

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA  
CURSO ENGENHARIA DE AQUICULTURA

Higor Tenfen

**Respirometria para avaliação da atividade microbiana em reatores biológicos de leito  
móvel no tratamento de efluente aquícola**

Florianópolis

2022

Higor Tenfen

**Respirometria para avaliação da atividade microbiana em reatores biológicos de leito móvel no tratamento de efluente aquícola**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Aquicultura.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Katt Regina Lapa

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Tenfen, Higor

Respirometria para avaliação da atividade microbiana em reatores biológicos de leito móvel no tratamento de efluente aquícola / Higor Tenfen ; orientador, Katt Regina Lapa , 2022.

36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Engenharia de Aquicultura, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Aquicultura. I. Regina Lapa , Katt.  
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Aquicultura. III. Título.

Higor Tenfen

**Título:** Respirometria para avaliação da atividade microbiana em reatores biológicos de leito móvel no tratamento de efluente aquícola

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Aquicultura e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Aquicultura

Florianópolis, 14 de dezembro de 2022.

---

Prof. Dr. Marcos C. P. de Albuquerque  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Katt Regina Lapa  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eng. Ambiental e Sanitarista Vinicius Muller Buratto  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eng. Agrônomo Bruno Mellado Ornellas  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe Valdete Tenfen e meu irmão Jorge Tenfen por me proporcionarem todo suporte, amor e inspiração para chegar até aqui.

Agradeço meu amigo de coração Luiz Miguel Christakis por todo o apoio e companheirismo, nunca medindo esforços para ajudar com suas habilidades arquitetônicas.

A todos os amigos, colegas e professores que conheci durante a graduação que fizeram a diferença na minha formação acadêmica.

Agradeço a minha orientadora Katt Regina Lapa por todas as trocas de conhecimentos e conselhos, sejam eles acadêmicos ou pessoais. Obrigado por me orientar a seguir os melhores caminhos para minha formação acadêmica, você fez toda a diferença!!

Aos colegas de laboratório Augusto e Vinicius por aceitarem a minha participação no projeto de mestrado deles, compartilhando o conhecimento de forma harmoniosa. Foi um prazer conhecer vocês.

Agradeço ao LAPAD (UFSC) por disponibilizarem toda a estrutura necessária para que fosse possível realizar todos os trabalhos.

## RESUMO

A tecnologia atualmente utilizada na remoção de nitrogênio amoniacal em sistemas de recirculação aquícola (RAS) é a de biorreatores de leito móvel, conhecido pela sigla *em inglês* MBBR. Os biorreatores aceleram as reações biológicas, proporcionam um ambiente favorável para o crescimento microbiano pela grande área superficial dos elementos suportes e contato com os nutrientes dissolvidos, com baixa perda de carga, o que representa uma vantagem em relação aos sistemas de leito fixo, que necessitam altura manométrica para favorecer o fluxo hidráulico. Como o funcionamento do MBBR para aquicultura se difere do funcionamento para tratamento de águas residuárias, o presente estudo teve como objetivo contribuir com o desenvolvimento da tecnologia para tratamento de efluentes aquícolas, com foco em sistemas de recirculação de água doce através da avaliação de utilização da técnica respirométrica como ferramenta para monitorar processos de nitrificação em biorreatores de leito móvel. Os ensaios respirométricos possibilitaram a determinação da velocidade de respiração dos microrganismos aeróbios ( $R_{obs}$ ), parâmetro que pode ser relacionado com o consumo de substrato (NAT). As respirometrias realizadas nos reatores MBBRs em escala de bancada apresentaram valores de consumo de oxigênio muito próximos entre os tratamentos, apresentando o maior valor no reator controle de  $3,35 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Aquicultura; RAS; Respirometria; MBBR;

## ABSTRACT

The technology currently used in the removal of ammoniacal nitrogen in recirculating aquaculture systems (RAS) is the moving bed bioreactors, known by the acronym MBBR. Bioreactors accelerate biological reactions, provide a favorable environment for microbial growth due to the large surface area of support elements and contact with dissolved nutrients, with low head loss, which represents an advantage over fixed bed systems, which require manometric height to favor the hydraulic flow. As the operation of the MBBR for aquaculture differs from the operation for wastewater treatment, the present study aimed to contribute to the development of technology for the treatment of aquaculture effluents, focusing on freshwater recirculation systems through the evaluation of the use of respirometric technique as a tool to monitor nitrification processes in moving bed bioreactors. The respirometric assays made it possible to determine the respiration rate of aerobic microorganisms ( $R_{obs}$ ), a parameter that can be related to substrate consumption (NAT). The respirometry performed in the MBBR reactors on a bench scale showed very close oxygen consumption values between the treatments, with the highest value in the control reactor of  $3.35 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

**Keywords:** Aquaculture; RAS; Respirometry; MBBR;

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Esquemática RAS - “Recirculating Aquaculture Systems” – que significa Sistemas de Recirculação Aquícola.....   | 13 |
| Figura 2: Geração de efluente em um ambiente aquícola. ....  | 13 |
| Figura 3: Contador biológico rotativo .....  | 14 |
| Figura 4: Processo de nitrificação e equilíbrio dinâmico da amônia total.....  | 14 |
| Figura 5: Funcionamento dos biorreatores de leito móvel (MBBR). ....   | 15 |
| Figura 6: MBBR experimental .....  | 18 |
| Figura 7: <i>Pimelodus maculatus</i> Lacépède. 1803 .....  | 19 |
| Figura 8: Delineamento experimental maturação com caldo de ração.....  | 20 |
| Figura 9: (a) - Oxímetro utilizado para realizar as medições de O <sub>2</sub> dissolvido, (b) - Material suporte utilizado para adesão da biomassa nitrificante. .... | 21 |
| Figura 10: Concentração de oxigênio dissolvido ao longo do tempo no pré-teste 1.....   | 23 |
| Figura 11: Concentração de oxigênio dissolvido ao longo do tempo no pré-teste 2.....   | 23 |
| Figura 12: RESPIROMETRIA 1 .....   | 25 |
| Figura 13: RESPIROMETRIA 2.....  | 25 |
| Figura 14: RESPIROMETRIA 3 .....   | 26 |
| Figura 15: Pré-teste 1 tratamento CT .....   | 27 |
| Figura 16: Pré-teste 1 tratamento CR .....   | 27 |
| Figura 17: Pré-teste tratamento CA .....   | 27 |
| Figura 18: PRÉ-TESTE 2 CR.....   | 28 |
| Figura 19: PRÉ-TESTE 2 CT.....   | 28 |
| Figura 20: PRÉ-TESTE 2 CA .....  | 29 |
| Figura 21: RESPIROMETRIA 1 E 2 - CR.....   | 30 |
| Figura 22: RESPIROMETRIA 1 E 2 - CT.....   | 30 |
| Figura 23: RESPIROMETRIA 1 E 2 - CA .....  | 30 |
| Figura 24: Decaimento de O <sub>2</sub> no reator CR na realização da respirometria 3. ....  | 31 |
| Figura 25: Decaimento de O <sub>2</sub> no reator CT na realização da respirometria 3. ....  | 31 |
| Figura 26: Decaimento de O <sub>2</sub> no reator CA na realização da respirometria 3. ....  | 32 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                  |   |
|------------------|---|
| C:N              | Relação carbono-nitrogênio  |
| H                | Hidrogênio  |
| H <sub>2</sub> O | Água  |
| IAWQ             | Associação Internacional de Qualidade da Água                         |
| MBBR             | Reator Biológico de Leito Móvel ( <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> ) |
| NAT              | Amônia Total  |
| NH <sub>3</sub>  | Amônia livre  |
| NH <sub>4</sub>  | Amônia Ionizada   |
| NO <sub>2</sub>  | Nitrito   |
| NO <sub>3</sub>  | Nitrato   |
| O <sub>2</sub>   | Oxigênio  |
| OD               | Oxigênio Dissolvido   |
| pH               | Potencial Hidrogeniônico  |
| RAS              | <i>Recirculating Aquaculture System</i>                               |
| UV               | Ultravioleta  |

## SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                       | <b>11</b> |
| 1.1          | AQUICULTURA MUNDIAL .....                     | 11        |
| 1.2          | PRODUÇÃO DE ESPÉCIES NATIVAS BRASILEIRAS..... | 11        |
| 1.3          | SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA.....         | 12        |
| 1.4          | REATORES BIOLÓGICOS .....                     | 15        |
| 1.5          | RESPIROMETRIA .....                           | 16        |
| 1.6          | OBJETIVOS .....                               | 17        |
| <b>1.6.1</b> | <b>OBJETIVO GERAL .....</b>                   | <b>17</b> |
| <b>1.6.2</b> | <b>OBJETIVO ESPECÍFICO .....</b>              | <b>17</b> |
| <b>2</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>              | <b>18</b> |
| 2.1          | LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO .....                   | 18        |
| 2.2          | SISTEMA EXPERIMENTAL DE RECIRCULAÇÃO .....    | 18        |
| 2.3          | EFLUENTE AQUÍCOLA E OPERAÇÃO DO SISTEMA ..... | 19        |
| 2.4          | RESPIROMETRIA .....                           | 20        |
| 2.5          | PRÉ-TESTE.....                                | 22        |
| 2.6          | RESPIROMETRIA .....                           | 24        |
| <b>3</b>     | <b>RESULTADOS .....</b>                       | <b>26</b> |
| 3.1          | PRÉ-TESTE.....                                | 26        |
| 3.2          | RESPIROMETRIA .....                           | 29        |
| <b>4</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>                         | <b>33</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>              | <b>33</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                       | <b>34</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 AQUICULTURA MUNDIAL

A aquicultura é uma atividade que cultiva organismos aquáticos, com rápido crescimento, variedade de espécies e métodos de cultivo. Ela é uma alternativa à pesca extrativista, suprimindo a necessidade de pescados e diminuindo a pressão sobre os estoques naturais. Recentemente, a pesca extrativista sofreu queda de produção por conta da COVID-19, além de sofrer pressão de países da Europa e da China para reduzir as frotas globais de navios pesqueiros. Isto contribuiu significativamente para a aquicultura alcançar a produção recorde de 87,5 milhões de toneladas de pescado em 2020, sendo responsável por 49% da produção mundial (FAO, 2022).

O Brasil possui grande disponibilidade de recursos hídricos, clima favorável, disponibilidade de mão de obra especializada e ampla variedade de espécies de peixes pouco exploradas e potencial zootécnico desconhecido. Entretanto, a aquicultura está em desenvolvimento no país. Segundo a Associação Brasileira de Piscicultura (Peixe BR), a produção de peixes continentais atingiu 841 mil toneladas em 2021, apresentando um crescimento de 4,7% em relação ao ano anterior. A piscicultura consiste em uma das áreas da aquicultura na qual se exerce o cultivo de peixes em cativeiro. Na produção em água doce, os sistemas mais utilizados são viveiros escavados e tanques-redes, métodos que são vulneráveis à predadores, desastres naturais e contaminação por patógenos livres no ambiente natural (TIMMONS E EBELING, 2010).

