interferir na transferência de oxigênio. Foram utilizadas as seguintes concentrações: 0,2g, 2g, 4g, 6g, 10g e 15g.

Foram usados sólidos inativos para a determinação da transferência de oxigênio, pela facilidade da operação nos testes, pois não exercem TCO e assim facilita nos cálculos. Outra vantagem de usar os sólidos inativos é a possibilidade de definir com maior precisão as concentrações de sólidos para adicionara nos testes.

Foi realizado testes usando beckers de 2 litros com água destilada tendo o objetivo de se determinar a capacidade de aeração do aerador, no qual o utilizado nos testes era do tipo nebulizador. Primeiramente determinou a curva padrão, essa curva era formada pela saturação do oxigênio dissolvido sem interferência de fatores ambientais como : temperatura ambiente, sólidos e sais) no qual servia de como referencia para as próximas curvas formas nos testes. Em seguida adicionava os sólidos inertes, onde desejava saber se haveria interferência na determinação da transferência de oxigênio, conforme mostrado em 2.1.

### 2.3 Determinações da constante de transferência de oxigênio ( $K_{la}$ ) e da capacidade de oxigenação (CO)

Foram utilizadas duas metodologias diferentes para determinar a constante de transferência de oxigênio e a capacidade de oxigenação, descritas em: Van Haandel e Marais (1999) e em Von Sperling (1997).

Segundo Van Haandel e Marais (1999), para determinar a capacidade de transferência de oxigênio (CO) precisa-se correlacionar a variação da concentração de oxigênio durante a aeração ao tempo de aeração que esta descrita na Equação 1:

$$OD_t \frac{mg}{L} = \frac{OD_s - TCO}{K_{la}} \cdot (1 - e^{-K_{la} \cdot t}) + OD_0 \cdot e^{(-K_{la} \cdot t)} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

$OD_0$  : concentração de oxigênio no tempo inicial ou no começo da aeração (mgO/L);

T : tempo (min)

TCO: taxa de consumo de oxigênio exercida pelos microrganismos (mgO/L/h).

Já Von Sperling (1997), descreve que quanto menor for a concentração de oxigênio (C), ou quando maior for o déficit de oxigênio ( $C_s - C$ ), maior será a taxa de transferência de oxigênio



(dC/dt). Caso não haja consumo de oxigênio no líquido com aeração, a concentração de C aumenta segundo a taxa exponencial decrescente. A concentração tende assintoticamente até o valor estacionário, onde há concentração de saturação  $C_s$  na **Equação 2**:

$$C \frac{mg}{L} = C_s - C_s - C_0 \cdot e^{-K_{la}(t-t_0)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

C: concentração em um tempo t qualquer ( $g/m^3$ )

$K_{la}$ : coeficiente global de transferência de oxigênio ( $h^{-1}$ )

$C_s$ : concentração de saturação de oxigênio ( $g/m^3$ )

Para calcular a Capacidade de oxigenação é dada a **Equação 3**:

$$CO = K_{la} \cdot OD_s \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo :

CO: capacidade de oxigenação ( $mg/L/h$ ).

## 2.4 Determinação dos Gastos com Aeração

Para a determinação dos custos foram feitos cálculos para a determinação de quanto seria o gasto de energia na transferência de 1kWh. A COELCE (Companhia energética do Ceará) cobra tarifas para o consumo de energia dependendo do local. Para esse trabalho foram feitos cálculos para tarifas cobradas de um residencial monofásico que é de R\$ 0,22 por 1 kWh consumido. Sabendo que o aerador usado neste trabalho consome 0,0187 kWh neste caso foi calculado o gasto de energia para 1 dia, 1 mês e para 1 ano.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos testes realizados com a variação de OD nos testes formavam-se gráficos através do software do respirômetro Beluga S2, e através desta variação de oxigênio é que calculou a transferência de oxigênio com o auxílio das metodologias de Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (1997). Na **Tabela 2** estão expostos os resultados das médias de cada concentração e das duas metodologias utilizadas.

Tabela 2: Resultado dos  $K_{la}$  encontrados nas duas metodologias teóricas.

