



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PROCESSOS**

**AVALIAÇÃO DE UM REATOR BIOLÓGICO  
ROTATIVO DE CONTATO (RBC) APLICADO AO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM ABATEDOURO  
DE SUÍNOS E AVES.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Bervej Schwerz**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

# **AVALIAÇÃO DE UM REATOR BIOLÓGICO ROTATIVO DE CONTATO (RBC) APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM ABATEDOURO DE SUÍNOS E AVES.**

**Bervev Scherz**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Área de Concentração em Desenvolvimento de Processos Agroindustriais e Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Processos**

**Orientador: Prof. Dr. Djalma Dias da Silveira**

**Santa Maria, RS, Brasil 2012**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos**

A comissão examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DE UM REATOR BIOLÓGICO ROTATIVO DE CONTATO (RBC)  
APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM ABATEDOURO DE  
SUÍNOS E AVES.**

elaborada por

**Bervev Schwerz**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Processos**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Djalma Dias da Silveira, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Edson Luiz Foletto, Dr.**  
(UFSM)

---

**Sergio Roberto Mortari, Dr.**  
(UNIFRA)

**Santa Maria, 2012.**

# **AVALIAÇÃO DE UM REATOR BIOLÓGICO ROTATIVO DE CONTATO (RBC) APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM ABATEDOURO DE SUÍNOS E AVES.**

**AUTOR: BERVEY SCHWERZ  
ORIENTADOR: DJALMA DIAS DA SILVEIRA**

## **RESUMO**

Com a expansão da sociedade industrial, se iniciou uma geração de resíduos de forma intensa, surgindo uma questão latente, referente a destinar-se corretamente todos os resíduos gerados durante o processo industrial. Mais especificamente, o processamento de carne gera durante suas inúmeras etapas uma enorme vazão de efluentes líquidos. Uma alternativa para o tratamento deste tipo de resíduo são os reatores de biodiscos. Este trabalho tem por objetivo a construção e aplicação de um RBC para avaliar seu desempenho no tratamento de um efluente industrial proveniente do abate de suínos e aves. Foi construído um reator de 4L e utilizado lodo aeróbio como inóculo do sistema. O período de análise correspondeu a 73 dias. Como resultados foram obtidos uma eficiência de 84,46% com uma remoção de  $1,64 \text{ g DBOm}^{-2}$  e 88,3%, para um TRH de 4 h e carregamento superficial de  $124 \text{ g DQOd}^{-1}\text{m}^{-2}$ , para DBO e DQO respectivamente, correspondendo a matéria orgânica. Na remoção de nutrientes, o sistema obteve um rendimento de 92,02% e uma carga superficial removida de  $8,35 \text{ g Nd}^{-1}\text{m}^{-2}$  para o nitrogênio e a eficiência de 75,66% e a remoção superficial é de  $1,5 \text{ g Pd}^{-1}\text{m}^{-2}$ , para as análises de fósforo total. Em resumo, o RBC conseguiu tratar de forma eficiente um efluente de forma a obter resultados satisfatórios na remoção da carga orgânica e nutrientes.

Palavras chaves: tratamento de efluentes, reator biológico rotativo de contato, remoção de nutrientes, remoção de matéria orgânica.

# **EVALUATION OF ROTATING BIOLOGICAL CONTACTORS (RBC) APPLIED TO THE TREATMENT OF EFFLUENT FROM A PIG AND POULTRY SLAUGHTERHOUSE**

**AUTHOR: BERVEY SCHWERZ  
ADVISER: DJALMA DIAS DA SILVEIRA**

## **ABSTRACT**

With the expansion of industrial society, began a intense growth of production of waste, creating a latent issue, referring to allocate up correctly all waste generated during the manufacturing process. Specifically, the meat processing generates during its many stages a huge flow of wastewater. An alternative for the treatment of this type of waste are rotating biological contactors. This paper, has for objective, at the construction and application of a RBC to improve performance in the treatment of an industrial effluent from the slaughterhouse of pigs and poultry. It was built a reactor 4L and aerobic sludge was used as inoculum system. The analysis period amounted to 73 days. As results were obtained an efficiency of 84.46% with a removal 1.64 g DBO.m<sup>-2</sup> and 88.3% for an HRT of 4 h and surface loading of 124 g DQO.d<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> for BOD and COD respectively, corresponding to organic matter. On removal of nutrients, the system obtained in an efficiency of 92.02% and a surface charge removed from 8.35 g Nd<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> for nitrogen and 75.66% efficiency and removal of superficial 1.5 g Pd<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, for analysis of phosphorus. In summary, the RBC could efficiently treat an effluent to obtain satisfactory results in removing the organic load and nutrients.

Keywords: wastewater treatment, rotational biological contactor, nutrients removal, organic matter removal.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Ë Consumo mundial de carnes entre 2007 e 2012 .....                                | 6  |
| <b>Figura 2</b> Ë Consumo interno e exportações de carne de frango no Brasil em 2010.....          | 6  |
| <b>Figura 3</b> Ë Consumo interno de carne suína.....  | 7  |
| <b>Figura 4</b> Ë Índice de preços mundial de carnes.....  | 8  |
| <b>Figura 5</b> Ë Comércio mundial de carnes.....  | 9  |
| <b>Figura 6</b> Ë Fluxograma do abate de suínos.....   | 12 |
| <b>Figura 7</b> Ë Fluxograma de abate de aves.....   | 18 |
| <b>Figura 8</b> Ë Tratamento de efluentes genérico e segregado em duas linhas.....                 | 31 |
| <b>Figura 9</b> Ë Esquema de um RBC como tratamento secundário.....                                | 33 |
| <b>Figura 10</b> Ë Ciclo do nitrogênio.....  | 41 |
| <b>Figura 11</b> Ë Influência da idade do lodo da nitrificação.....                                | 43 |
| <b>Figura 12</b> Ë Esquema simplificado do RBC construído.....                                     | 45 |
| <b>Figura 13</b> Ë Imagens do reator em construção.....  | 47 |
| <b>Figura 14</b> Ë Vista superior do frigorífico Avisuí Alimentos.....                             | 48 |
| <b>Figura 15</b> Ë Desenho esquemático dos componentes operacionais do RBC.....                    | 52 |
| <b>Figura 16</b> Ë Gráfico da variação de $DBO_5$ durante o período de análise. ....               | 59 |
| <b>Figura 17</b> Ë Eficiência de remoção de $DBO_5$ do RBC.....                                    | 60 |
| <b>Figura 18</b> Ë Gráfico da variação de DQO durante o período de análise. ....                   | 61 |
| <b>Figura 19</b> Ë Eficiência de remoção de DQO do RBC.....  | 62 |
| <b>Figura 20</b> Ë Gráfico da variação de fósforo total com o tempo.....                           | 64 |
| <b>Figura 21</b> Ë Gráfico da eficiência de remoção de fósforo total.....                          | 65 |
| <b>Figura 22</b> Ë Variação das concentrações de NTK da entrada e saída do RBC.....                | 66 |
| <b>Figura 23</b> Ë Eficiência de remoção de nitrogênio no período analítico.....                   | 67 |
| <b>Figura 24</b> Ë Variação de temperatura no RBC.....   | 69 |
| <b>Figura 25</b> Ë Variação do pH do substrato e efluente tratado.....                             | 70 |
| <b>Figura 26</b> Ë Comparativo entre uma data de remoção de lodo e uma data normal de análise..... | 71 |
| <b>Figura 27</b> Ë Amostra coletada para posterior análise.....                                    | 71 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> Ë Composição química em gramas e conteúdo energético em quilocalorias contidos em 100 gramas de carne magra de diferentes fontes..... | 10 |
| <b>Tabela 2</b> Ë Representatividade dos produtos obtidos para um suíno de 90 Kg.....   | 15 |
| <b>Tabela 3</b> Ë Carga poluidora e concentração de DBO <sub>5</sub> para abate de suínos.....  | 25 |
| <b>Tabela 4</b> Ë Cargas poluidoras presentes no efluente por animal abatido.....   | 25 |
| <b>Tabela 5</b> Ë Concentração média de poluentes para abate de suínos.....   | 25 |
| <b>Tabela 6</b> Ë Parâmetros de projeto adotados no estudo de Hiras.....  | 38 |
| <b>Tabela 7</b> Ë Parâmetros de projeto adotados no estudo de Pynaert.....  | 39 |
| <b>Tabela 8</b> Ë Parâmetros de projeto adotados no estudo de Philips.....  | 39 |
| <b>Tabela 9</b> Ë Parâmetros de projeto na construção do RBC.....   | 47 |
| <b>Tabela 10</b> Ë Caracterização das amostras coletadas do efluente.....   | 50 |
| <b>Tabela 11</b> Ë Parâmetros operacionais utilizados durante o experimento.....  | 52 |
| <b>Tabela 12</b> Ë Estatísticas descritivas e cálculos da temperatura.....  | 69 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1</b> . Tempo decorrido após o início da operação do RBC.....  | 77 |
| <b>Quadro 2</b> . Estatísticas descritivas dos parâmetros de avaliação da eficiência do substrato e do efluente após tratamento através do reator RBC..... | 57 |
| <b>Quadro 3</b> . Relação DQO/ DBO <sub>5</sub> para o RBC.....  | 58 |

## LISTA DE APÊNDICES

|   |    |
|---|----|
| <b>Apêndice 1 .</b> Dados referentes a remoção..... | 80 |
| <b>Apêndice 2 .</b> Quadro 1.....                   | 81 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

**ABNT** *É* Associação brasileira de normas técnicas.

**ANAMMOX** *É* *Anaerobic ammonium oxidation*.

**CANON** *É* *Completely autotrophic nitrogen removal overnitrite*.

**CONAMA** *É* Conselho nacional do meio ambiente.

**CONSEMA** *É* Conselho estadual do meio ambiente.

**DBO<sub>5</sub>** *É* Demanda bioquímica de oxigênio, para 5 dias.

**DQO** *É* Demanda química de oxigênio.

**EPA** *É* *Environmental protection agency*.

**ETE** *É* Estação de tratamento de efluentes.

**MAPA** *É* Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento.

**NUPEDEE** *É* Núcleo de pesquisas e de desenvolvimento em engenharia elétrica.

**NTK** *É* Nitrogênio total Kjeldhal.

**OD** *É* Oxigênio dissolvido.

**OLAND** *É* *Oxygen limited autotrophic nitrification and denitrification*.

**PNRS** *É* Política nacional de recursos sólidos.

**PS** *É* Poliestireno.

**PU** *É* Poliuretano.

**PVC** *É* Cloreto de polivinila.

**RBC** *É* *Rotating biological contactor*.

**RIISPOA** *É* Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal.

**TRH** *É* Tempo de retenção hidráulico.

**UASB** *É* *Upflow anaerobic sludge blanket*.

**WWF** *É* *World wide fund for nature*.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                        | <b>1</b>  |
| 1.1 Objetivos.....                               | 3         |
| <b>2. REVISÃO BIBILOGRÁFICA.....</b>             | <b>5</b>  |
| 2.1 Abatedouros e a indústria de carnes.....     | 5         |
| 2.2 Resíduos industriais .....                   | 20        |
| 2.3 O Tratamento de efluentes.....               | 26        |
| 2.4 Rotating Biological Contactor.....           | 32        |
| 2.5 Remoção de nutrientes.....                   | 40        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....</b> | <b>45</b> |
| 3.1 Construção do RBC.....                       | 45        |
| 3.2 O Efluente.....                              | 48        |
| 3.3 Operação do reator.....                      | 41        |
| 3.4 Análises laboratoriais.....                  | 52        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>           | <b>53</b> |
| 4.1 O reator.....                                | 55        |
| 4.2 Avaliação do desempenho do sistema.....      | 56        |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                         | <b>73</b> |
| <b>6. SUGESTÕES.....</b>                         | <b>74</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>        | <b>75</b> |
| <b>APÊNDICES.....</b>                            | <b>79</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O processo histórico tem mostrado que a sociedade sempre evoluiu buscando o crescimento e o desenvolvimento, nada mais racional. Entretanto, atrelados a tal evolução, está a intermitente exploração dos recursos naturais disponíveis, provenientes das atividades humanas observadas, principalmente, no pós Revolução Industrial, o que vem ocasionando ao longo de todo esse tempo grandes e impactantes danos ambientais.