## 1.2 PRODUÇÃO DE ESPÉCIES NATIVAS BRASILEIRAS

Problemas enfrentados na produção de alevinos de espécies nativas brasileiras estão relacionados à fase de larvicultura, etapa de produção que consiste no desenvolvimento de tecnologias ideais de cultivo para proporcionar maiores taxas de sobrevivência. Os procedimentos comumente empregados para outras espécies ainda apresentam problemas de predação de larvas quando soltas diretamente em tanques de cultivo convencionais, reduzindo significativamente a produção final de alevinos (BASILIE-MARTINS, 1984). A modalidade de cultivo em sistemas fechados reduz a possibilidade de predação das larvas, elevando as taxas de sobrevivência. Estes sistemas representaram uma inovação para piscicultura, substituindo o

cultivo ao ar livre em tanques abertos e fazendo uso de tanques alojados em áreas menores e protegidas, elevando as densidades de estocagem em um ambiente mais controlado (HELFRICH & LIBEY, 1991).

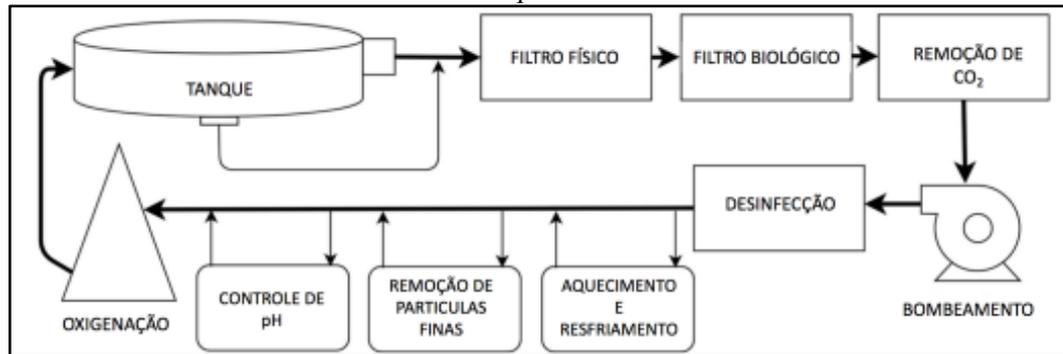
### 1.3 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA

Os sistemas fechados potencializam a produção comercial, uma vez que são baseados em altas densidades de estocagem, com menor demanda de água que os sistemas tradicionais de cultivo. Os custos envolvidos na fase de projeto e execução de um sistema de recirculação aquícola são usualmente maiores que os praticados em sistemas convencionais e demandam conhecimento técnico especializado para o dimensionamento e escolha dos equipamentos, elementos que asseguram maior autonomia e controle dos ambientes de cultivo; (NAZAR et al., 2013). Os sistemas de recirculação aquícola podem apresentar diferentes configurações, pela combinação de diversos equipamentos e estruturas para o tratamento da água, tornando-a adequada para retornar às unidades de cultivo. (BIJO et al., 2007; DAVISON, 2018).

Por ser uma atividade que compete pela água disponível e apresenta riscos como eutrofização dos corpos hídricos, contaminação de lençol freático, supressão de áreas de florestas (Henry-Silva e Camargo, 2008), é de extrema importância aprimorar os sistemas convencionais de produção aquícola, sistemas que serão insustentáveis no futuro, seja do ponto de vista ambiental ou a incapacidade de garantir produtos de qualidade, que prometa segurança alimentar aos consumidores. . O cultivo em sistemas de recirculação de água (RAS) é uma tecnologia que possibilita o desenvolvimento do setor com menor impacto ambiental, uma vez que demanda de 90 a 99% menos água do que sistemas convencionais de aquicultura (Timmons e Ebeling, 2010).

Sistemas de Recirculação Aquícola (*Recirculating Aquaculture Systems*) são sistemas nos quais a água é parcialmente reutilizada após ser submetida a tratamento. Por ser um sistema fechado, proporciona controle ambiental, volumes reduzidos de água, conservação da água, altas densidades de estocagem, bem-estar animal e elevada taxa de crescimento dos organismos cultivados (Martins et al. 2010). Os processos de tratamento usualmente aplicados à RAS são: remoção de sólidos suspensos (ex: filtro de tambor, decantador, filtro *bead*), remoção de compostos orgânicos e nitrogenados (ex: MBBR, filtro biológico percolador), desinfecção (radiação ultravioleta e ozônio) (BADIOLA; MENDIOLA; BOSTOCK, 2012; RUSTEN et al., 2006; TAKEUCHI, 2017; TIMMONS; EBELING, 2010).

Figura 1: Esquemática RAS - “Recirculating Aquaculture Systems” – que significa Sistemas de Recirculação Aquícola



Fonte: Adaptado de LEKANG, 2013.

Para o bom funcionamento de um RAS, um dos principais desafios está associado a remoção de sólidos em suspensão e dos compostos nitrogenados. A amônia é o principal composto resultante do catabolismo das proteínas fornecida na ração, produtos metabólicos dos organismos aquáticos, excreção de nutrientes não assimilados, degradação e solubilização de alimento não ingerido (CAMPBELL, 1973; YEO; BINKOWSKI; MORRIS, 2004).

Figura 2: Geração de efluente em um ambiente aquícola.

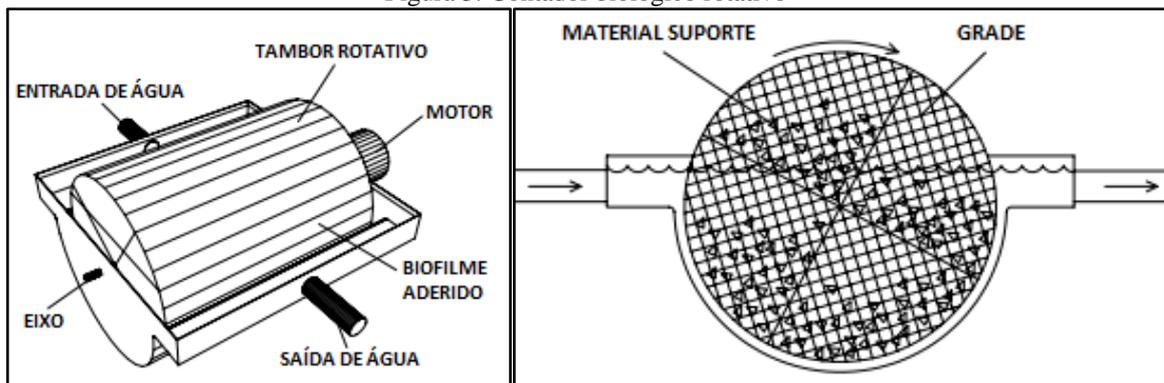


Fonte: Adaptado de LEKANG, 2013.

Altas concentrações de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT) em efluentes podem poluir corpos hídricos naturais (SCHWARTZ E BOYD, 1994). A amônia em baixas concentrações é tóxica para os animais. Segundo Colt e Armstrong (1981) existem sete tipos de efeitos tóxicos para os peixes, efeito a nível celular; efeito sobre a excreção; efeito na osmorregulação; afeta o transporte de oxigênio; efeito sobre os tecidos; enfermidades; efeito sobre o crescimento. A remoção de amônia desses sistemas pode ser obtida por diversos processos microbianos, podendo reduzir o nitrogênio amoniacal do ambiente de cultivo. Processos biológicos

desempenham importante função no tratamento de água residuária aquícola, podendo ser realizado através da mineralização, fotossíntese, crescimento de bactérias heterotróficas, nitrificação e desnitrificação pelas bactérias quimioautotróficas (BRUNE et al., 2003). O processo de nitrificação pode ser agrupado em 2 tipos gerais: emergido (contatores biológicos rotativos, filtros de gotejamento) e submerso (por exemplo, filtros de leito fluidizado, filtros de esferas) filtros de filme fixo (LING E CHEN, 2005).

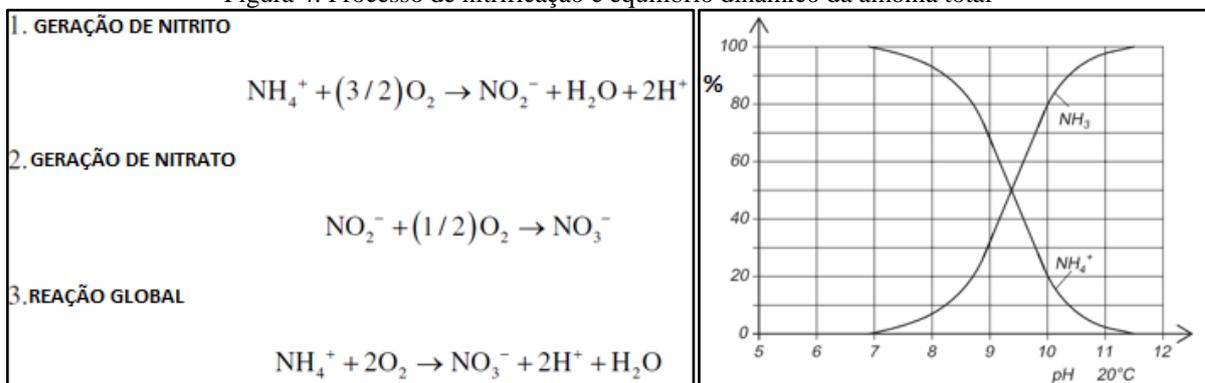
Figura 3: Contador biológico rotativo



Fonte: Adaptado de LEKANG, 2007.

A nitrificação ocorre em duas etapas, no qual a amônia é oxidada à nitrito e posteriormente o nitrito é oxidado à nitrato. As duas etapas da reação normalmente são realizadas sequencialmente (TIMMONS E EBELING, 2010). O nitrogênio amoniacal total se apresenta em equilíbrio dinâmico nas formas de amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) e amônia ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ), conforme condições de pH e temperatura. (PEREIRA, L.P.F; MERCANTE, 2005).