Concentrações de sólidos(g)	Van Haandel ( $min^{-1}$ )	Von Sperling ( $min^{-1}$ )	Diferença Absoluta entre os dois valores de $K_{la}$ ( $min^{-1}$ )
0	1,48	1,71	0,23
0,2	1,39	1,59	0,20
2	1,27	1,43	0,16
4	1,00	1,10	0,10
6	0,93	1,08	0,16
10	0,85	0,94	0,09
15	0,62	0,73	0,11

Ao analisar a Tabela 2 pode-se notar que a diferença de resultados de  $K_{la}$  nas duas teorias é pequena. Outro ponto importante que se percebe na tabela 2 é que quanto maior a concentração de sólidos menor é o valor do  $K_{la}$  (fato esse observado nas duas metodologias), os resultados vão diminuindo a medida que há adição dos sólido, percebendo que os sólidos interferem na transferência de oxigênio. Miranda 2012 e Silva Filho 2009, fizeram testes semelhantes para determinar a constante de transferência de oxigênio usando a metodologia de Van Haandel e Marais 1999, porém, cada um usando concentrações próximas as usadas

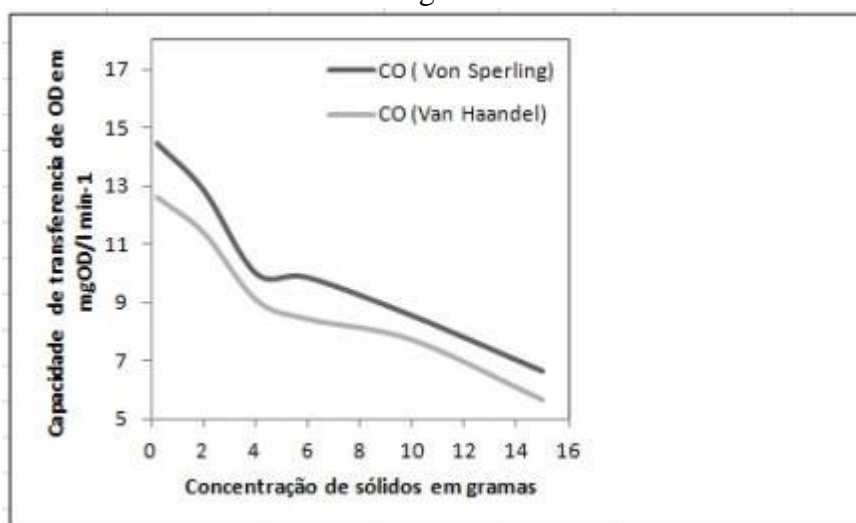
neste trabalho e usando biomassa não inativada. Na **Tabela 3** estão expostos as concentrações utilizadas nos testes e os  $K_{la}$  obtidos as suas concentrações respectivamente.

Tabela 3: Comparação de resultados de  $K_{la}$  obtidos em cada trabalho.

Faixas de Concentrações de SST (g/L)	Diferentes Valores de $K_{la}$ encontrados sob influência dos sólidos na transferência de OD		
	Silva Filho (2009)	Miranda (2012)	Damasceno (2012)
17	0,80	Não Investigado	Não Investigado
13,5 - 15	0,82	Não Investigado	0,62
10 - 11,8	0,80	1,05	0,85
7,8 - 9,2	0,90	1,2	Não Investigado
5,87 - 6	Não Investigado	1,35	0,93
4 - 4,25	1,20	1,4	1,00
2 - 2,3	1,20	Não Investigado	1,27
0,2	1,55	Não Investigado	1,39

Na tabela 3 pode-se notar que existe uma diferença de resultado tanto pelas diferenças das concentrações utilizadas, quanto nos resultados obtidos dos  $K_{la}$ . Os valores de  $K_{la}$  obtidos por Silva Filho (2009), foram os que mais se aproximaram dos valores obtidos neste trabalho. Os valores de  $K_{la}$  alcançados por Miranda (2012), foram mais distantes dos valores obtidos neste trabalho. As diferenças de resultados pode-se explicar pela metodologia utilizada em cada trabalho e também as concentrações que não eram fechados como realizados nos testes deste trabalho em questão. Porém, percebe-se que existe de fato a tendência de redução da CO de oxigênio em função dos sólidos mantidos no sistema.

Após ter encontrado os valores de  $K_{la}$  usando as duas metodologias, foram calculados a Capacidade de oxigenação (CO) usando os valores de  $K_{la}$  encontrados. Na **Figura 3** estão expostos os valores da CO em cada metodologia.