Segundo Rohrich e Cunha (2004), historicamente países como o Brasil, com certo grau de atraso e desenvolvimento, ao iniciar sua busca pelo crescimento econômico e desenvolvimento social, deixaram as questões ambientais de lado para proporcionar um crescimento rápido e desenfreado. Assim, as questões referentes à produção, geração e destinação de resíduos foram deixadas à parte neste momento em que a expansão se tornara mais importante que as práticas adotadas em relação ao meio ambiente.

A cada ano o consumo mundial de bens e produtos vem crescendo, tanto pelos países que apresentam uma economia consolidada, quanto pelos países que vem apresentando crescimento econômico e grau de industrialização significativos, deflagrando assim um grande acréscimo na pegada ecológica+ destes países, índice este que mede a quantidade de terra produtiva necessária para atender a uma pessoa e seu estilo de vida.

Neste contexto de desenvolvimento predatório, a China vem liderando o crescimento no consumo de recursos naturais, nada mais explicável para um país que possui 1,3 bilhões de habitantes e uma economia que vem crescendo em média 10,6% nas últimas três décadas. Conforme um estudo publicado em 2008 pelo WWF em parceria com o Conselho Chinês para a Cooperação Internacional em Meio Ambiente e Desenvolvimento, a China já está consumindo o dobro dos seus recursos naturais localizados em seu território. Isto ocasionou um grande aumento na geração de resíduos e elevou os patamares de poluição no país.

Conforme Sperandio e Gaspar (2009), a geração dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos, provenientes das atividades humanas, até há pouco tempo não representava grandes problemas, quer pela sua essência eminentemente orgânica, quer pelo próprio estágio de desenvolvimento da evolução tecnológica. Porém, com

a expansão da sociedade industrial a partir do início do século XX, além da diversificação das atividades e expansão da geração de produtos, começaram a ser gerados resíduos de forma intensa. Assim, surgiu uma questão latente, referente a destinar-se corretamente todos os resíduos gerados durante a industrialização, consumo e descarte dos produtos, tratando-os ou reaproveitando estes da melhor forma possível.

Mais especificamente, os resíduos líquidos são uma fonte de inesgotáveis estudos na área ambiental, pois estes apresentam alto potencial poluidor e estão associados a despejos diretos ou indiretos em mananciais e fontes hídricas. Mesmo com os investimentos em melhorias de todos os processos de tratamento, aumento do número de ETEs e estudos que visam melhorar as práticas adotadas na tentativa de se atender os padrões exigidos pela legislação, sabe-se contudo, que ainda existem diversas empresas que operam em condições inadequadas na tentativa de administrar seus resíduos, não obtendo os resultados iniciais desejados.

Diversas são as tecnologias que propõem uma destinação correta de resíduos líquidos oriundos da indústria. Pode-se citar dentre as mais comuns e utilizadas as estações de lodos ativados, lagoas aeradas, lagoas anaeróbias, entre outros. Segundo Metcalf & Eddy (2003), sistemas de lodo ativado são eficientes na remoção de material orgânico, sólidos em suspensão e eventualmente nutrientes. Entretanto esta eficiência depende da natureza e composição dos substratos presentes no afluente, das características e concentração da biomassa nos reatores e das condições ambientais. Além disso, o maior problema do uso destas tecnologias é a necessidade de uma vasta quantia de área para a instalação das ETEs e o custo gerado neste processo, associados aos custos relacionados à manutenção e operação, muitas vezes tornando difícil a construção e operação destas por pequenas e médias indústrias, como por exemplo, pequenos abatedouros de carnes.

As pequenas indústrias de carnes constantemente sofrem com as questões legais referentes ao tratamento de efluentes, pois em muitos casos sequer opera em condições que as atendam. É frequente a disputa de recursos financeiros entre a área operacional, que é fonte das receitas empresariais, e a área ambiental, que é uma condição necessária e obrigatória para a existência da empresa, conflito esse que é dispendioso de ser administrado. O processamento de carne, mais do que muitos outros processos industriais, gera durante suas inúmeras etapas uma

enorme vazão de efluentes líquidos, com isso, assume-se altos custos nos tratamentos destes. Em números, a UNEP et al. (apud CETESB, 2006) afirma que cerca de 80 a 95% da água consumida nos processamentos é descarregada como efluente líquido, demonstrando a dimensão do problema gerado.

Para solucionar estes problemas entre custos e altas cargas de matéria orgânica, inúmeras tecnologias são propostas, onde pode-se destacar o uso da tecnologia *rotating biological contactor* (RBC). Os reatores de biodiscos, como são comumente chamados, apresentam boa eficiência nos tratamentos, são compactos e seu custo de construção é relativamente baixo. Operam em diversas condições e empregam a tecnologia de biomassa aderida em seus discos para efetuar o devido tratamento necessário ao resíduo nele empregado.

Conforme Fried & Lemmer (2003), a aplicação de processos com biomassa aderida (biofilme) na área de tratamento de efluentes está se tornando cada vez mais popular, devido às suas vantagens com relação aos processos tradicionais: consegue-se agrupar uma alta concentração de biomassa, que possibilita operar com maior carga de matéria orgânica; reduz as dimensões das instalações de tratamento de efluentes e elimina algumas etapas do processo como separação e reciclo de sólidos.

Assim, este trabalho visa a construção e aplicação de um RBC em escala piloto, em uma avaliação de seu desempenho no tratamento de um efluente industrial proveniente do abate de suínos e aves.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo principal**

Este estudo objetivou avaliar o desempenho de um reator biológico rotativo de contato (RBC) no processo de tratamento de efluentes, submetido a efluente oriundo de abatedouro de suínos e aves.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- “ Construção de um RBC em escala piloto
- “ Avaliar o rendimento de um RBC em relação a remoção da carga orgânica (DQO e DBO) do efluente e dos nutrientes presentes.
- “ Determinar os coeficientes de remoção para as análises efetuadas.

## 2 REVISÃO BIBILOGRÁFICA

### 2.1 Abatedouros e a indústria de carnes

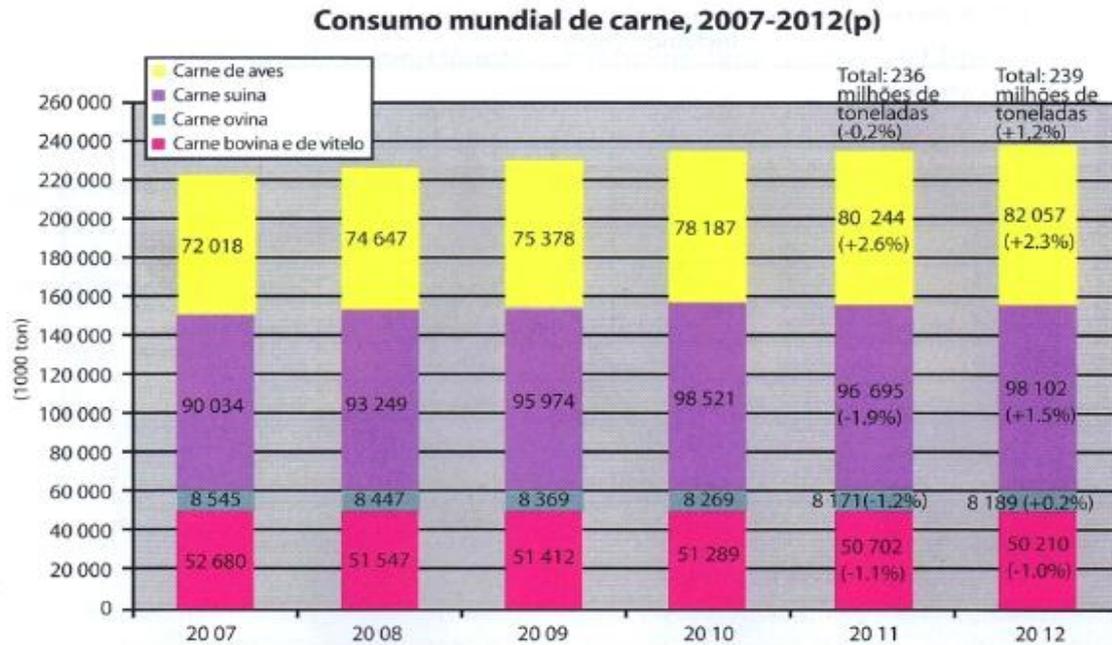
Indústria de carnes é o termo que se refere às instalações industriais destinadas ao abate, ao processamento e armazenamento/expedição de produtos de origem animal. Diversas são as fontes de carne para abate, sendo as mais comumente utilizadas as de ovinos, bovinos, suínos e aves.

Os abatedouros, termo de origem sulina, são os locais onde acontece o abate de animais e geralmente ocorre a armazenagem/expedição sem o processamento da carne. Em CETESB (2006) propõem-se ainda a divisão dos negócios de carnes em mais um componente, as graxarias, que são responsáveis pelo processamento dos resíduos em subprodutos, como aparas, gorduras, ossos, cascos, entre outros.

#### 2.1.1 Mercado de carnes

##### 2.1.1.1 O Consumo mundial

Conforme Oliveira (2012), o ano de 2011 foi de crescimento no setor de comercialização de carnes, crescimento este causado pelo aumento dos preços no atacado maior que o esperado para o período. Contudo, esse mesmo aumento de preços foi responsável pelo recuo de 0,2% no consumo mundial no mesmo período, motivado também pela crise econômica nos Estados Unidos e União Europeia. Para o ano de 2012 são esperados que o consumo mundial de carne ultrapasse de 236 milhões para 239 milhões de toneladas. Esse aumento será sustentado principalmente pelo crescimento do mercado de aves e suínos, sustentado pelo aquecimento do mercado em economias emergentes conforme a figura 1.



**Figura 1** . Consumo mundial de carnes entre 2007 e 2012.

**Fonte:** Revista graxaria brasileira.

### 2.1.1.2 Consumo e produção de carne de frango e suíno no Brasil

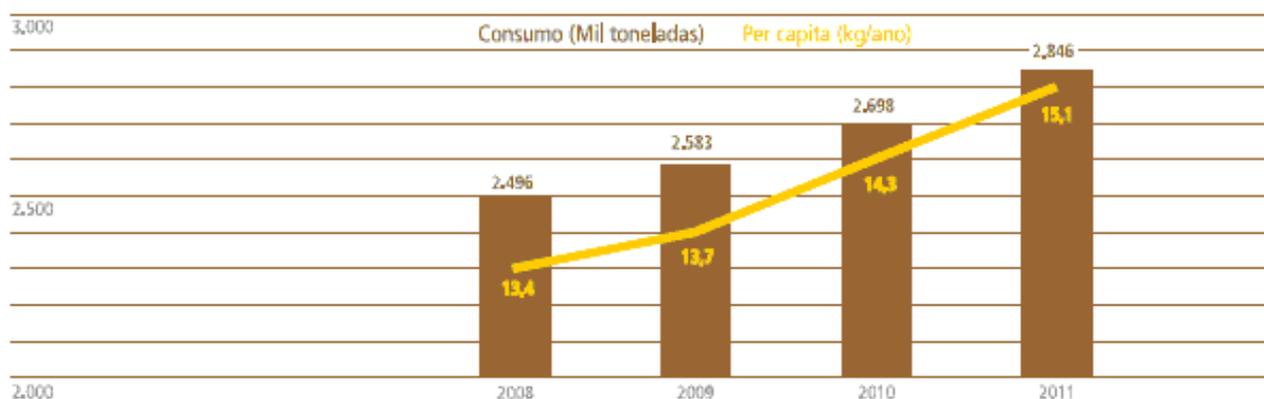
Conforme relatório da UBABEF (2011), A produção de carne de frango chegou a 12,230 milhões de toneladas em 2010, registrando um crescimento de 11,38% em relação a 2009, quando foram produzidas 10,980 milhões de toneladas, sendo que deste volume total de frangos produzidos pelo país 69% foi destinado ao consumo interno e 31% para exportações. Com isto, o consumo per capita de carne de frango foi de 44 quilos no ano passado, conforme pode-se ver na figura 2.



**Figura 2** Ë Consumo interno e exportações de carne de frango no Brasil em 2010.

**Fonte:** UBABEF, 2011.

Já para a carne suína, a ABIPECS (2012) afirma que no Brasil foram produzidas 3.362 toneladas de carne suína em 2011, sendo que deste total 516 mil foram exportadas. Conforme a figura 3, pode-se observar um aumento no consumo per capita do ano de 2010 para 2011, passando de 14,3 para 15,1 Kg de carne suína por habitante no período, conservando um aumento constante comparado aos demais períodos.