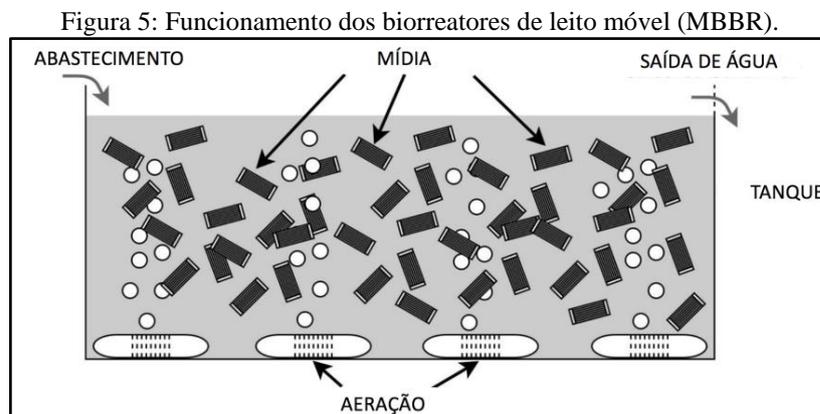
Figura 4: Processo de nitrificação e equilíbrio dinâmico da amônia total



Fonte: LEKANG (2007)

## 1.4 REATORES BIOLÓGICOS

Dentre os processos para remoção de nitrogênio amoniacal podemos citar os biorreatores de leito móvel. Eles aceleram as reações biológicas, pois permitem o controle de alguns parâmetros como pH, temperatura e concentrações de íons, promovendo um maior crescimento microbiano. Ainda que o princípio da degradação biológica seja o mesmo, a cinética do tratamento é influenciada pela mediação de parâmetros específicos (VON SPERLING, 1996). O desenvolvimento do processo MBBR (do inglês, *Moving Bed Biofilm Reactor*) foi baseado na ideia central de reunir, em um único sistema, as melhores características dos processos de lodos ativados e biofilme, eliminando as características indesejáveis de cada processo (RUSTEN, 2006). O sistema MBBR acelera as reações biológicas, proporcionam um ambiente favorável para o crescimento microbiano pela grande área superficial dos elementos suportes e contato com os nutrientes dissolvidos, com baixa perda de carga, o que representa uma vantagem em relação aos sistemas de leito fixo, que necessitam altura manométrica para favorecer o fluxo hidráulico (RUSTEN, 2006).



Fonte: Adaptado de Davison (2018).

O conhecimento dos princípios que controlam o tratamento biológico de efluentes é de grande importância para o projeto e operação desses biorreatores. Existem várias razões por que os reatores de biofilme têm sido preferidos em relação a outros processos convencionais com biomassa suspensa. Um dos principais motivos é a possibilidade de trabalhar com altas concentrações de biomassa, o que permite que o reator opere com uma carga maior e com boa eficiência de remoção de compostos orgânicos. O biofilme pode ser entendido como uma estrutura complexa de células e produtos celulares presentes de forma imobilizada em uma

matriz de substâncias poliméricas extracelulares que são capazes de formar espontaneamente aglomerados densos que crescem aderidos a superfícies sólidas ou transportadores móveis. Tanto a formação quanto o acúmulo de biofilmes em meios aquosos resultam de processos físicos, químicos e biológicos (NICOLELLA et al. 2000).

### 1.5 RESPIROMETRIA

Para monitorar a comunidade microbiana que forma o biofilme aderido aos materiais suportes dos MBBRS, são utilizadas diferentes técnicas, dentre as quais, os ensaios de respirometria aeróbia. Em biorreatores aeróbios, a respirometria aeróbia é uma técnica de monitoramento no efluente importante para avaliar a atividade da biomassa do reator ao longo do tempo. De acordo com o princípio da respirometria aeróbia, a velocidade de consumo de oxigênio está associada à velocidade de consumo de substrato (REZENDE 2014). Ela é uma técnica que permite medir a intensidade da respiração dos microrganismos aeróbios, indicando alterações metabólicas mediante o contato com diversos poluentes (VANROLLEGHEM 2002). Esse método, no qual é utilizada uma sonda para a determinação da concentração de oxigênio dissolvido, é denominado método dinâmico (SCHMIDELL et al., 2001). Quando ocorre a saturação de oxigênio no interior do reator a aeração do sistema é interrompida de forma a anular a transferência de oxigênio, verificando-se, assim, o consumo de oxigênio pelas bactérias. O procedimento deve ser feito com tempo relativamente curto, dependendo da concentração celular existente, podendo assim supor que não ocorra alteração na concentração celular no interior do reator (REZENDE 2014).

A técnica respirométrica é uma ferramenta aplicável para a determinação dos coeficientes cinéticos de bactérias e atividade de biomassa. Ela é uma técnica rápida e simples que pode ser usada para determinar a velocidade do consumo biológico de oxigênio sob condições experimentais (*International Association on Water Quality (IAWQ)*, 1998) especialmente em processos de crescimento da biomassa aderida a material suporte, comumente chamado de mídia em aquicultura. A taxa de consumo de oxigênio ( $R_{obs}$ , medido em  $\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) é o parâmetro mais importante em técnicas respirométricas possibilitando a avaliação de viabilidade da biomassa aderida no material suporte. Além disso, com a quantificação da respiração da biomassa nitrificante é possível determinar a capacidade de degradação biológica de substâncias orgânicas (BINA 2018; OWATARI 2018).

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar atécnica respirométrica como ferramenta para monitorar processos de nitrificação em biorreatores de leite móvel (MBBR) para o tratamento de efluente aquícola.

### 1.6.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar o consumo de oxigênio nos reatores biológicos;
- Identificar o intervalo ótimo do ensaio de respirometria para as condições dos reatores;
- Inferir a eficiência de conversão dos compostos nitrogenados por meio da velocidade observada de respiração dos microrganismos aeróbios ( $R_{obs}$ ).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

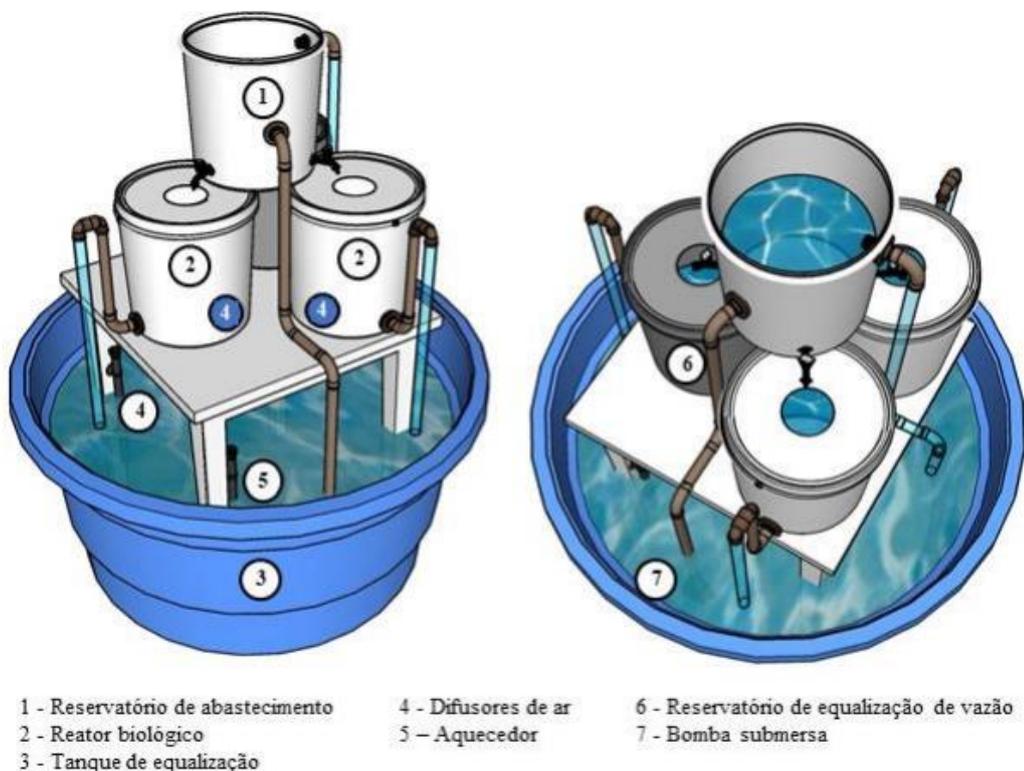
### 2.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

O estudo foi conduzido no Laboratório de Cultivo e Biologia de Água Doce (LAPAD), pertencente ao Departamento de Aquicultura, da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Florianópolis. As unidades experimentais foram formadas por três módulos independentes de recirculação de água simulando um cultivo em RAS, diferenciados pelos tratamentos: controle (CT), caldo de ração (CR) e cloreto de amônio (CA).

### 2.2 SISTEMA EXPERIMENTAL DE RECIRCULAÇÃO

Cada sistema foi composto por: dois reatores biológicos de formato cilíndrico, de polietileno de alta densidade opaco, volume útil de 20 L, com entrada do efluente por orifício superior e saída por orifício inferior; um tanque de equalização com 500 L; um reservatório de abastecimento com 20 L; e um reservatório de equalização de vazão excedente com 20 L. O material suporte preencheu 50% do volume dos reatores (LEKANG, 2007).

Figura 6: MBBR experimental



Fonte: Autor (2022).

### 2.3 EFLUENTE AQUÍCOLA E OPERAÇÃO DO SISTEMA

Os biorreatores foram montados originalmente para conduzir estudos testando estratégias de maturação de reatores de leito móvel (MBBR), operados em um RAS experimental, utilizando inicialmente efluente de um sistema experimental de cultivo de juvenis de Pintado-Amarelo (*Pimelodus maculatus*). Os peixes com 12 cm de comprimento e peso médio de 45 g estavam estocados a uma densidade de 20 kg.m<sup>-3</sup> em 6 tanques de 1 m<sup>3</sup>. Durante o experimento afim de simular um cultivo aquícola com geração diária de 1 mg L<sup>-1</sup> de NAT, foi calculado qual seria a quantidade necessária de acetato de sódio (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>) e cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) para que tivesse uma relação carbono:nitrogênio de 10:1 (LEKANG, 2007). A massa molar do C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> é igual a 82,0343 g mol<sup>-1</sup>, a massa molar de carbono presente no acetato de sódio é igual a 24,0222 g mol<sup>-1</sup>, dividindo 24,0222 por 82,0343, obteve-se 0,292 g de Carbono. Para saber quantas gramas de acetato são necessárias para ter 1 mg L<sup>-1</sup> de carbono basta realizar uma regra de três:

$$\begin{array}{r} 1\text{g de acetato} \text{ ----- } 0,292 \text{ g de Carbono} \\ X \quad \quad \quad \text{----- } 0,001 \text{ g de Carbono} \\ X = 0,00342 \text{ g de Acetato de sódio} \end{array}$$

Multiplicando a valor obtido pelo volume total do sistema, temos: 570 L x 0,00342 g = 1,95 g. Como queremos uma proporção de 10:1(1,95 g x 10 = 19,52 g de Acetato de sódio). O mesmo cálculo foi feito para encontrar a quantidade de 1,69 g de NH<sub>4</sub>Cl.