**Figura3:** Valores de CO em cada metodologia usada.



A figura 3 mostra que quanto maior a concentração de sólidos menor é a capacidade de oxigenação (CO), e quando não há inferências como é o caso da curva padrão a capacidade de oxigenação é alta. Através dos dados calculados de  $K_{la}$  e  $C_o$ , pode-se perceber que quanto maior a concentração de sólidos menor ficará os valores de  $K_{la}$  e  $C_o$ .

Na **Tabela 4** estão expostos os resultados dos cálculos de Kwh utilizados em cada concentração de sólidos.

Tabela 4: Resultado dos gastos em energia de cada concentração.

Concentração em (g)	Gastos em 1 dia (R\$)	Gastos em 1 mês (R\$)	Gastos em 1 ano (R\$)
0,2	0,0040	0,12	1,44
2	0,0050	0,15	1,79
4	0,0067	0,20	2,43
6	0,0059	0,18	2,12
10	0,0068	0,20	2,43
15	0,0072	0,22	2,61

Na tabela 4 mostra que os gastos de energia vão aumentando gradualmente com o aumento das concentrações de sólidos, isso mostra que sistemas com elevadas concentrações de sólidos, apresentarão maiores gastos com energia. Neste caso é recomendado que os sistemas de aerados tenham uma menor quantidade de sólidos possíveis, mais que não venham a interferir no tratamento de afluente. Os valores encontrados fazem referencia para aeração de um Béquer com um volume de 1 litro, ou seja, os gastos são para aeração de um 1 litro de licor misto. Tabela 5 mostra resultados de estimativas feitas para 1 ano com volumes de 5 m<sup>3</sup>, 10 m<sup>3</sup> e 15 m<sup>3</sup>, com concentrações de 0,2gSST/L e de 10gSST/L.

Tabela 5: Resultados de gastos com energia com volumes maiores.

Concentração em (g)	Volume de 5 m <sup>3</sup>	Volume de 10 m <sup>3</sup>	Volume de 15 m <sup>3</sup>
0,2	1.062.400	2.124.800	3.187.200
10	1.789.950	3.579.900	5.369.850

Após feitos os cálculos dos gastos foram feitos os cálculos para analisar a redução da capacidade de oxigenação (CO) . Na **Tabela 6** estão expostos os valores da redução da CO em cada metodologia utilizada

Tabela 6: Redução da CO de cada metodologia utilizada

Concentração em (g)	Redução em % (Van Haandel e Marais)	Redução em % (Von Sperling)
0,2	93,4	92,7
2	84,4	82,3
4	67,3	64,0
6	62,4	63,1
10	57,2	54,7
15	41,9	42,5

Na tabela 6 pode-se analisar que a Capacidade de oxigenação em concentração de 15 gSST/L é reduzido mais de 50%, mostrando a dificuldade em que o aerador tem em transferir o oxigênio para o líquido com essa concentração de sólidos.

Por todos os resultados apresentados recomendo que os sistemas tenham uma concentração de 10 gSST/L, pois com essa concentração os gastos não são tão elevados e não é uma concentração tão baixa para sistemas aerados.

#### 4.CONCLUSÕES

Pelos resultados adquiridos pode-se concluir que:

- O uso das duas metodologias mostrou resultados satisfatórios na determinação de  $K_{la}$  e CO<sub>2</sub>;
- A presença de sólidos em concentrações elevadas em Sistemas de Lodo Ativado interfere na capacidade de transferência de oxigênio de forma negativa;
- A concentração de 15g foi a que obteve maior interferência na transferência de oxigênio e na Capacidade de oxigenação com redução de mais de 50%;
- Os gastos de energia se elevam com o aumento das concentrações de sólidos;
- A concentração de 10 gSST/L mostrou-se que pode ser a adequada para sistemas aerados, pois os gastos não são tão elevados e não é uma concentração tão baixa para sistemas aerados

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Laboratório de Controle Ambiental (LCA), a FUNCAP pela concessão da bolsa e ao IFCE Campus Limoeiro do Norte.

#### REFERENCIAS

- VAN HAANDEL, A. C. & MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações**. Campina Grande – PB: Epgraf.; 1999.
- Von Sperling, Marcos. **Lodos ativados**. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.
- Silva Filho, H. A. **Estudo da influência de fatores físicos sobre a taxa de transferência de oxigênio dissolvido**. In: IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2009, Belém. Anais... Pará, 2009.
- 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