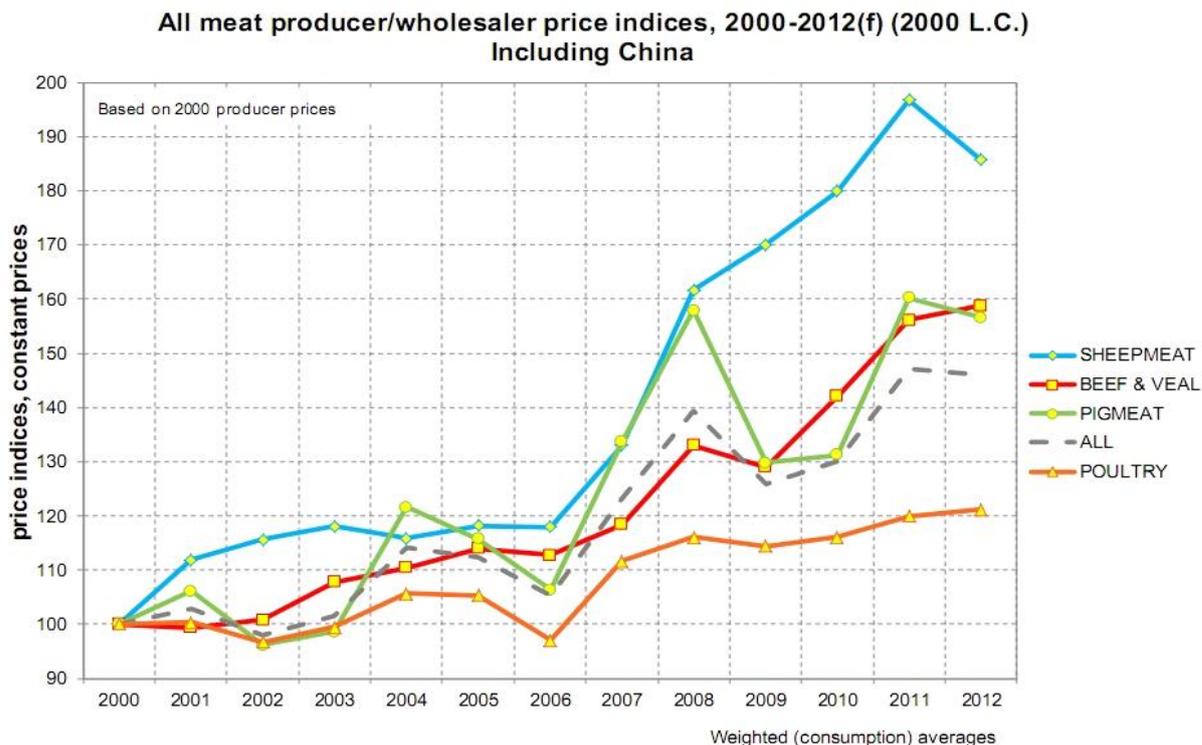


**Figura 3** . Consumo interno de carne suína.

**Fonte:** ABIPECS, 2012.

#### 2.1.1.3 Índice mundial de preços

O índice mundial de preços Gira GMC para o ano de 2011 aumentou para todas as espécies de carnes, tendo por base o ano de 2000 como o referencial. As perspectivas para o ano de 2012 deste mesmo índice são de que ocorra um leve declínio nos preços praticados para o mercado de ovinos e suínos, contrapondo os anos anteriores de aumento e recordes, como constata-se na figura 4.



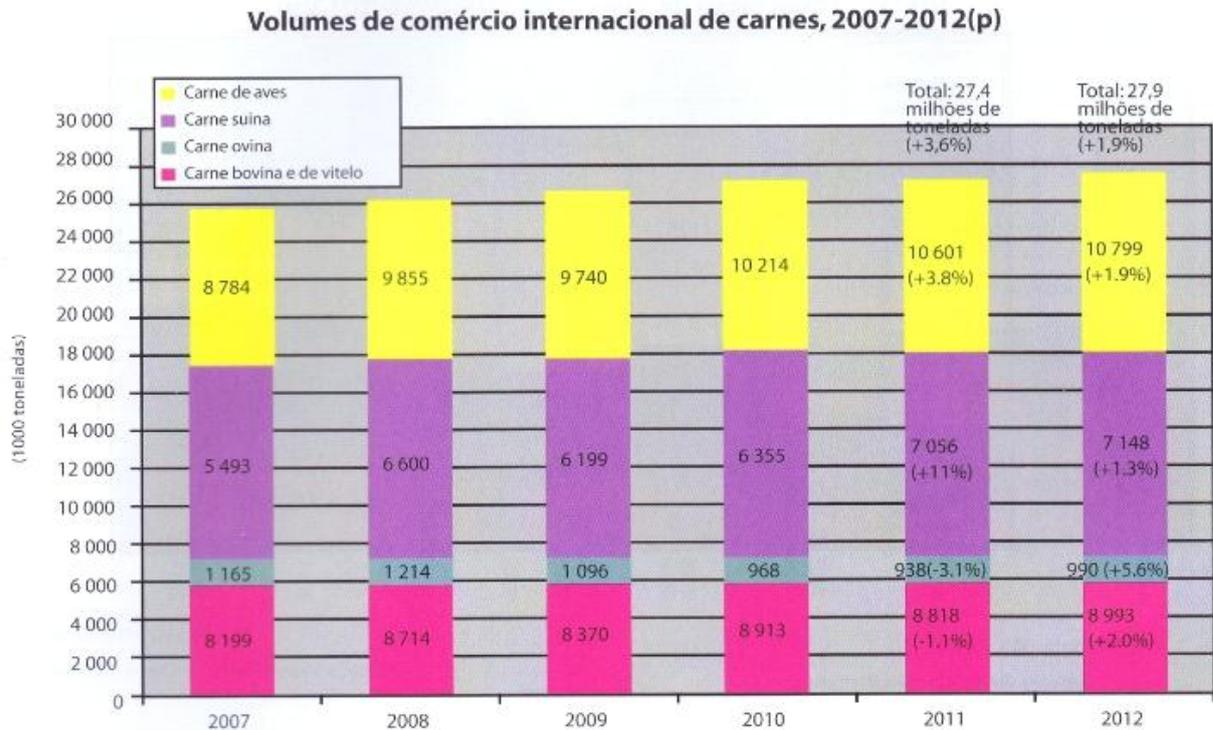
**Figura 4** É Índice de preços mundial de carnes.

**Fonte:** Gira GMC.

Já os preços do mercado de bovinos e aves deverão aumentar para o mesmo período, porém a uma taxa de crescimento lenta, seguindo a tendência dos demais períodos, mas batendo novos recordes no mercado.

#### 2.1.1.4 Comércio mundial de carnes

Como nota-se na figura 5, o volume de transações no comércio global aumentou em 3,6% no ano de 2011 em comparação ao ano de 2010, passando de 26,4 milhões para 27,4 milhões de toneladas de carne. Este crescimento foi impulsionado graças principalmente ao mercado de suínos que cresceu em 11% comparado com o mesmo período e também ao mercado de aves que aumentou em 3,8%. Já o mercado de ovinos e bovinos, contrapondo os anteriores, apresentaram uma queda de 3,1 e 1,1% respectivamente puxando para baixo o aumento global. Deve-se salientar que os Estados Unidos voltaram a exercer a liderança no mercado de exportações em 2011, empurrando o Brasil para a segunda posição.



**Figura 5 . Comércio mundial de carnes.**

**Fonte: Revista graxaria brasileira.**

As perspectivas para o ano de 2012 são de que o mercado aumente em mais 1,9%, passando de 27,4 para 27,9 milhões de toneladas exportadas e de recuperação dos mercados de ovinos e bovinos, fechando em alta no ano de análise.

### 2.1.2 A carne e suas propriedades

A carne é comumente definida como tecidos musculares de origem animal utilizados como fonte alimentícia. Em termos gerais, carne refere-se aos músculos e vísceras processados para o consumo humano. Conforme ROÇA (2012) a carne é constituída essencialmente de água, proteínas e gorduras, com um relativo baixo valor energético, devido a pouca presença de carboidratos, dotada de quase todos os sais minerais e vitaminas necessárias a nutrição humana. A carne magra é

composta de 75% de água, entre 21 a 22% de proteínas, 1 a 2% de gordura, 1% de minerais e menos de 1% de carboidratos, diferindo em relação às fontes de abate (diferentes animais) e variando quimicamente na sua composição como pode-se ver na tabela 1.

A carne, em sua composição, apresenta a maioria dos minerais necessários à nutrição humana, podendo-se destacar principalmente o ferro, o cálcio, o potássio e o fósforo. Além disso, são encontradas vitaminas hidrossolúveis do complexo B em quantidades significativas.

**Tabela 1** . Composição química em gramas e conteúdo energético em quilocalorias contidos em 100 gramas de carne magra de diferentes fontes.

| Carnes       | Água | Proteína | Gordura | Minerais | Conteúdo Energético |
|--------------|------|----------|---------|----------|---------------------|
| Suína        | 75,1 | 22,8     | 1,2     | 1,0      | 112                 |
| Bovina       | 75,0 | 22,3     | 1,8     | 1,2      | 116                 |
| Vitela       | 76,4 | 21,3     | 0,8     | 1,2      | 98                  |
| Cervo        | 75,7 | 21,4     | 1,3     | 1,2      | 103                 |
| Frango-peito | 75,0 | 22,8     | 0,9     | 1,2      | 105                 |
| Frango-coxa  | 74,7 | 20,6     | 3,1     | -        | 116                 |
| Peru-peito   | 73,7 | 24,1     | 1,0     | -        | 112                 |
| Peru-coxa    | 74,7 | 20,5     | 3,6     | -        | 120                 |
| Pato         | 73,8 | 18,3     | 6,0     | -        | 132                 |
| Ganso        | 68,3 | 22,8     | 7,1     | -        | 161                 |

Fonte: SEU , 1993 (apud ROÇA 2012).

### 2.1.3 O abate de suínos

Podem-se dividir as etapas do abate de suínos nas etapas de ante-mortem e post-mortem, classificação esta encontrada na Portaria 711 (MAPA<sup>2</sup>, 1995), que também contém instruções para construção de instalações, normas sobre os equipamentos e processos a serem utilizados para o abate específico de suínos. Em geral, podemos subdividi-las nas etapas conforme pode-se analisar na figura 6.