Figura 7: *Pimelodus maculatus* Lacépède. 1803



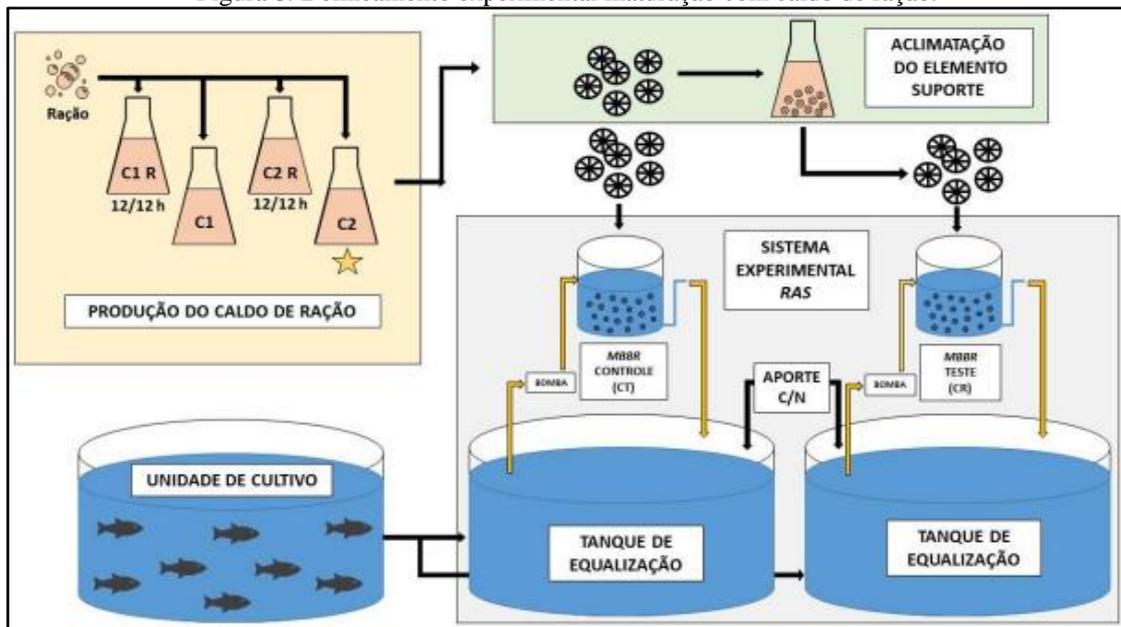
Fonte: SANTOS (2021)

Este experimento fez parte de projeto de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da UFSC no qual foram testadas duas fontes para enriquecimento do material suporte para formação do biofilme nitrificante: Cloreto de amônio e ração comercial (Guabitech

Onívoros Juvenis com 32% de proteína bruta). O delineamento experimental foi dividido em 3 etapas: produção do enriquecimento (Cloreto de amônio ou ração), aclimatação do elemento suporte em seu respectivo tratamento e monitoramento dos reatores. O experimento teve duração total de 87 dias, de junho a setembro de 2021. (BURATTO, 2022; CARDOSO, 2022).

A respirometria foi prosposta afim de caracterizar a comunidade nitrificante e avaliar através da determinação da velocidade de consumo de oxigênio se havia diferença entre as velocidades.

Figura 8: Delineamento experimental maturação com caldo de ração.



Fonte: BURATTO (2022).

## 2.4 RESPIROMETRIA

Os reatores CT foram ocupados com material suporte esterilizados e nos reatores CA e CR foram inseridas as peças que passaram pelas respectivas etapas de maturação. Bombas submersas (XL 280 Ace Pet 1800 L.h<sup>-1</sup>) foram utilizadas para abastecer os reservatórios de equalização de vazão e de abastecimento. A aeração e agitação do efluente e material suporte nos reatores foi realizada por difusores de ar abastecidos via sistema central por sopradores. A temperatura (28°C) foi controlada por aquecedores de resistência de 100 W. Para realizar as medições de oxigênio dissolvido foi utilizado um oxímetro digital ProODO da marca YSI da linha Professional Series.

Figura 9: (a) - Oxímetro utilizado para realizar as medições de O<sub>2</sub> dissolvido, (b) - Material suporte utilizado para adesão da biomassa nitrificante.



(a)

Fonte:ysi.com

(b)

Fonte: www.altamar.com.br

Com o objetivo de determinar o melhor intervalo de tempo para realizar as medições de oxigênio nos reatores, foram realizados dois pré-testes em nível de bancada. Uma vez determinados os intervalos ótimos foram realizados três ensaios respirométricos seguindo a metodologia adaptada de SHIZUO (2018) nos reatores. A atividade microbiana foi avaliada pela velocidade observada de respiração dos microrganismos aeróbios ( $R_{obs}$ ). O procedimento consistiu em saturar o oxigênio dissolvido nos reatores, cessar a aeração e monitorar o oxigênio dissolvido até a concentração limite de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$ , quando foi reestabelecido o fornecimento de oxigênio.

Empregando-se o método dinâmico apresentado por Atkison e Mavituna (1991). A velocidade de consumo foi obtida através da inclinação da curva de decaimento de oxigênio dissolvido conforme equação abaixo:

$$C = C_0 - R_{obs}.t$$

Onde:

C = concentração de oxigênio;

$C_0$  = concentração de oxigênio no instante em que a aeração é interrompida;

$R_{obs}$  = velocidade de respiração;

t = tempo.

Os dados de respirometria foram submetidos à análise de regressão linear simples entre tempo e consumo de oxigênio para conhecer o efeito de uma variável sobre a outra e verificar

se os dados obtidos eram significativos. As análises foram realizadas utilizando a ferramenta de análise de dados do software Microsoft Excel empregando nível de confiança de 95%.

## 2.5 PRÉ-TESTE

Na realização do primeiro pré-teste, foram utilizados três béqueres de polipropileno com volume igual a 1 L, preenchidos com o material suporte dos respectivos reatores: Caldo de Ração 1 (CR1), Controle 1 (CT1) e Cloreto de Amônio 1 (CA1).

Cada béquer continha 20 unidades do material suporte oriundo dos diferentes tratamentos. As 20 unidades preenchem 250 mL de cada béquer. Após abrigá-las, os béqueres foram preenchidos com 1 L de água do respectivo reservatório que alimentava o tratamento: CR1, CT1 e CA1.

Os béqueres foram dispostos em bancada e mangueiras com pedras porosas abastecidas por sistema central de aeração do laboratório foram utilizadas durante 15 minutos para atingir a saturação de oxigênio dissolvido no fluido. Após este período, foi interrompida a aeração, dando início ao ensaio de respirometria, pela medição da concentração de oxigênio dissolvido no efluente. Este pré-teste teve duração de 340 minutos e as medições de oxigênio dissolvido foram feitas em diferentes intervalos de tempos durante o ensaio. As primeiras 5 medições foram feitas a cada 5 minutos, posteriormente feitas de 10 em 10 minutos, em seguida feitas de 30 em 30 minutos e, por último, foram feitas medições de hora em hora. Ao final dos 340 minutos o  $R_{obs}$  dos tratamentos CR1, CT1 e CA1 foram calculados.

No segundo pré-teste a quantidade de material suporte foi elevada em 100%, totalizando 40 peças. , o material suporte preencheu 500 mL do béquer e foi coletado dos dois reatores que haviam por tratamento (250 mL coletados do CR1 e 250 mL coletadas do CR2, 500 mL de material suporte CR).

As medições foram feitas a cada 5 minutos, durante 75 minutos, a queda da concentração de oxigênio pode ser vista na Figura 11. Após 75 minutos foi aguardado 60 minutos para realizar a próxima análise e posteriormente as análises foram feitas a cada 15 minutos até atingir 290 minutos.

O limite mínimo da concentração de oxigênio dissolvido estabelecido pela literatura é de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  (LEKANG, 2007) para que não haja morte dos microrganismos nitrificantes, e como é possível verificar na Figura 11, passados 290 minutos, nenhum tratamento chegou a 2

mg L<sup>-1</sup>. Um dos motivos pode ter sido a baixa carga de amônia total no efluente e a queda acentuada da temperatura, pois os pré-testes não foram realizados em temperatura constante.

Figura 10: Concentração de oxigênio dissolvido ao longo do tempo no pré-teste 1.

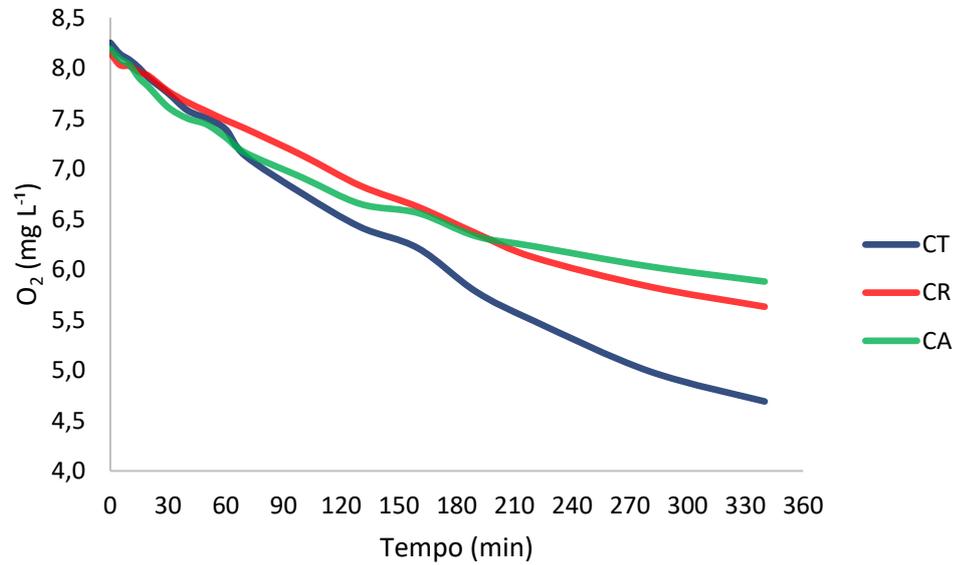
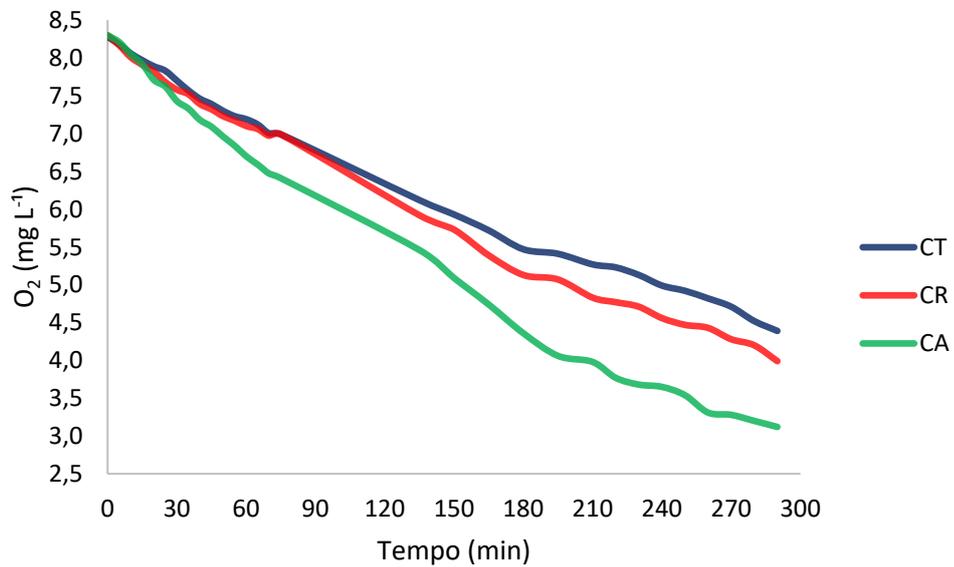


Figura 11: Concentração de oxigênio dissolvido ao longo do tempo no pré-teste 2.



## 2.6 RESPIROMETRIA

Com os dados obtidos nos pré-testes, foi determinado que a respirometria nos reatores teria duração de 120 minutos ou até atingir o limite pré-estabelecido de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  de oxigênio dissolvido, com medições de 15 em 15 minutos e coletas de 45 em 45 minutos. A manutenção da temperatura a  $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$  foi realizada por aquecedores de resistência de  $100 \text{ W}$  imersos nos reatores.

Uma hora antes de iniciar a respirometria foram feitos os aportes de Acetato de sódio e Cloreto de amônio nos tanques de equalização de cada sistema. Através da adição de Cloreto de Amônio e Acetato de sódio, procurou-se simular o processo de nitrificação, ou seja, o oxigênio consumido pelas bactérias nitrificantes na oxidação do nitrogênio amoniacal em nitrito e posteriormente a nitrato.

Após o aporte de acetato de sódio e cloreto de amônio, as torneiras de saída dos reatores foram fechadas e a aeração ficou ligada por 15 minutos para saturar o sistema de oxigênio. Posteriormente, iniciou-se as medições de oxigênio posicionando a sonda no fundo dos reatores. As coletas foram determinadas conforme o que foi apresentado nos pré-testes, como pode ser visto na **Figura 12**, o consumo de oxigênio foi muito maior comparado ao dos pré-testes. Passados 90 minutos os níveis de oxigênio dissolvido estavam próximo a  $2 \text{ mg L}^{-1}$ .

Levando em consideração a respirometria 1 foi determinado que está teria duração de 120 minutos com medições feitas a cada 5 minutos e coletas realizadas a cada 15 minutos, em temperatura constante ( $28^{\circ}\text{C}$ ).

A respirometria foi conduzida da seguinte maneira: O aporte de acetado de sódio ( $19,52 \text{ g}$ ) e cloreto de amônio ( $1,69 \text{ g}$ ) nos sistemas foram feitos 60 minutos antes de iniciar as medições. Passado este tempo, as torneiras de saída dos reatores foram fechadas e houve um aporte de cloreto de amônio de  $0,06 \text{ g}$  dentro de cada reator. Como foi calculada a quantidade de cloreto de amônio para  $570 \text{ L}$  bastou fazer uma regra de três para saber a quantidade para  $20 \text{ L}$ , para garantir que a concentração de amônia nos reatores fosse de  $1 \text{ mg L}^{-1}$ . Posteriormente, a aeração ficou ligada por 15 minutos, ao interrompê-la deu-se início a respirometria. Como pode ser visto na **Figura 13** houve reatores que atingiram o limite mínimo de oxigênio dissolvido estabelecido pela literatura em menos de 60 minutos.

As coletas e medições foram mantidas as mesmas da respirometria 2, somente os aportes que se diferenciaram. Como havia terminado o acetado de sódio no laboratório, não foi possível realizar o aporte de  $19,52 \text{ g}$  nos sistemas. Somente foi possível realizar o aporte de

1,69 g de cloreto de amônio nos sistemas uma hora antes de iniciar a respirometria e o aporte de 0,06 g de cloreto de amônio com a aeração ligada por 15 minutos em cada reator.

Figura 12: RESPIROMETRIA 1

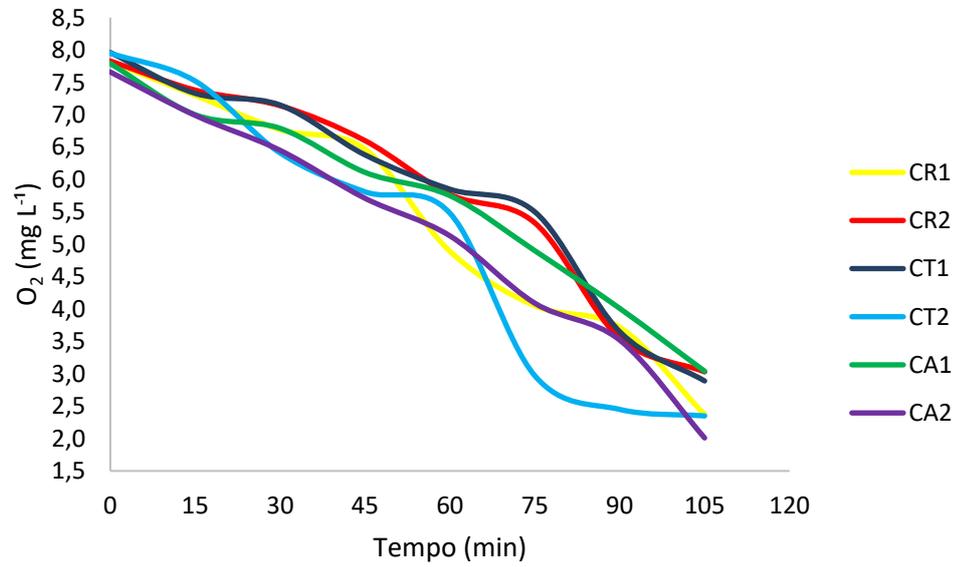


Figura 13: RESPIROMETRIA 2

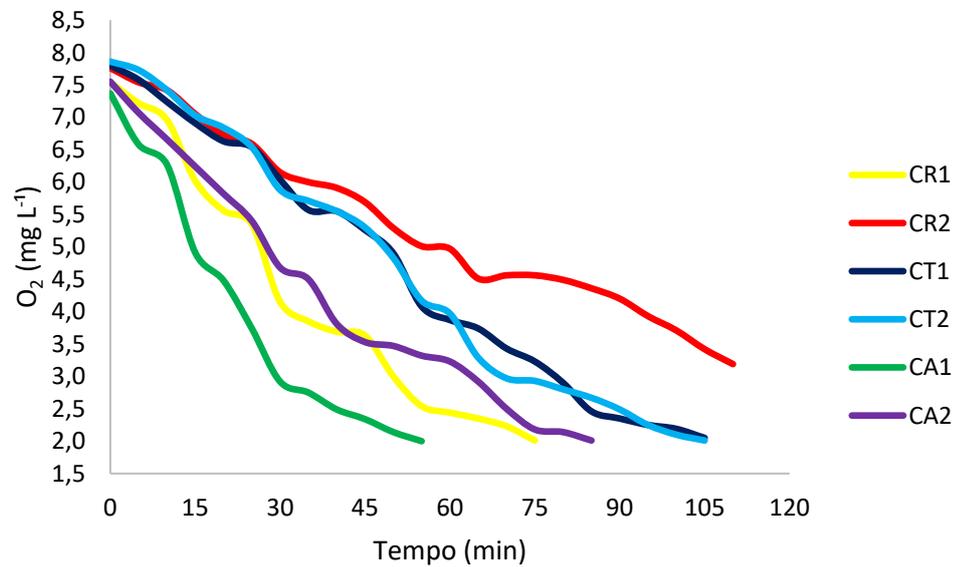
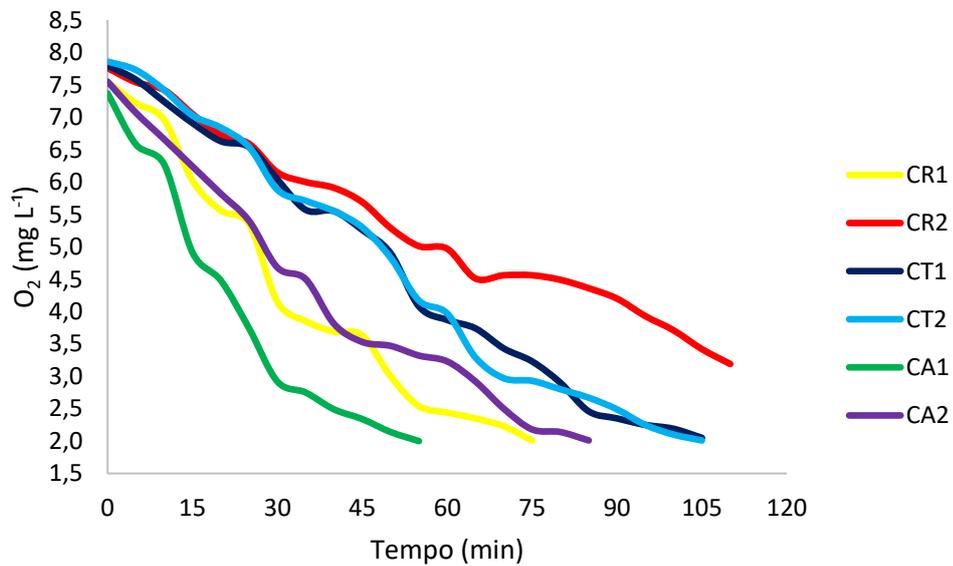


Figura 14: RESPIROMETRIA 3



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 PRÉ-TESTE

Os ensaios respirométricos possibilitaram a determinação da velocidade de respiração dos microrganismos aeróbios ( $R_{obs}$ ), um parâmetro importante que pode ser relacionado com o consumo de substrato (NAT) pelas bactérias nitrificantes, um dado para dimensionamentos futuros de plantas de RAS, conhecendo a demanda de  $O_2$  no filtro MBBR para tratamento de efluentes aquícolas.

Os valores de velocidade de respiração dos microrganismos, considerando o consumo de oxigênio foram de 0,71; 0,50 e 0,46  $mg O_2 L^{-1}h^{-1}$ , respectivamente para CT, CR e CA. Estes valores foram considerados baixos por conta do volume de material suporte em cada béquer, pela baixa carga de amônia total presente nos efluentes.