### 2.1.3.1 Etapas ante-mortem

#### 2.1.3.1.1 Recepção / Pocilgas

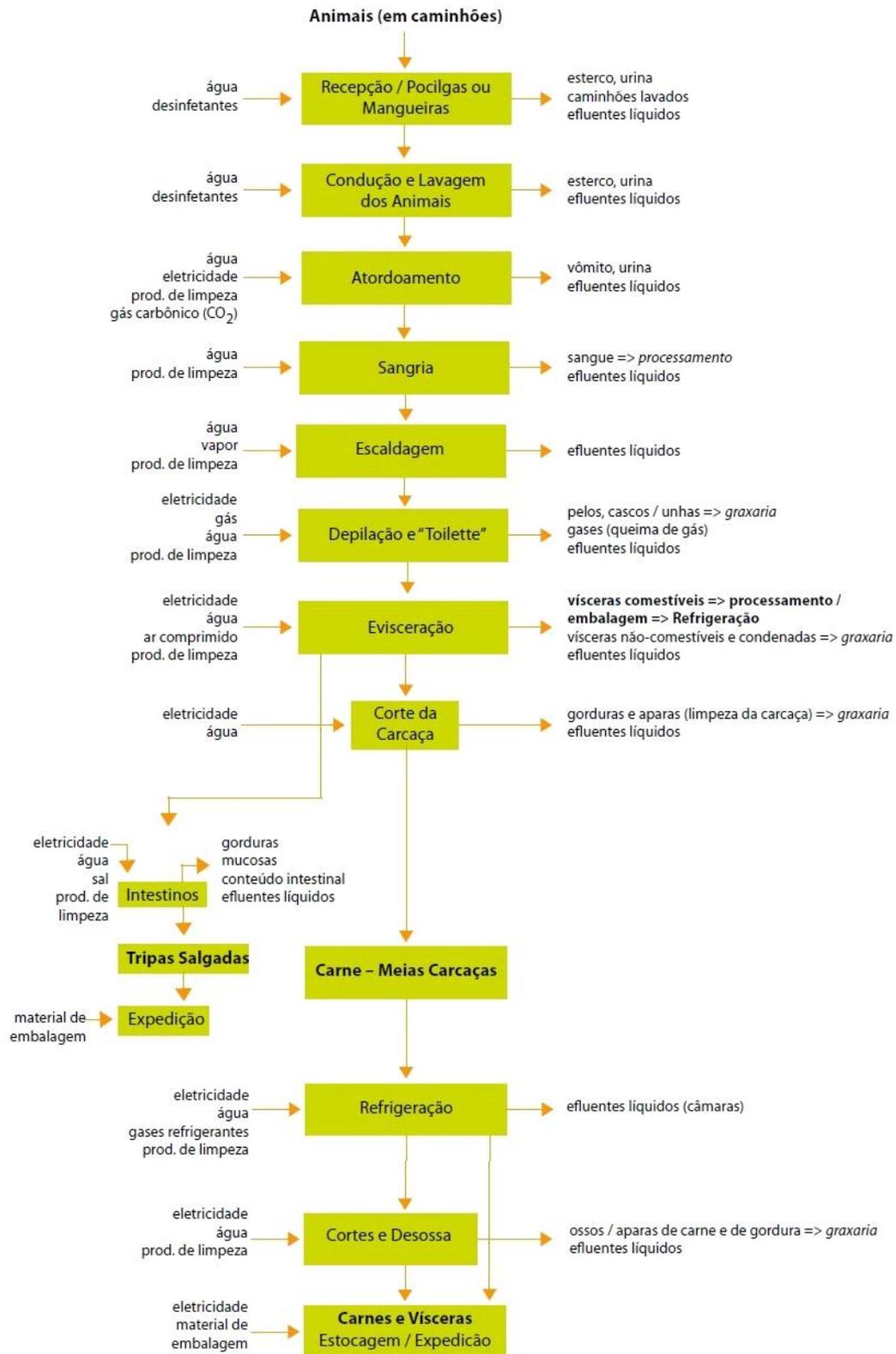
Os suínos são transportados em caminhões devidamente licenciados e autorizados até os abatedouros. Com o término do transporte são descarregados nas pocilgas por meio de rampas adequadas para tal finalidade. Os animais passam por uma inspeção e são separados por lotes de acordo com a procedência, permanecem em repouso e jejum por cerca de um dia para recuperarem-se da viagem e diminuírem o volume do conteúdo estomacal e intestinal. Animais separados na inspeção sanitária são tratados e processados à parte dos animais sadios, podem mesmo ser descartados para valas ou incineração, dependendo das circunstâncias ou anomalias detectadas. As instruções necessárias para inspeção podem ser encontradas em RIISPOA (MAPA<sup>4</sup>, 1952).

#### 2.1.3.1.2 Condução e lavagem dos animais

Os suínos são conduzidos por uma espécie de passagem, um corredor cercado e dividido por estágios, sendo separado por portões, o que permite a sua orientação ao local de abate conforme a necessidade, formando uma fila única. Durante o percurso, os animais são normalmente lavados com jatos (parecidos com chuveiros) de água clorada, tanto em cima como embaixo e também nas laterais, permitindo uma remoção melhor das impurezas incrustadas junto à pele dos animais.

#### 2.1.3.1.3 Atordoamento ou insensibilização

Os suínos entram, um após o outro, em uma espécie de ~~box~~ + imobilizador para o atordoamento. Esta operação também pode ser feita de forma contínua através de um equipamento apropriado. Há diversas maneiras de se efetuar o atordoamento dos suínos, sendo uma das mais comuns o uso de descargas elétricas. Maiores informações podem ser encontradas na Instrução Normativa nº 3 (MAPA<sup>1</sup>, 2000) que regula os métodos mais humanitários possíveis na insensibilização para abate.



**Figura 6** Fluxograma do abate de suínos.

Fonte: CETESB, 2006.

#### 2.1.3.1.4 Sangria

Esta operação deve ser iniciada logo após a insensibilização, não devendo ultrapassar o limite de um minuto. Para este procedimento deve-se realizar uma seção dos grandes vasos dos animais, com a finalidade de provocar um rápido e completo escoamento do sangue ao longo de três minutos. Os suínos podem estar pendurados em trilho aéreo, ou a sangria pode ser realizada em mesas ou bancadas apropriadas para drenagem do sangue. Conforme as condições do abate, o sangue acumulado pode ter a destinação final desejada.

#### 2.1.3.2 Etapas post-mortem

##### 2.1.3.2.1 Escaldagem

As carcaças dos animais abatidos são imersas em um tanque com água quente, com temperatura em torno de 65°C, durante cerca de um minuto. A finalidade desta etapa é facilitar a remoção posterior dos pelos e dos cascos. Parte de eventual sujidade presente no couro dos animais fica retida na água deste tanque.

##### 2.1.3.2.2 Depilação e toilette

Nesta etapa as carcaças são colocadas em uma depiladeira, uma máquina que consiste em um cilindro giratório, dotada de pás retangulares distribuídas pela sua superfície com as extremidades de borracha, como se fossem dedos, sendo que a rotação imprimida é responsável pelo atrito entre as pás e carcaça, removendo boa parte dos pelos contidos nela. Os restos de pelos que não se desprenderam neste processo, podem ser removidos utilizando facas para raspagem destes ou também por um processo de queima, feito com um maçarico a gás. Após as carcaças passam pela lavagem para remoção dos resíduos finais.

#### 2.1.3.2.3 Evisceração

Durante este processo são removidas as vísceras dos animais (coração, pulmões, tripas, estômago, entre outros) onde faz-se um corte na barriga do animal com uma faca, e todas as partes internas e órgãos são removidos com os devidos cuidados prévios, para evitar uma possível contaminação da carcaça. As vísceras são separadas e recebem sua destinação conforme o resultado da inspeção realizada.

#### 2.1.3.2.4 Corte da carcaça e refrigeração

Primeiramente é realizado um corte longitudinal separando as carcaças ao meio. Limpa-se a carcaça com auxílio de facas removendo algumas partes não desejáveis. Após este processo são lavadas e encaminhadas para refrigeração em câmaras frias, de modo que a temperatura da carcaça alcance temperaturas menores que 1°C para sua conservação.

#### 2.1.3.2.5 Cortes especiais, desossa, armazenagem e expedição

As carcaças resfriadas são recortadas em cortes conhecidos e especiais para o mercado consumidor, sendo embaladas e resfriadas novamente, ficando armazenadas nas câmaras de resfriamento. Os ossos que não serão utilizados, são removidos e encaminhados as graxarias. Conforme o pedido realizado se faz a expedição dos produtos solicitados.

#### 2.1.3.3 A produção de carne suína

Existem diversos tipos de raças de suínos e uma variabilidade quanto sua produção. A tabela 2 apresenta a massa média dos produtos que se obtém no abate de um suíno padrão de cerca de 90 Kg. Ressalta-se que os valores variam conforme a raça, as condições e o tempo de criação e os métodos de abate.

**Tabela 2 .** Representatividade dos produtos obtidos para um suíno de 90 Kg

| Produtos e Resíduos Obtidos                  | Peso (Kg) | Porcentagem do Peso Vivo (%) |
|--|-----------|------------------------------|
| Peso Vivo                                    | 90        | 100                          |
| Carne Desossada                              | 57,6      | 64                           |
| Material Não comestível destinado a graxaria | 18        | 20                           |
| Vísceras Comestíveis                         | 9         | 10                           |
| Sangue                                       | 2,7       | 3                            |
| Outros                                       | 2,7       | 3                            |

**Fonte: CETESB, 2006.**

#### 2.1.3.4 Processamentos de derivados . subprodutos e resíduos

##### 2.1.3.4.1 Processamento de vísceras

Após a separação das vísceras e da carcaça, estas são inspecionadas para determinar se é possível ou não sua utilização nos futuros processamentos. As reprovadas são encaminhadas para as graxarias; as aprovadas podem ser utilizadas como alimentos (coração, fígados e rins, etc) e são processadas e embaladas para tal destinação. Os intestinos e estômago são lavados e processados e encaminhados para triparias ou para comercialização. Informações sobre processos, industrialização de produtos derivados, como embutidos, salsichas e presuntos, fluxogramas completos e equipamentos podem ser encontrados em CETESB (2006) e Portaria 711 (MAPA<sup>2</sup>,1995)

##### 2.1.3.4.2 Graxarias

Como visto anteriormente, as graxarias são unidades de negócios independentes, podendo ou não estar anexas aos abatedouros. São responsáveis pelo processamento dos resíduos do abate, como graxas, aparas, ossos, cabeça, entre outros, para a produção de farinhas ricas em proteínas, gorduras e minerais e também na produção de gorduras destinadas a fabricação de sabões e produtos

derivados. Mais informações sobre as graxarias, seus processos produtos e derivados podem ser encontrados em CETESB (2006).

#### 2.1.4 O abate de aves

Do mesmo modo como no abate de suínos, pode-se dividir as etapas do abate de aves em ante-mortem e post-mortem, classificação esta encontrada no RIISPOA (MAPA<sup>4</sup>, 1952) e na Portaria 210 (MAPA<sup>3</sup>, 1998), compartilhada também por Sarcinelli & Venturi (2007). Assim, as etapas do abate de aves podem ser subdivididas conforme a figura 7.

##### 2.1.4.1 Etapas ante-mortem

As aves são submetidas a jejum e uma dieta líquida para reduzir o volume dos conteúdos digestivos, durante um período de 8 a 12 horas.

###### 2.1.4.1.1 Captura e transporte

A captura dos frangos deve ser realizada com rapidez e preferencialmente no período noturno, quando as aves se encontram em período de descanso, diminuindo o estresse dos animais. As aves devem ser colocadas em gaiolas para o transporte, tomando cuidado para não extrapolar o espaço limite da gaiola. Preferencialmente o transporte deve ser realizado logo após a captura. Após o transporte os animais devem preferencialmente ser abatidos por ordem de captura dos lotes.

###### 2.1.4.1.2 Recepção e enganchamento

Os animais devem ser retirados dos caminhões de transportes, utilizando uma plataforma adequada para essa finalidade. Após o desembarque, os animais serão retirados das gaiolas e enganchados pelos pés em trilhos que levam para a zona de abate.

#### 2.1.4.1.3 Atordoamento ou insensibilização

O procedimento mais comum de insensibilização é a utilização de eletronarcose por imersão em líquido, onde os animais são imersos em água e submetidos a uma passagem de corrente elétrica, respeitando as normas vigentes. Nenhum animal deverá morrer durante este procedimento, portanto deve-se respeitar a voltagem pré-estabelecida pelo fabricante do equipamento e também levar em consideração o tempo de imersão do animal no líquido. Aqui vale também as informações prestadas pela Normativa nº3 (MAPA<sup>1</sup>, 2000) sobre abate humanitário.