Figura 15: Pré-teste 1 tratamento CT

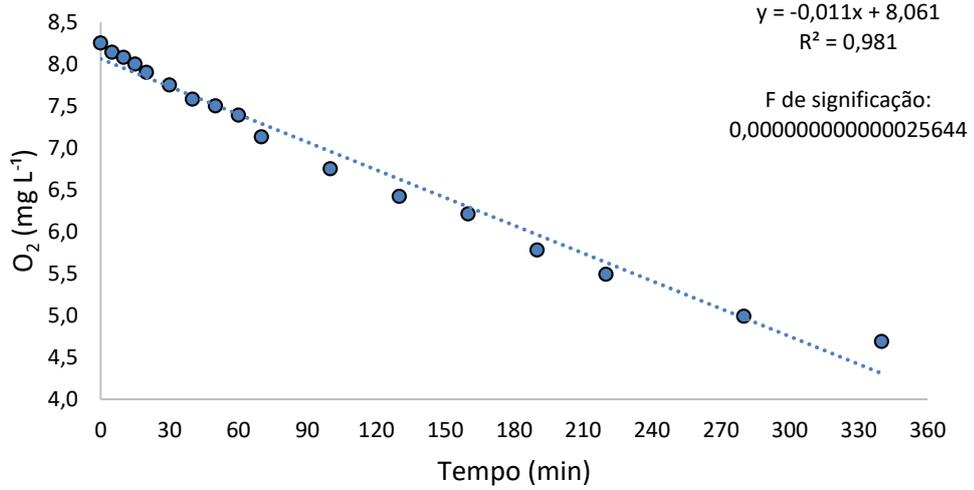


Figura 16: Pré-teste 1 tratamento CR

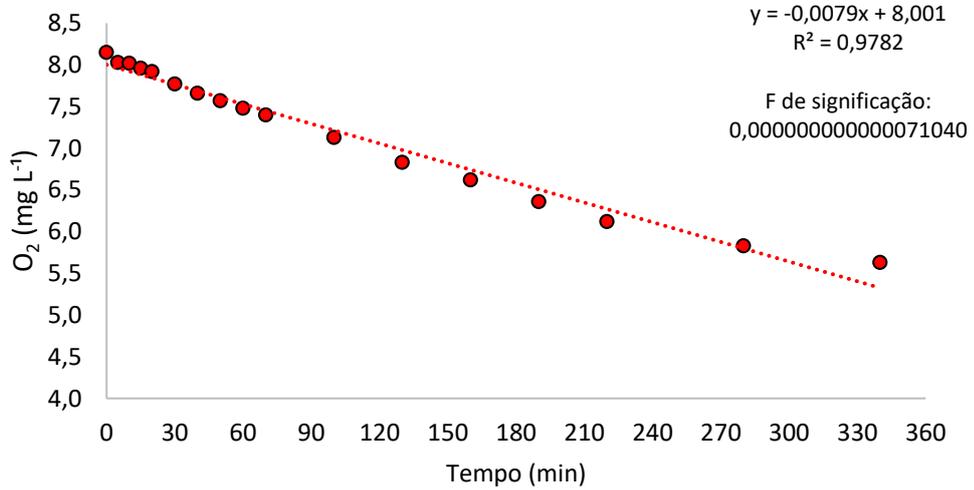
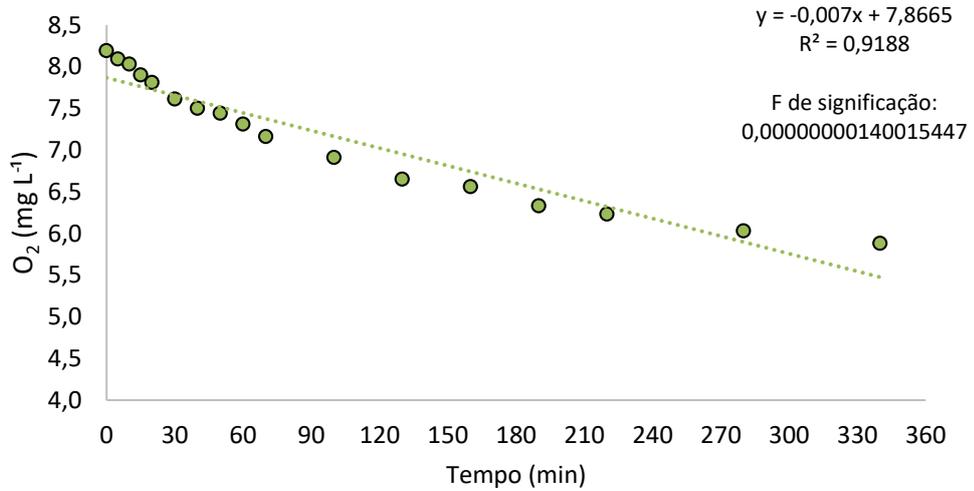


Figura 17: Pré-teste tratamento CA



Com o dobro de material suporte foi possível verificar que o volume é um fator que determina a velocidade de consumo do substrato presente nos reatores, sendo possível verificar valores de  $R_{obs}$  superior ao pré-teste 1.

Figura 18: PRÉ-TESTE 2 CR

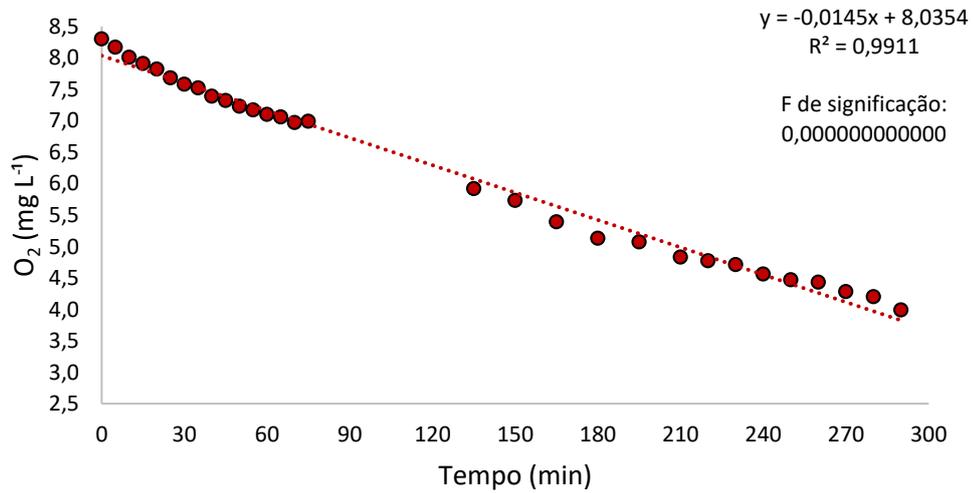
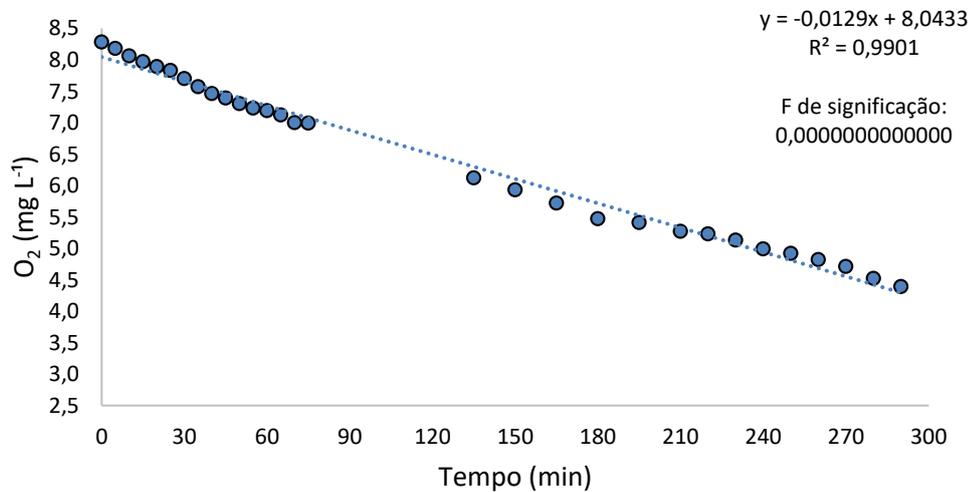
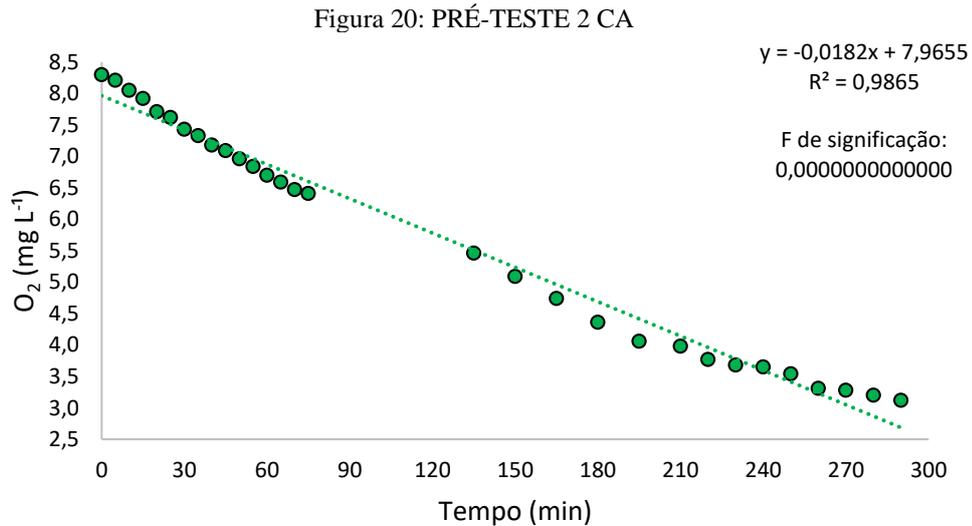


Figura 19: PRÉ-TESTE 2 CT





A velocidade mais acentuada entre os tratamentos foi a do tratamento com cloreto de amônio (CA) apresentando aproximadamente o dobro da velocidade de respiração ( $1,10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) encontrada no PRÉ-TESTE 1. Os valores dos demais tratamentos também foram superiores: CR =  $0,87 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ ; CT =  $0,77 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

### 3.2 RESPIROMETRIA

Afim de realizar uma análise estatística com maior representatividade, os dados obtidos na primeira e segunda respirometria foram agrupados pelo fato dos aportes de cloreto de amônio e acetato de sódio no sistema terem sido os mesmos nas duas respirometrias. Posteriormente, foram submetidos a análise de regressão e verificado que os dados são significativos. Devido a análise de regressão ter sido feita com dados de dois dias de respirometria (1 e 2), é possível verificar valores de  $R^2$  inferiores em relação aos pré-testes, isso se deve a distância que alguns pontos estão da linha de tendência, não podendo ser interpretado como um grau de baixa qualidade de um modelo. O que realmente determina se os dados são representativos ou não é o F de significação, se  $F < 0,05$  é representativo.

O tratamento com o consumo mais acentuado foi o Controle (CT) apresentando um consumo de  $3,35 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$  e os demais tratamentos apresentaram valores muito próximos um do outro: CR =  $2,57 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ ; CA =  $2,25 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

Figura 21: RESPIROMETRIA 1 E 2 - CR

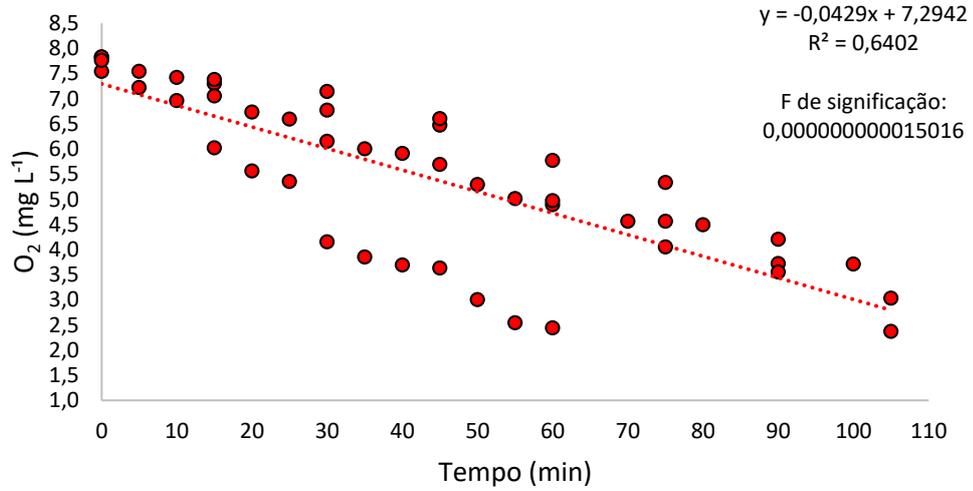


Figura 22: RESPIROMETRIA 1 E 2 - CT

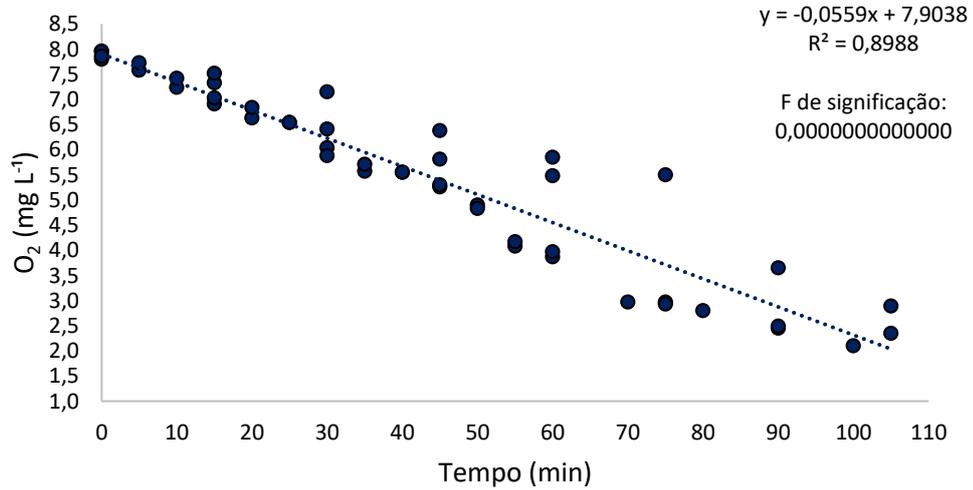
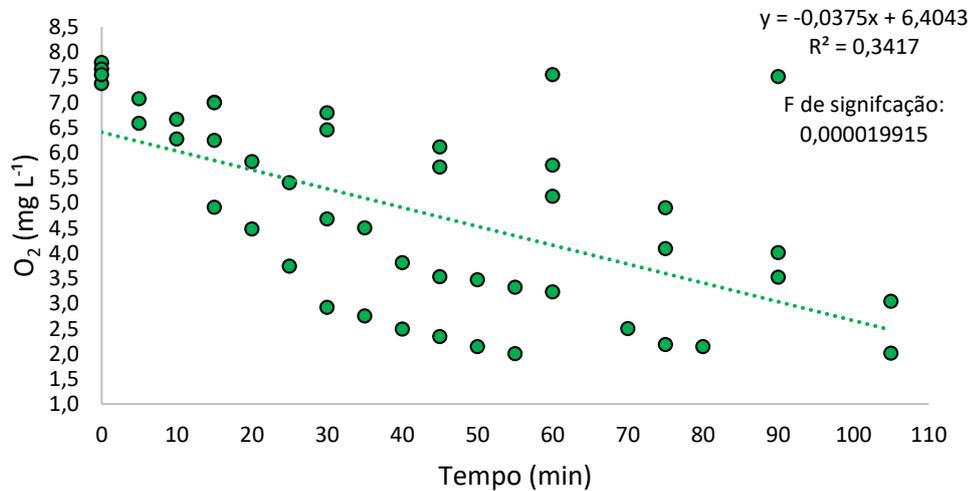


Figura 23: RESPIROMETRIA 1 E 2 - CA



Na análise de regressão os dados da respirometria 3 foram agrupados. Como os reatores estavam dispostos em duplicata em cada sistema foi possível a união dos dados, aumentando o número de observações da análise.

Figura 24: Decaimento de O<sub>2</sub> no reator CR na realização da respirometria 3.

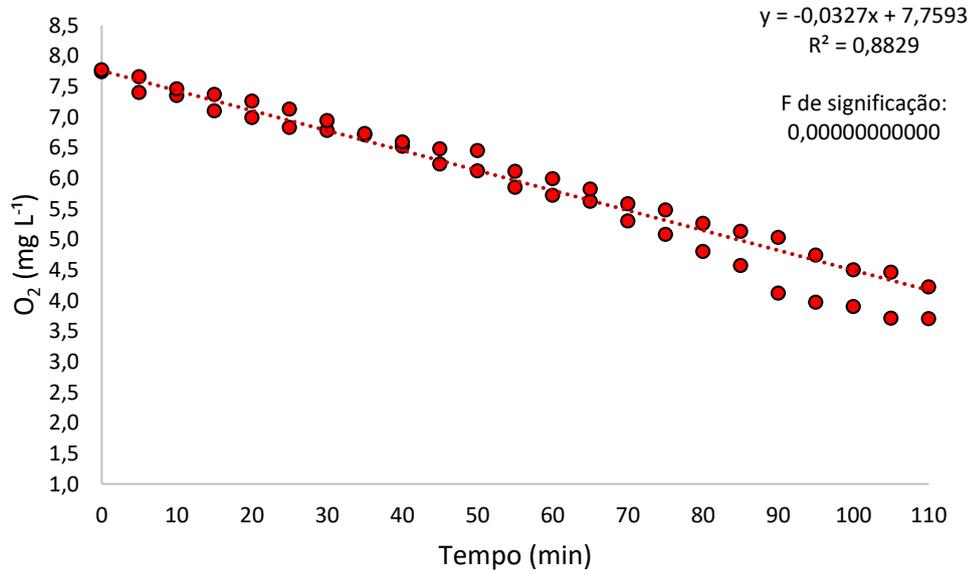


Figura 25: Decaimento de O<sub>2</sub> no reator CT na realização da respirometria 3.

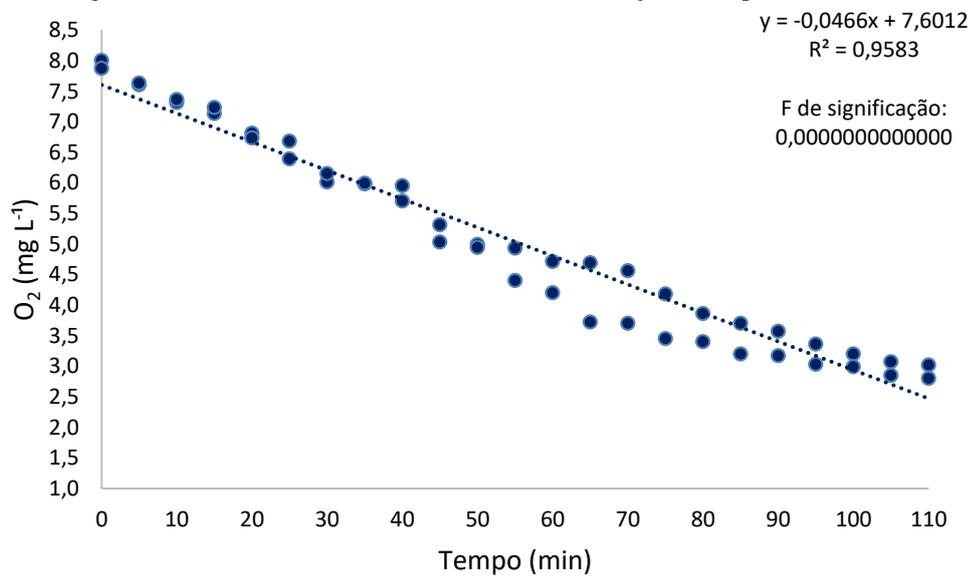
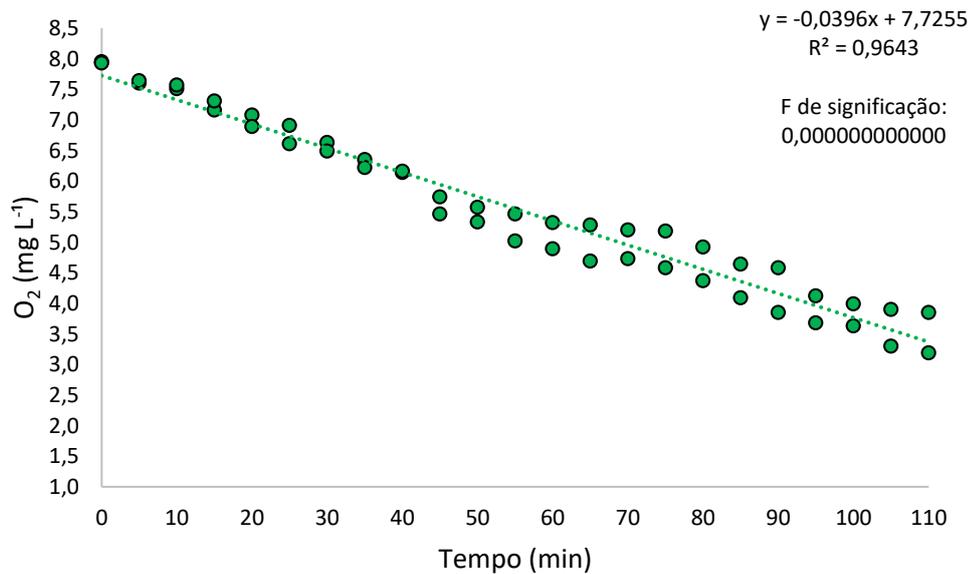


Figura 26: Decaimento de O<sub>2</sub> no reator CA na realização da respirometria 3.