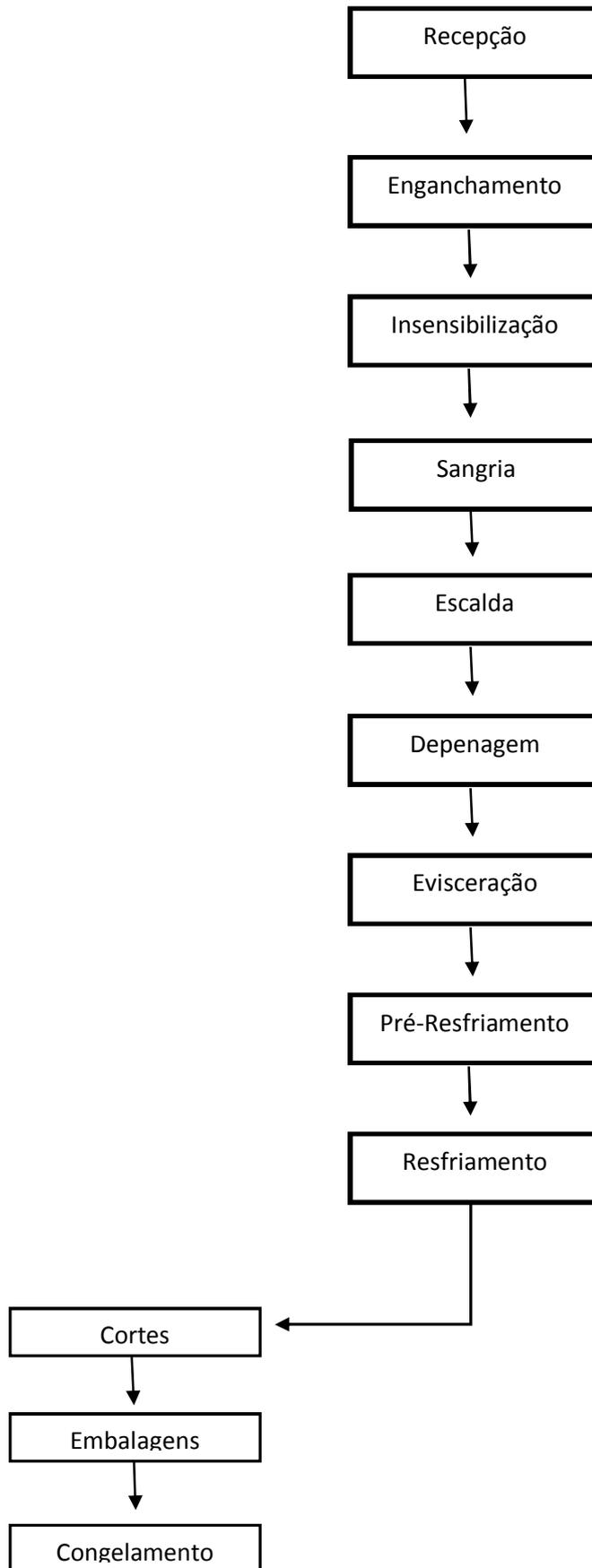
#### 2.1.4.1.4 Sangria

Deve ser realizada em no máximo doze segundos após o atordoamento, e também respeitar o tempo de três minutos para que esteja completa. O corte deve ser efetuado na região do pescoço da ave e o sangue será coletado por uma calha de aço inoxidável que acompanhe o trajeto dos trilhos. Nenhuma etapa é permitida sem que a ave esteja rigorosamente morta. O sangue coletado deve ser destinado conforme a inspeção ordenar.

#### 2.1.4.2 Etapas post-mortem

##### 2.1.4.2.1 Escalda

Operação realizada para facilitar a remoção das penas das aves, onde estas deverão ser imersas em água à 52°C por não mais que o período de dois minutos, para evitar que ocorra o cozimento da carcaça. O volume do tanque de escalda será renovado a cada oito horas de processamento industrial.



**Figura 7** É Fluxograma do abate de aves.

#### 2.1.4.2.2 Depenagem

É o processo de retirada das penas das aves removidas por uma máquina denominada depenadeira, muito semelhante a máquina de remoção de pêlos dos suínos, só que ajustada para o tamanho das aves. As penas que restarem após a passagem pela máquina devem ser removidas manualmente, sendo coletadas por uma canaleta (transporte contínuo) para evitar seu acúmulo no local.

#### 2.1.4.2.3 Evisceração

As carcaças são obrigatoriamente lavadas antes de se efetuar o corte, que é feito desde a cloaca até o abdômen. As vísceras são expostas, examinadas e separadas. A retirada das vísceras procede na seguinte ordem: remoção da pele do pescoço e da traqueia, remoção da cloaca, retirada e inspeção das vísceras e por fim, a retirada dos pulmões e lavagem final da carcaça. A destinação das vísceras será feita após decisão no processo de inspeção.

#### 2.1.4.2.4 Pré-resfriamento , resfriamento e gotejamento

A etapa de pré-resfriamento pode ser realizada por inúmeros processos conforme Portaria 210 do (MAPA<sup>3</sup>, 1998), sendo o mais comum o processo por imersão em água (16 . 4 °C). Esse procedimento se faz necessário para o início do processo de resfriamento da carcaça, limpeza e reidratação desta. Após esta etapa, inicia o resfriamento das carcaças até a temperatura de 4 °C. Os processos devem ser ajustados para que não ocorra absorção de mais de 8% de água na carcaça, que é o limite máximo permitido. O gotejamento é o procedimento justamente necessário para remover-se a água excedente na carcaça através do escoamento por ação da gravidade.

#### 2.1.4.2.5 Seção de cortes, embalagens e congelamento

As carcaças resfriadas podem ser embaladas inteiras ou então passar por um processo de cortes antes, separando áreas específicas das aves, destinadas a determinados segmentos específicos do mercado. Após esses procedimentos, as

embalagens são congeladas a uma temperatura nunca superior a  $-12^{\circ}\text{C}$ , até serem expedidas para o mercado consumidor.

## **2.2 Resíduos industriais**

### **2.2.1 Classificação dos resíduos**

Os resíduos industriais são provenientes de diversas fontes, podendo ser classificados mais comumente em resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Nas próximas linhas, dissertar-se-á sobre estes.

#### **2.2.1.1 Resíduos sólidos**

Segundo a NBR 10004 (ABNT<sup>1</sup>, 2004), pode-se definir resíduos sólidos como ~~Resíduos~~ resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição+. Como se pode observar, propõem uma classificação quanto a origem, na descrição acima citada.

Já a política nacional dos resíduos sólidos (PNRS, 2010), define os resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Estes resíduos são provenientes de inúmeras fontes e se não forem dispostos de maneira correta podem ocasionar elevados danos ao meio ambiente e oferecer sérios riscos a população afetada. Nas normas descritas pode-se encontrar maiores informações sobre o assunto.

### 2.2.1.2 Resíduos gasosos

Os resíduos gasosos são comumente denominados por poluentes atmosféricos, pois são diretamente responsáveis pela poluição atmosférica e interferem na qualidade do ar. De acordo com a norma NBR 8969 (1985), poluição do ar significa a presença de um ou mais poluentes atmosféricos e poluente atmosférico toda e qualquer forma de matéria e/ou energia que, segundo suas características, concentração e tempo de permanência no ar, possa causar ou venha a causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e a flora e seja prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, à economia e ao bem estar da comunidade.

Segundo Kawano (2003) a poluição do ar é um fenômeno decorrente principalmente da atividade humana em vários aspectos, dentre os quais destacam-se o crescimento populacional, industrial e os hábitos da população, definição esta compartilhada por Assunção (1998). Ao longo dos anos, a composição química da atmosfera vem sendo alterada consideravelmente, devido ao grande volume de emissões crescentes, principalmente às de caráter antropogênico. A poluição é responsável pela alteração da qualidade do ar e afeta diretamente a vida da população, sendo muitos os fenômenos e danos ambientais atribuídos a ela, como:

- “ Mudanças climáticas;
- “ Ilhas de calor;
- “ Efeito estufa e aquecimento global;
- “ Destruição da camada de ozônio;
- “ Doenças respiratórias;
- “ Chuvas ácidas;
- “ Danos matérias, à fauna e flora.

### 2.2.1.3 Resíduos Líquidos

São mais comumente denominados efluentes líquidos ou águas residuárias, devido sua estreita ligação com a indústria, sendo estes resultados dos despejos líquidos provenientes de diversas fontes poluidoras.

Segundo a NBR 9800 (ABNT, 1987), efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração e pluviais poluídas e também de esgotos. As características deste efluente são variáveis conforme o tipo de indústria, o processo existente, a matéria-prima utilizada, entre outras, onde todos estes fatores interferem diretamente na composição do efluente final e de acordo com Nunes (2004), este conhecimento das características é o primeiro passo para se determinar o método mais eficiente de tratamento.

Ainda, conforme a resolução 357 (CONAMA, 2005), os efluentes líquidos provenientes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos receptores, após passarem pelo devido processo de tratamento e obedecerem as presentes condições vigentes pela norma.

#### 2.2.1.3.1 Características dos efluentes líquidos

São referentes as propriedades físicas, químicas e biológicas dos efluentes, conforme seu tipo de composição e se faz necessária a sua identificação, para se determinar os possíveis contaminantes existentes no efluente e os efeitos que estes poderão ocasionar ao meio ambiente com o seu despejo.

##### a) Principais propriedades físicas

- “ cor
- “ turbidez
- “ sólidos
- “ temperatura

##### b) Principais propriedades químicas

- “ DQO
- “ nitrogênio
- “ fósforo
- “ pH
- “ metais
- “ pesticidas

c) Principais propriedades biológicas

- “ DBO
- “ Coliformes
- “ vírus, bactérias e protozoários
- “ toxinas

Demais parâmetros importantes podem ser evidenciados na resolução CONAMA 357 (2005) e 397 (2008), em Ramalho (1983) e em Metcalf & Eddy (2003), entre outras bibliografias referentes a área.

### 2.2.2 Composição do efluente de abatedouros

A composição e caracterização de águas residuárias resultantes de abates são deficitárias, pois dependem de diversos fatores durante o processo, sendo um deles é o volume de água utilizado no processo. Os abatedouros apresentam um alto consumo de água, por característica, e geram um grande volume de efluentes a tratar. Além disso, segundo Agra (2009), os efluentes industriais oriundos do processamento de carnes são caracterizados por seu alto teor de proteína, a qual é responsável pela alta concentração de nutrientes e matéria carbônica. A descarga de efluentes contendo altas concentrações de matéria orgânica é indesejável, pois pode causar uma excessiva demanda de oxigênio nos corpos receptores, levando à

eutrofização do local de despejo e ainda pode proporcionar um aumento sensível do pH dos corpos hídricos, tornando-os tóxicos para a fauna aquática.

De acordo com Braile & Cavalcanti (1993), os despejos de matadouros e frigoríficos têm grande carga de sólidos em suspensão, nutrientes, material flotável, graxas, sólidos sedimentáveis e uma DBO que fica entre 800 e 32.000 mg.L<sup>-1</sup>, que podem variar em função dos cuidados na operação e com o reaproveitamento da matéria. Assim, se forem analisadas algumas amostras, estas podem apresentar altos valores para DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrogênio, fósforo, gorduras e sólidos.

Ainda de acordo com Vilas Boas et. al. (2001), a matéria orgânica presente no efluente de frigoríficos é composta por grande quantidade de sangue, fragmentos de tecidos, gorduras. Os seguintes autores, CETESB (2006) Vilas Boas et. al. (2001) concordam que o sangue é o componente que deve receber maior atenção no efluente de abatedouros, pois dentre os componentes gerados no abate e processamento, ele é o que apresenta a DQO mais alta, algo em torno de 400 g.L<sup>-1</sup> e DBO<sub>5</sub> de aproximadamente 200 g.L<sup>-1</sup> e uma concentração de nitrogênio de aproximadamente 30 g.L<sup>-1</sup>. Por este motivo é que se recomenda a separação do abate em duas linhas, a vermelha e a verde.

A linha vermelha é a que apresenta maior risco (BRAILE & CAVALACANTI, 1993), pois apresenta pedaços de gorduras em suspensão, carne e sangue, sendo estes rejeitos altamente putrescíveis e liberam mau cheiro característico e ainda podem apresentar a presença de micro-organismos patogênicos.

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam algumas características dos efluentes de abatedouros de suínos.

**Tabela 3 .** Carga poluidora e concentração de DBO para abate de suínos.

| Tipo de abatedouro                        | Carga poluidora (Kg de DBO/cabeça) | DBO (mg/L) |
|---|------------------------------------|------------|
| Abate Suíno Com industrialização da carne | 0,94                               | 620 . 1800 |
| Abate Suíno Sem industrialização da carne | 0,69                               | 570 . 1700 |

Fonte: CETESB, 2006

**Tabela 4 .** Cargas poluidoras presentes no efluente por animal abatido.

| Parâmetro (Kg/cabeça) | Abate Suíno (suíno médio: 90kg) |
|-----------------------|---------------------------------|
| DBO                   | 0,5 . 2,0                       |
| Nitrogênio            | 0,075 . 0,25                    |
| Fósforo               | 0,015 . 0,03                    |

CETESB, 2006

**Tabela 5 .** Concentração média de poluentes para abate de suínos.

| Parâmetro (mg/L)  | Abate de Suínos |
|-------------------|-----------------|
| DBO <sub>5</sub>  | 1250            |
| DQO               | 2500            |
| Sólidos Suspensos | 700             |
| Nitrogênio        | 150             |
| Fósforo           | 25              |
| Óleos e graxas    | 150             |
| PH                | 7,2             |

Fonte: CETESB, 2006

Para abatedouros de aves as preocupações relatadas anteriormente são as mesmas. Bolton (apud HOKKA, 1984) determinou em seus estudos uma quantidade variável de 12 . 18g de DBO<sub>5</sub> por ave abatida, dependendo da quantidade de água usada no abate e da recuperação do sangue. Carawanet al. (1974 apud HOKKA, 1984) elaboraram um estudo para a EPA, em um abatedouro de aves, onde por resultado obtiveram que a carga poluidora foi de 25,7g de DBO<sub>5</sub> por ave abatida. Mais recentemente, Moraes (1999) em seus estudos apresenta alguns dados importantes sobre diferentes cargas orgânicas originadas do abate de aves.

Os resíduos sólidos do abate, apesar de preocuparem, podem ter fácil destinação, pois podem ser reaproveitados nas graxarias para fabricação de subprodutos do processo, como farinhas de osso e carne, entre outros. Pardi (1996) recomenda um prazo máximo de um dia para efetuar tal processamento.

### 2.2.3 Destinação dos resíduos de abate

Conforme CETESB (2006), os resíduos de abatedouros podem causar problemas ambientais graves se não forem gerenciados adequadamente. A maioria é altamente putrescível e pode causar odores e proliferação de micro-organismos patogênicos se não processada rapidamente. Os resíduos sólidos podem ser encaminhados para as graxarias ou então para algum outro destino, como no caso de carcaças condenadas podem ser incineradas ou levadas para valas sépticas.

O mau cheiro é a principal preocupação quanto aos efluentes gasosos dos abatedouros, pois muitas vezes estes estão instalados em regiões urbanizadas, causando conflitos com a população que circunda seus limites.

Quanto aos resíduos líquidos, estes são encaminhados para um sistema de tratamento de efluentes presente junto ao processamento, onde são tratados e despejados de modo a não causar algum tipo de contaminação. Deve-se ainda observar o problema da formação de odores durante este processo.

## 2.3 O Tratamento de efluentes

### 2.3.1 Tratamento de resíduos sólidos

O termo tratamento para resíduos sólidos é pouco utilizado, sendo reaproveitamento a denominação mais comum, pois nesta área, os diversos processos estudados visam à reutilização dos resíduos para evitar seu acúmulo e descarte em aterros, esperando longos períodos de tempo para findar seu ciclo de decomposição. Os principais processos de recuperação e tratamento desta tipologia de resíduos são a compostagem, a reciclagem, a incineração e o aterramento. Mais informações sobre estes assuntos podem ser retiradas de Petric & Selimbasic (2007), Kulcu & Yaldiz (2003), Mason (2005), Kiehl (1998), ABRELPE (2011) e (2012), da diretiva 2000/76/EC (2000) e das normas NBR 10157 (ABNT, 1987) e NB 842 (ABNT, 1983).

### 2.3.2 Tratamento de efluentes gasosos

O tratamento de efluentes gasosos é necessário mediante as tecnologias e processos industriais estarem impossibilitados de garantir uma emissão nula, desta forma sempre serão necessários para diminuir as emissões de poluentes para o meio ambiente. A adoção de tecnologias mais limpas pode reduzir ou até mesmo eliminar algumas etapas dos processos que geram estes tipos de resíduos, contribuindo para uma melhor qualidade do ar e diminuindo a emissão de gases do efeito estufa.

Os principais processos de tratamento de efluentes gasosos são (MAZZER & CAVALCANTI, 2004): Dispersão, filtros de ar, ciclones e lavadores de gases.

### 2.3.3 Tratamento de efluentes líquidos

O tratamento de efluentes líquidos é o processo pelo qual águas residuárias contaminadas (industriais, esgotos) passam por diferentes procedimentos (etapas) para remoção de carga orgânica e contaminantes, tornando possível sua reutilização ou despejo em corpos receptores. Não há um único processo de tratamento, mas um conjunto de diferentes tecnologias aptas a realizar tais procedimentos. Para selecionar o melhor tratamento que se aplique a um determinado efluente devem ser observados algumas condições:

- “ As características dos efluentes a serem tratados;
- “ O atendimento as exigências legais e normas ambientais;
- “ Disponibilidade de água;
- “ Localização da empresa e proximidade com zona urbanizada;
- “ A área disponível;
- “ Os custos de construção, operação e manutenção do processo.

### 2.3.3.1 Classificação dos processos de tratamento

Inúmeras são as tecnologias para tratar efluentes líquidos, e deve-se efetuar uma extenuante análise antes da escolha do sistema de tratamento a ser implantado. Para facilitar uma análise mais profunda, diversos autores (METCALF & EDDY, 2003; JORDÃO & PESSOA 2005; MAZZER & CAVALCANTI, 2004) propõem uma separação dos processos em físicos, químicos e biológicos.

#### 2.3.3.1.1 Processos químicos

São os processos que utilizam determinados produtos químicos para realizar o tratamento e removem matéria coloidal suspensa, cor, turbidez e odor, ácidos e bases, metais pesados, óleos, etc. Os principais processos químicos são:

- “ floculação;
- “ precipitação;
- “ neutralização
- “ desinfecção;
- “ oxidação.

#### 2.3.3.1.2 Processos físicos

Os processos físicos consistem basicamente na remoção de sólidos grosseiros sobrenadantes por meio de um agente físico. Removem sólidos de dimensões relativamente grandes, sólidos em suspensão, óleos e graxas. Os principais processos físicos são:

- “ Decantadores;
- “ Filtros;
- “ Peneiras e grades;
- “ Caixas de gordura;

- “ Decanters (centrifugas)
- “ Flotadores

#### 2.3.3.1.1 Processos biológicos

É o processo pelo qual a carga orgânica e nutrientes presentes no efluente são digeridos por micro-organismos, como fonte de alimento para sua nutrição e promovendo o crescimento biológico, reduzindo assim a carga contaminante presente no efluente.

Os principais processos biológicos podem ser divididos em:

1) Oxidação biológica: está dividida em processo de oxidação aeróbia, no qual os micro-organismos utilizam o oxigênio presente no efluente para oxidar a matéria orgânica e anaeróbia, onde os micro-organismos trabalham na ausência de oxigênio.

- “ Exemplos de processos de oxidação biológica aeróbia: lodos ativados, filtros biológicos, RBC, lagoas aeradas.
- “ Exemplos de processos de oxidação biológica anaeróbia: UASB, lagoas anaeróbias, filtros anaeróbios.

2) Digestão do lodo: Processo em que os micro-organismos nutrem-se do lodo adensado para o seu crescimento, reduzindo assim a matéria orgânica presente.

- “ Exemplos de digestão do lodo: Fossas sépticas e biodigestores.

#### 2.3.4 Sistemas de tratamento de efluentes

Para facilitar o entendimento do sistema de tratamento de efluentes como um todo, é necessária uma análise de etapa após etapa, como uma segregação de operações unitárias. Assim, pode-se classificar os processos de tratamento de efluentes conforme a função no processo de redução dos poluentes dentro dos efluentes (CHERNICHARO, 1997; ECKENFELDER, 1989; e VON SPERLING, 1996, CETESB, 2006), Esta classificação é dividida nas etapas de tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

1) Tratamento Preliminar: Etapa de remoção de dos sólidos grosseiros, como areia, gordura e grandes partículas.

2) Tratamento Primário: Esta etapa compreende a remoção de alguns sólidos suspensos, equalização do efluente e eventualmente uma neutralização se necessária.

3) Tratamento Secundário: Etapa de remoção dos sólidos coloidais, sólidos dissolvidos, nutrientes através do crescimento microbiano. Esta é a etapa mais importante, pois é nela que consiste a remoção da maior parte da carga orgânica presente no efluente.

4) Tratamento Terciário: Também chamada de etapa de polimento ou maturação, é necessária para eventual remoção da carga orgânica residual e de alguns nutrientes, dando mais qualidade ao efluente final. Nela ocorre a desinfecção, caso haja necessidade, para a morte de patógenos encontrados no efluente.

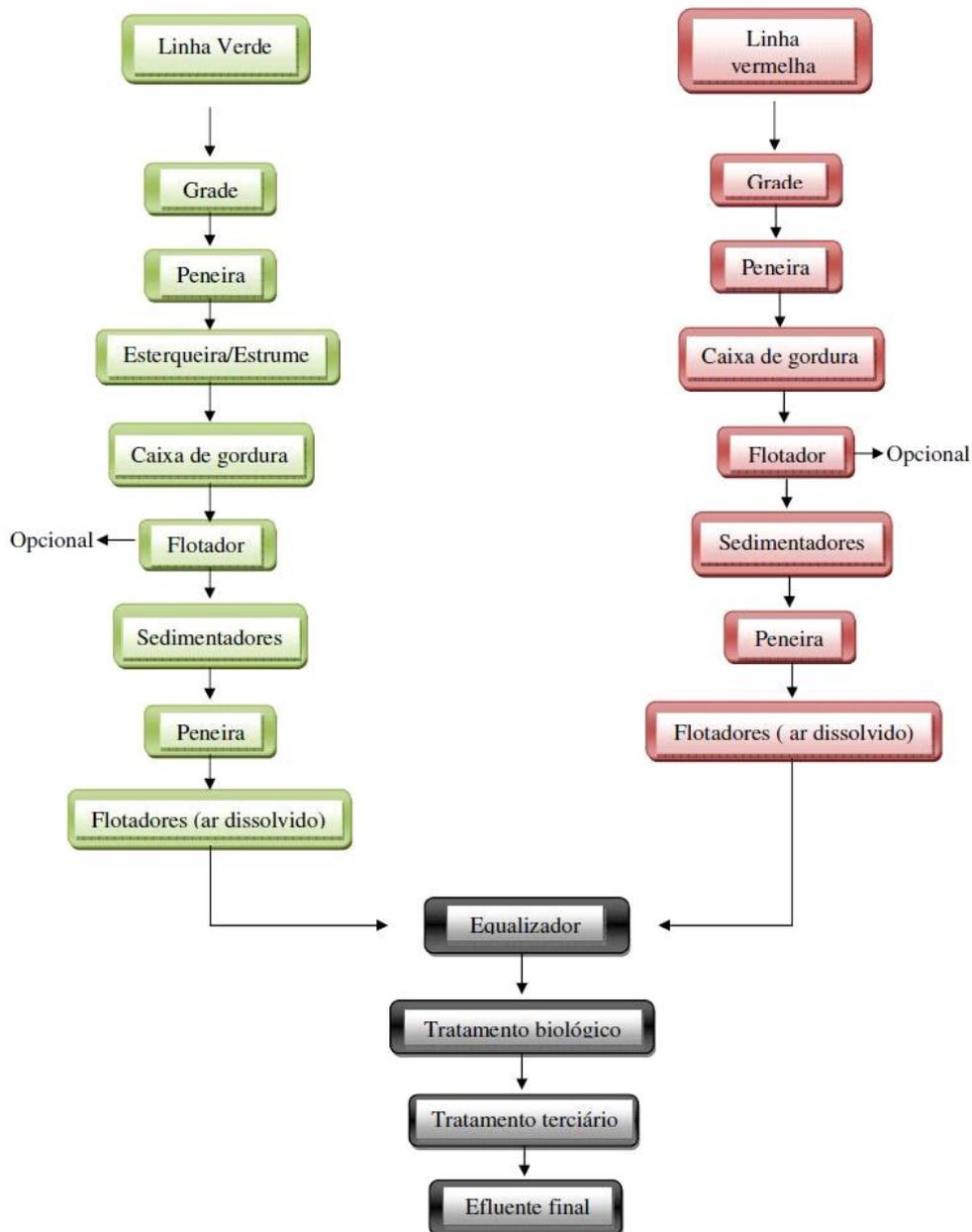
5) Tratamentos Avançados: É uma etapa que nem sempre é necessária no tratamento de efluentes, geralmente composta de novas tecnologias para remoção do efluente de alguns componentes bem específicos, como por exemplo, a ultrafiltração, a osmose reversa, as membranas, mecanismos de troca iônica, adsorventes, entre outros.

### 2.3.5 Tratamento de efluentes de abatedouros

Os efluentes de abatedouros, quando lançados sem o devido tratamento nos cursos naturais de água, causam uma série de danos ao meio ambiente e população. Como, visto anteriormente, os efluentes líquidos podem ser divididos em um linha %verde+, que contém os efluentes líquidos gerados em áreas sem presença de sangue (por exemplo, recepção . lavagens, pocilgas, triparia) e a linha %vermelha+, com os efluentes que contêm sangue (efluente oriundo do abate). Isto é feito para facilitar o tratamento preliminar e primário do efluente, tornando mais fácil o tratamento das fases posteriores. Braile & Cavalacanti (1993) definem os efluentes de abatedouros podem ser tratados por inúmeras tecnologias, dentre elas, RBC, UASB, sistemas de lagoas, lodos ativados e entre outras.