O reator CA apresentou um  $R_{obs}$  superior em relação ao CA da respirometria 1 e 2, apresentando valor igual a  $2,38 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Os reatores CR e CT apresentaram valores respectivamente:  $2,11 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$  e  $2,80 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

Tabela 1 – Resultado de todas as velocidades de respiração dos microrganismos aeróbios ( $R_{obs}$ ) encontrados nos ensaios de respirometria.

|           | <b>PRE-TESTE 1</b><br>( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) | <b>PRÉ-TESTE 2</b><br>( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) | <b>RESPIROMETRIA 1 e 2</b><br>( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) | <b>RESPIROMETRIA 3</b><br>( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) |
|-----------|---|---|---|---|
| <b>CR</b> | 0,51  | 0,87  | 2,57  | 2,11  |
| <b>CT</b> | 0,71  | 0,77  | 3,35  | 2,80  |
| <b>CA</b> | 0,46  | 1,10  | 2,25  | 2,38  |

A concentração de amônia no ambiente aquícola afeta a taxa de nitrificação, quanto maior a concentração de amônia significa taxas mais altas de nitrificação e conseqüentemente o consumo de oxigênio pelas bactérias quimioautotróficas aumenta. Os dados de consumo de oxigênio apresentados demonstraram que a atividade dos microrganismos presentes nos reatores foi baixa quando comparados à ensaios realizados em reatores de leito móvel em sistema de recirculação com tilápia e jundiá, apresentando valor igual a  $10,8 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , sendo realizado 4 pulsos de cloreto de amônio de  $35,36 \text{ mg L}^{-1}$  nos reatores (OWATARI, 2018).

A transformação de nitrogênio amoniacal e o consumo de oxigênio em um biofiltro de aquicultura se difere do tratamento de água residuária pelo fato dos reatores com lodo ativado

terem um crescimento muito elevado de bactérias heterotróficas que são bactérias que crescem em uma velocidade muito mais acentuada dos que bactérias autotróficas. Essas bactérias formam um floco que é sedimentado e as bactérias mortas são removidas. Em um ambiente aquícola as bactérias autotróficas transformam NAT em nitrato. Para que isso ocorra de forma eficiente o crescimento das bactérias heterotróficas deve ser limitado, limitando o carbono orgânico presente no efluente, eliminando sólidos e partículas finas. Sendo está a melhor maneira de controlar o crescimento de bactérias heterotróficas.

Como o funcionamento do MBBR para aquicultura se difere do tratamento de águas residuárias é de extrema importância que estudos sejam feitos para entender o funcionamento de MBBR em ambiente aquícola. É necessário obter informações sobre o uso em sistemas de recirculação para aquicultura são dados que contribuem para o dimensionamento de plantas de RAS futuras, fornecendo aos operadores e projetistas informações para compreender e otimizar a operação dos biorreatores de leito móvel.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que foi possível operar biorreatores de leito móvel, tipo MBBR, para nitrificação de águas em sistemas de recirculação de água doce, através da avaliação de utilização da técnica respirométrica. As respirometrias realizadas nos reatores MBBRs em escala de bancada apresentaram valores de consumo de oxigênio muito próximos entre os tratamentos, sendo possível identificar que com o aumento da quantidade de material suporte em um mesmo volume houve um aumento do  $R_{obs}$  como foi apresentado no pré-teste 2. Outro fator que proporcionou aumento do consumo de oxigênio pelas bactérias quimioautotróficas foi a relação Carbono/Nitrogênio ter sido mantida em 10:1, apresentando o maior valor no reator controle de  $3,35 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

#### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Estudos futuros podem ser feitos com o objetivo de conhecer o funcionamento de biorreatores de leito móvel em sistemas de recirculação aquícola comerciais, com alta densidade de estocagem e altas taxas de arraçamento. A utilização de equipamentos de medição automatizados e com transferência simultânea dos dados pode auxiliar nesse entendimento.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. C. A. NUÑER, A. P. O. Crescimento de *Pimelodus maculatus* (Actinopterygii, Pimelodidae) estocados em diferentes densidades em tanques-rede. **Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 3, p. 113-119, 2009.
- CARDOSO, A. **Estratégia de maturação de biorreatores de leite móvel sob condições de enriquecimento do biofilme aderido 2022**. Tese (Mestrado em Aquicultura) – Engenharia de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 57. 2022.
- BADIOLA, M.; MENDIOLA, D.; BOSTOCK, J. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. **Aquacultural Engineering**, v. 51, p. 26–35, 2012.
- BIJO, Pada Anak et al. Feasibility study of a recirculation aquaculture system. **Malaysian Fisheries Development Authority. Kuala Lumpur, Malaysia**, 2007.
- BINA, Bijan et al. Evaluation of the effects of AlkylPhenolic compounds on kinetic coefficients and biomass activity in MBBR by means of respirometric techniques. **Chinese journal of chemical engineering**, v. 26, n. 4, p. 822-829, 2018.
- BRITSKI, H. A. et al. Peixes do Pantanal. Manual de identificação. Brasília: Embrapa - SPI; Corumba: Embrapa- CPAP, 184 p. 1999.
- BURATTO, V. **Efeito do caldo de ração na aclimação da biomassa nitrificante em MBBR para tratamento de efluente aquícola 2022**. Tese (Mestrado em Aquicultura) – Engenharia de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 68. 2022.
- DAVISON, Andy. **Recirculating Aquaculture Systems: A guide to farm design and operations**. Farmfish LCC, 2018. 204 p.
- EBELING, James M.; TIMMONS, Michael B. **Recirculating aquaculture**. Itacha, Cayuga Aqua Ventures, 2010.
- FAO - **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**. The state of world fisheries and aquaculture: Towards Blue Transformation. ROMA, 2022.
- GROSS, Amit; BOYD, Claude E.; WOOD, C. W. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. **Aquacultural Engineering**, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2000.
- HELFRICH, Louis Anthony; LIBEY, George S. **Fish farming in recirculating aquaculture systems (RAS)**. Virginia State Cooperative Service, 1991.
- HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A. F. M. (2008). Impacto das atividades de Aquicultura e Sistemas de Tratamento de Efluentes com Macrófitas Aquáticas – Relato de Caso. **Boletim do Instituto de Pesca**. São Paulo v.34, n. 1, p. 163-173, 2018
- International Association on Water Quality (IAWQ), 1998. **Respirometry in control of the Activated Sludge Process:Principles**. Technical Report N° 7.

Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, v. 34, n. 3, p. 322-331, 2006.  
LEKANG, Odd Ivar. *Aquaculture Engineering*. 2nd Edition. [S. l.]: Wiley, 2007.

LING, Jian; CHEN, Shulin. Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. ***Aquacultural engineering***, v. 33, n. 2, p. 150-162, 2005.

NAZAR, A.K.A.; JAYAKUMAR, R.; TAMILMANI, G. *Recirculating aquaculture systems*. 2013.

NICOLELLA, C.; VAN LOOSDRECHT, M.C.M; HEIJNEN, J.J. Wastewater treatment with particulate biofilm reactors. ***Journal of Biotechnology***, v. 80, p. 1-33, 2000.

Nomura, H. 1978 *Aquicultura e Biologia de Peixes*. Nobel, São Paulo, 200p.

OWATARI, Marco Shizuo et al. Synthetic fibre as biological support in freshwater recirculating aquaculture systems (RAS). ***Aquacultural engineering***, v. 82, p. 56-62, 2018.

PEREIRA, Lilian Paulo Faria; MERCANTE, Cacilda Thais Janson. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. ***Boletim do Instituto de Pesca***, v. 31, n. 1, p. 81-88, 2005.

REZENDE, Carolina Lucena. **Utilização da técnica respirométrica para a avaliação do desempenho de sistemas de lodos ativados aplicados ao tratamento de efluentes 2014**. Tese (Mestrado) – Engenharia de Processos e Tecnologias, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do sul, p. 126. 2014.

RUSTEN, B., EIKEBROKK, B., ULGENES, Y., LYGREN, E. Design and operations of the Santos, E. 1954 *Peixes de água doce*. Editores: F. BRIGUIET E CIA. Rio de Janeiro, 270p.

SANTOS, Kelyvn Edilson Alves et al. **Efeito da densidade de estocagem sobre o crescimento de juvenis de *Pimelodus maculatus* cultivados em sistema de recirculação de água 2021**. Tese (Mestrado em Aquicultura) – Engenharia de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 52. 2021.

SCHMIDELL, W; LIMA, U.A; AQUARONE, E; BORZANI, W. ***Biotechnologia Industrial***, v.2, 541p., 2001.

SCHWARTZ, Michael F.; BOYD, Claude E. Channel catfish pond effluents. ***The Progressive Fish-Culturist***, v. 56, n. 4, p. 273-281, 1994.

OWATARI, Marco Shizuo et al. Synthetic fibre as biological support in freshwater recirculating aquaculture systems (RAS). ***Aquacultural engineering***, v. 82, p. 56-62, 2018.

TAKEUCHI, Toshio (Ed.). ***Application of Recirculating Aquaculture Systems in Japan***. Springer, 2017.

DE TORRENGO, Mirta P.; BRENNER, Rodolfo R. Influence of environmental temperature on the fatty acid desaturation and elongation activity of fish (*Pimelodus maculatus*) liver

microsomes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism**, v. 424, n. 1, p. 36-44, 1976.

VANROLLEGHEM, Peter A. Principles of respirometry in activated sludge wastewater treatment. In: **Proceedings International Workshop on Recent Development in Respirometry for Wastewater Treatment Plant Monitoring and Control**. Taiwan: Taipei. 2002. p. 2.

WEINGARTNER, Marcos; ZANIBONI FILHO, Evoy. Efeito de fatores abióticos na larvicultura de pintado amarelo *Pimelodus maculatus* (Lacépède, 1803): salinidade e cor de tanque. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 2, p. 151-157, 2004.

YEO, Steven E.; BINKOWSKI, Frederick P.; MORRIS, Joseph E. Aquaculture effluents and waste by-products: characteristics, potential recovery, and beneficial reuse. 2004.