A figura 8 apresenta um sistema de tratamento genérico para efluentes de abatedouros. A parte inicial do fluxograma é basicamente a mesma para quase todos os tipos de abate. O tratamento biológico e o tratamento terciário variam

conforme a empresa e seus processos, e os fatores citados em 3.3.3 influenciarão na escolha do melhor sistema de tratamento para cada caso.



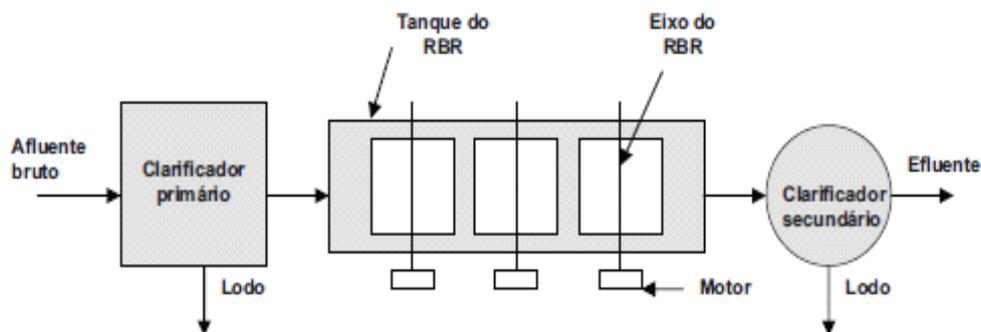
**Figura 8.** Tratamento de efluentes genérico e segregado em duas linhas.  
**Fonte:** Quartaroli et. al (2009).

Destes tratamentos apresentados, o RBC vem se destacando no tratamento de efluentes, pois apresenta uma alta retenção celular e excelente remoção de matéria orgânica e nutrientes (Philips, 2008).

## 2.4 Rotating Biological Contactor

Segundo Metcalf & Eddy (2003), os RBCs consistem em uma série de discos espaçados, fixados num eixo, rotacionando em velocidade baixa e submergidos em um efluente onde ocorre o processo. O processo consiste nos micro-organismos presentes encontram suporte nos discos para realizar o crescimento celular, formando um biofilme aderido na superfície. Com a rotação dos discos, os micro-organismos são submergidos e entram em contato com a matéria orgânica presente no efluente. Logo depois, retornam a superfície onde adsorvem o ar, mantendo a biomassa em condições aeróbicas, A rotação também auxilia na remoção do lodo em excesso. A figura 9 apresenta um esquema de um RBC.

Os reatores de biodisco como são comumente chamados foram instalados inicialmente na Alemanha na década de 60 e mais tarde introduzidos nos EUA. Eles podem operar nas condições de remoção de DBO, remoção de DBO associada a nitrificação e também em modos de nitrificação/desnitrificação contínuos.



**Figura 9** É Esquema de um RBC como tratamento secundário

Fonte: Metcalf & Eddy, 2003

### 2.4.1 Funcionamento, vantagens e desvantagens do RBC

O RBC consiste basicamente em um cilindro plástico, que pode ser feito de poliestireno, polietileno, PVC ou outros materiais, acoplado a um eixo horizontal e submergido em torno de 40% da sua área superficial em um tanque (RAMALHO,

1983), onde é rotacionado por um motor de forma lenta (algo em torno de 2 rpm) com finalidade de manter os micro-organismos em contato com o ar.

Os micro-organismos vão com o tempo aderindo as paredes do cilindro, onde se alimentam da matéria orgânica presente no efluente formando um filme (espessura de 1 a 3 mm). Um clarificador pode ser colocado ao final do processo para remover o excesso de lodo formado e desprendido dos discos.

Ainda, conforme Ramalho (1983) o RBC apresenta algumas vantagens em comparação com sistemas tradicionais, como por exemplo lodos ativados, por exemplo:

- “ Baixa energia requerida e fácil manutenção
- “ É possível ter em diferentes estágios culturas especializadas em degradar determinado tipo de matéria em certas circunstâncias, comprovando a flexibilidade do uso deste processo.
- “ O lodo adensa facilmente minimizando custos com eventuais clarificações
- “ Não é necessário reciclo do lodo.

As desvantagens abordadas pelo autor são que pode ocorrer o congelamento da superfície dos discos e minimização da eficiência do reator em determinadas condições climáticas severas. Pode ser adicionado ainda, o custo de construção de locais e abrigos para estes reatores.

#### 2.4.2 Variáveis que afetam na eficiência do reator

Conforme Cortez et al. (2008), as principais variáveis que afetam na performance de um RBC são:

##### 2.4.2.1 Material de construção e meio de suporte

Com o surgimento de materiais, os biodiscos evoluíram consideravelmente, e existem muitas variações que podem ser implantadas. Podem ser feitos de matérias de baixa, média ou alta densidade de área, mas devem sempre levar em conta os custos de construção durante o processo de escolha.

#### 2.4.2.2 Número de estágios

Podem ser implantados usando placas defletoras em um mesmo tanque ou ainda utilizando uma série de tanques. São bastante utilizados para especializar o reator para algum tipo específico de função, como por exemplo, remoção de DBO ou então nitrificação.

#### 2.4.2.3 Velocidade de rotação e nível de oxigênio dissolvido

Na maioria dos casos, um aumento da velocidade rotacional provoca um aumento na taxa de degradação do substrato, pois aumenta a concentração de oxigênio dissolvido no meio, facilitando o processo. Contudo, e alguns sistemas isto pode acarretar em um aumento considerável do consumo de energia, tornando o sistema inviável para aplicações em tratamento de efluentes. Além disso, em altas velocidades, os micro-organismos se desprenderiam facilmente dos discos, diminuindo a deterioração da qualidade do efluente e reduzindo a taxa de biodegradação do reator.

De acordo com Mathore & Patwadhan (2005), velocidades de 1 a 10 rpm são recomendadas para reatores com discos de diâmetros de 1 a 4 m montados em eixos de 5 a 10 m.

É comum nas etapas iniciais do tratamento, que os níveis de OD caiam consideravelmente, para isso pode-se aumentar a velocidade de rotação e provocar uma maior difusão do ar. OD é um importante fator da oxidação carbônica e da nitrificação e recomenda-se que para os estágios iniciais haja em torno de 2 mg OD/L para não tornar-se um fator limitante (NOWAK, 2000).

#### 2.4.2.4 Carga orgânica

Para determinados sistemas operando em condições normais, uma aumento na carga orgânica no substrato provoca a diminuição da taxa de remoção e eficiência do processo, o que pode ser também um indicativo de limitação de OD no sistema. Conforme WEF & ASCE (1998), deve-se limitar em no máximo 30 g de  $\text{DBO}_5 \cdot \text{m}^{-2}$  para evitar limitações de oxigênio no processo. O uso de carga orgânica excessiva pode provocar problemas como:

- “ Biofilme em excesso
- “ Surgimento de micro-organismos indesejáveis
- “ Redução do OD
- “ Aparecimento de odores

A carga orgânica afeta diretamente a nitrificação, pois as bactérias heterotróficas concorrem diretamente com as nitrificantes. No caso de células para nitrificação ATV (apud CORTEZ et al, 2008), propõem que a carga orgânica não ultrapasse o valor de 5 g de  $\text{DBO}_5 \cdot \text{m}^{-2}$  e Novak (2000) em seus estudos propôs que a mantivesse abaixo de 2,5 g de  $\text{DBO}_5 \cdot \text{m}^{-2}$  para manter a concentração de amônia abaixo de 5 mg.

#### 2.4.2.4.1 Cálculo da carga superficial e hidráulica aplicada

Conforme Philips (2008) pode-se calcular a carga superficial aplicada conforme a fórmula:

$$\text{Carga superficial} = C \times Q / A \quad (1)$$

Onde C = Concentração do meio em  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Q = Vasão de alimentação em  $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$

A = Área superficial dos discos em  $\text{m}^2$

A carga pode ser expressa como carga hidráulica bastando substituir a área superficial pelo volume do reator na fórmula.

#### 2.4.2.5 Carga hidráulica

O desempenho dos RBC foi historicamente ligado a carga hidráulica do processo. O aumento do fluxo através do bioreator acarreta numa diminuição da eficiência de remoção e também produzem um excesso na formação de biomassa aderida. As taxas de carregamento variam conforme o caso, ou seja, o tipo de efluente e o sistema adotado.

#### 2.4.2.6 Tempo de retenção hidráulico

O TRH tende a influenciar a difusão e contato dos microrganismos com o substrato na remoção da carga. TRH muito curtos apresentam baixa remoção, ao contrario que, TRH muito longos tornam o processo economicamente inviável.

#### 2.4.2.7 Biofilme

Para otimizar a matéria a remoção de matéria orgânica ou outros compostos em um RBC, primeiro é necessário a formação de um biofilme especializado para realizar tal especificidade. Segundo Griffin & Findlay (2000), o biofilme é um complexo sistema microbiano formado por micro-organismos, polímeros extracelulares e água.

O principal fator limitante de sua formação é a carga orgânica, pois esta ligada diretamente ao crescimento dos micro-organismos. Deve-se levar em conta a espessura deste, pois em certas espessuras há a formação de zonas aeróbicas e outras anóxicas, sendo estas indesejáveis ao sistema (GALVAN et. al., 2000). Além disso, evita o entupimento e tensão de fadiga no sistema.

#### 2.4.3 Equacionamento

Conforme Ramalho (1983), pode-se calcular a área dos discos através de:.

$$A = 1/4 (D_o^2 - D_i^2) \quad (2)$$

Onde  $D_o$  é o diâmetro total do disco e  $D_i$  é o diâmetro do eixo, o qual nunca é submergido. Uma vez que o crescimento biológico se desenvolve na área submersa e  $d$  é a espessura do filme, o volume de lodo pode ser calculado para cada lado do disco é dada por:

$$V = 1/4 (D_o^2 - D_i^2)d \quad (3)$$

Considerando que o crescimento microbiano ocorre em ambos os lados do disco e N é o número de discos por estágio, o volume do crescimento microbiano aderido aos discos pode ser descrito por:

$$VA = 1/2 (D_o^2 \cdot D_i^2)Nd \quad (4)$$

Ainda, conforme Metcalf & Eddy (2003) um modelo cinético similar a lodos ativados pode ser empregado:

$$Q/A (S_o \cdot S) = Ks \quad (5)$$

Onde Q é a vazão, A é a área superficial, S<sub>o</sub> é a concentração do substrato no afluente, S é a concentração do substrato no efluente e k é a constante de reação. Para efluentes com alta variabilidade da carga poluidora do afluente, tem-se:

$$Q/A (S_o \cdot S) = K.S/S_o \quad (6)$$

A performance para múltiplos estágios pode ser definida pela relação:

$$S/S_o = (1/ 1 + kA/Q) n \quad (7)$$

Onde n é o número de estágios.

Em suas considerações Ramalho (1983) descreve que uma equação semelhante, porém com dois parâmetros cinéticos a serem levados em consideração, como se pode ver na equação 7.

$$Q (S_o \cdot S) = 1/2P (D_o^2 \cdot D_i^2)N (S/ K + S) \quad (8)$$

Onde P e K são parâmetros cinéticos.

Estes parâmetros podem ser obtidos através de ensaios em bancada ou plantas-piloto. A equação 8 pode ser rearranjada em uma forma linear na equação 9.

$$1/2P (D_o^2 \cdot D_i^2)N / Q (S_o \cdot S) = 1/P + K /OS \quad (9)$$

#### 2.4.4 Usos de RBC

Em seus estudos Hiraset al (2004) desenvolveram dois RBC em escala laboratorial para tratamento de efluentes uma unidade anóxica com 100% de imersão e carga 38 - 182 g DQO  $m^{-2}d^{-1}$  e 0,22 . 14g N oxidado  $m^{-2}d^{-1}$ , e outra unidade aeróbia com 35% de imersão e carga de 3,48 - 18 g DQO  $m^{-2}d^{-1}$  e 0,24 a 1.8 g de N-NH<sub>4</sub> e variando a razão de reciclo obtiveram de remoção de 82% de DQO e 54% de N. A tabela 6 apresenta dados do sistema.

Pynaert et. al. (2002) construíram um RBC com o intuito de verificar o processo CANON para remoção de carbono e nitrogênio. Construíram os discos em PVC, com velocidade rotacional de 2 rpm e TRH de um dia. Usaram uma cultura nitrificante como inóculo e após 60 dias adicionaram metanol com fonte de carbono variando a concentração. Obtiveram uma remoção de 84% de nitrogênio para uma carga de 2300 mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> L<sup>-1</sup>, atribuindo a desnitrificação e ao processo OLAND estes resultados. Os parâmetros de projeto podem ser vistos na tabela 7.

**Tabela 6** Parâmetros de projeto adotados no estudo de Hiras

| Parâmetros                    | Unidade Anóxica     | Unidade Aeróbica     |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| Área da superfície do reator  | 100 cm <sup>2</sup> | 372 cm <sup>2</sup>  |
| Profundidade                  | 11,5 cm             | 9,4 cm               |
| Volume de operação            | 1 L                 | 2,75 L               |
| Número de discos              | 4                   | 4                    |
| Diâmetro                      | 7cm                 | 20 cm                |
| Velocidade de rotação         | 2 rpm               | 8 rpm                |
| Área da superfície dos discos | 343 cm <sup>2</sup> | 2966 cm <sup>2</sup> |

**Tabela 7** - Parâmetros de projeto adotados no estudo de Pynaert.

| Parâmetros                   | Valores             |
|------------------------------|---------------------|
| Número de estágios           | 2                   |
| Número de discos por estágio | 20                  |
| Comprimento                  | 88 cm               |
| Largura                      | 34 cm               |
| Altura                       | 30 cm               |
| Nível do efluente            | 18 cm               |
| Diâmetro dos discos          | 30 cm               |
| Espessura dos discos         | 0,5 cm              |
| Espaço entre discos          | 1 cm                |
| Área da superfície total     | 5,84 m <sup>2</sup> |
| Volume de líquido no RBC     | 44 L                |
| Imersão                      | 50%                 |

Fonte: Pynaert et al. (2002).

Em seus estudos Philips (2008) construiu três reatores, com materiais diferentes (PVC, PS e PU), para avaliar a remoção de nitrogênio através de um efluente sintético. Os cilindros eram mantidos a velocidade de 2 rpm, PH entre 7,5 - 8,5 e temperatura entre 18 - 28 °C.

Os parâmetros para construção podem ser vistos na tabela 8.

**Tabela 8** - Parâmetros de projeto adotados no estudo de Philips.

| Parâmetros                                 | PVC  | OS   | PU    |
|--|------|------|-------|
| Volume (L)                                 | 4,73 | 4,73 | 4,73  |
| Número de discos                           | 40   | 40   | 25    |
| Espaço entre discos (cm)                   | 0,7  | 0,7  | 0,5   |
| Diâmetro dos discos (cm)                   | 17   | 17   | 14    |
| Espessura (mm)                             | 3    | 3    | 10    |
| Área superfie por módulo (m <sup>2</sup> ) | 1,8  | 1,8  | 0,775 |
| Imersão                                    | 42%  | 42%  | 39%   |

Fonte: Philips, (2008).

A carga de amônio aplicada foi variável num período de 913 dias, variando a carga de 519 . 6670 mg de  $\text{N-NH}_4^+$   $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$  para os reatores de PVC e PS, e de 1206 . 8280 mg de  $\text{N-NH}_4^+$   $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$  para o reator de PU. Os reatores apresentaram uma alta taxa de oxidação de amônio na taxa de 4902, 5403 e 5336 mg de  $\text{N-NH}_4^+$   $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$  respectivamente e ainda uma remoção de 29% em condições aeróbias para baixas cargas aplicadas nos três reatores.

## 2.5 Remoção de nutrientes

### 2.5.1 Nitrogênio

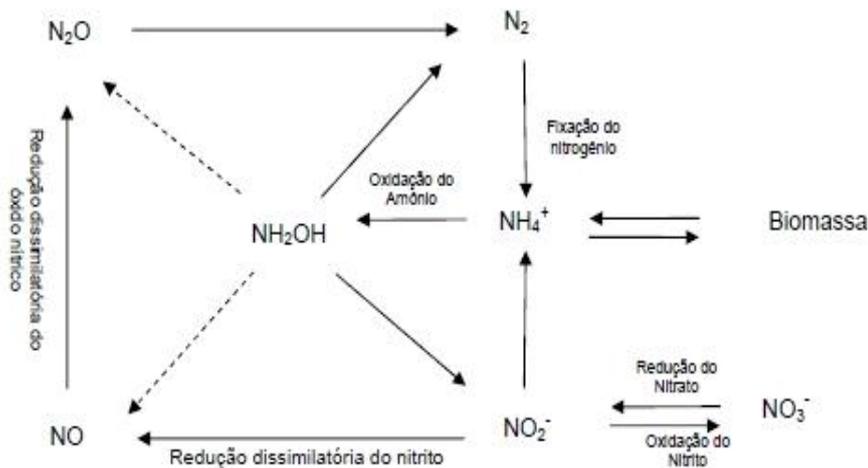
O nitrogênio é o gás mais abundante encontrado em nossa atmosfera, com concentração em torno de 78% do volume total de ar atmosférico, sendo um elemento essencial e limitante para os processos de crescimento vegetal. Nos animais é encontrado em proteínas e aminoácidos.

Tem uso importante na indústria química, especialmente a de fertilizantes, sendo um dos agentes contaminantes mais estudados na área de tratamento de efluentes, principalmente na indústria alimentícia, devido sua alta concentração em águas residuárias, podendo contaminar corpos receptores se os despejos forem inadequados e não respeitarem as normas de controle ambiental. Os contaminantes nitrogenados são tóxicos, combinados com aminoácidos podem formar substâncias carcinogênicas, e também podem causar anemias agudas e até mesmo a morte (PHILIPS, 2008), por isso a preocupação dos órgãos responsáveis em limitar os despejos de compostos nitrogenados (CONAMA 357, CONSEMA 128).

### 2.5.2 Processos biológicos de remoção de nitrogênio

Através do ciclo do nitrogênio (FIGURA 10), pode-se verificar que há várias etapas de transformação do nitrogênio durante os processos de tratamento de efluentes, desde a conversão do nitrogênio amoniacal (amônia ou íon amônio) até produtos de fácil remoção do efluente. O nitrogênio é um dos nutrientes encontrados em grande quantidade em determinados tipos de águas residuárias e os dois principais mecanismos de remoção natural do nitrogênio são a assimilação e nitrificação/desnitrificação. A oxidação anaeróbia de amônio, através do processo

conhecido por ANAMMOX, converte o íon amônio e o nitrito até nitrogênio gasoso, foi um tipo de conversão mais recentemente descoberta e incluída no ciclo do nitrogênio.



**Figura 10 .** Ciclo do Nitrogênio.

**Fonte: Ye & Thomas, 2001.**

### 2.5.2.1 Asssimilação

No processo de assimilação os microrganismos presentes nos efluentes nutrem-se de matéria orgânica e processam parte dos compostos nitrogenados (nitrogênio amoniacal) presentes, incorporando-os junto a sua respectiva massa celular (biomassa). Porém quando ocorre a morte destes, certa quantidade do azoto até então fixado, irá retornar para o meio.

### 2.5.2.2 Nitrificação Biológica

A nitrificação é o processo pelo qual micro-organismos quimiossintetizantes autotróficos produzem os nutrientes necessários a sua subsistência através da oxidação da amônia. Dois gêneros de bactérias são responsáveis pela nitrificação utilizando o oxigênio dissolvido para tal fim, as Nitrosomonas e as Nitrobacters. Publicações mais recentes (SCHMIDT et. al., 2003) sugerem além das já conhecidas Nitrosomonas e Nitrobacter, outros gêneros de bactérias envolvidas na nitrificação: as nitrato-oxidantes Nitrospira e Nitrosococcus.

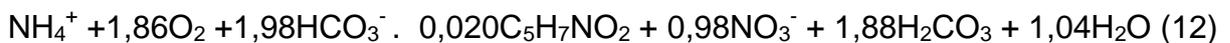
Na primeira etapa do processo, as bactérias Nitrosomonas oxidam a amônia até o nitrito, em um processo denominado nitrificação que pode ser visto na equação 10 (LEITE, 2007; FERREIRA, 2000).



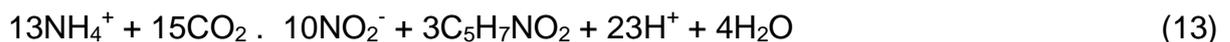
Na segunda etapa, o nitrito é convertido a nitrato pelas Nitrobacters num processo denominado nitratação conforme a equação 11 (LEITE, 2007; FERREIRA, 2000).



Estas bactérias utilizam a energia obtida a partir destas reações para o crescimento e manutenção celular, sendo que a reação global para a obtenção de energia é descrita por Henze et al.(1997):

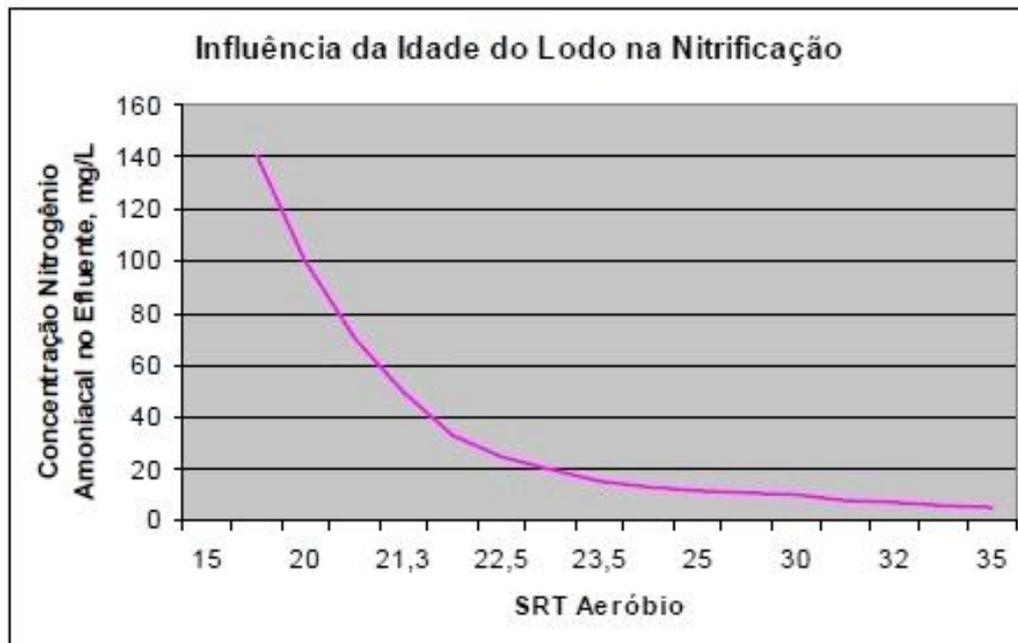


Ou ainda nas equações propostas por Ferreira (2000)



Pelo equacionamento fica claro que o crescimento celular é pequeno devido a grande quantidade de energia necessária para incorporação do carbono inorgânico (PHILIPS, 2008). Segundo Ferreira (2000), são necessários 7,14 mg de alcalinidade para cada mg de amônia oxidada, devido a liberação de íons  $\text{H}^+$  no meio. Ainda na mesma publicação afirma que a inibição pode ocorrer em pH abaixo de 7, inibindo assim, as Nitrobacters através do ácido nitroso não dissociado, enquanto que acima de 8,5 a amônia livre em quantidades acima de  $10 \text{ mgL}^{-1}$  causará a inibição das Nitrosomonas. Em Metcalf & Eddy (2003), encontra-se que uma faixa ótima de pH está entre 7,5 e 8,6 e concentrações de oxigênio dissolvido acima de  $1 \text{ mgL}^{-1}$  são requeridas para que este não seja um fator limitante no processo de nitrificação.

Outro fator importante está na idade dos microrganismos, como se pode constatar na Figura 11. Quanto maior a idade do lado mais apto este está em converter a amônia a nitratos.



**Figura 11** É Influência da idade do lodo da nitrificação.

**Fonte:** Ferreira, 2000.

Os principais processos de nitrificação podem ser classificados em crescimento em suspensão e crescimento em biofilme. No processo de crescimento em suspensão, a nitrificação pode ser levada a cabo no mesmo reator utilizado no tratamento da matéria orgânica carbonácea ou em um reator separado como em um tratamento convencional de lodo ativado. Quando a nitrificação em separado é utilizada, normalmente inclui-se um reator e um tanque de sedimentação ao processo.

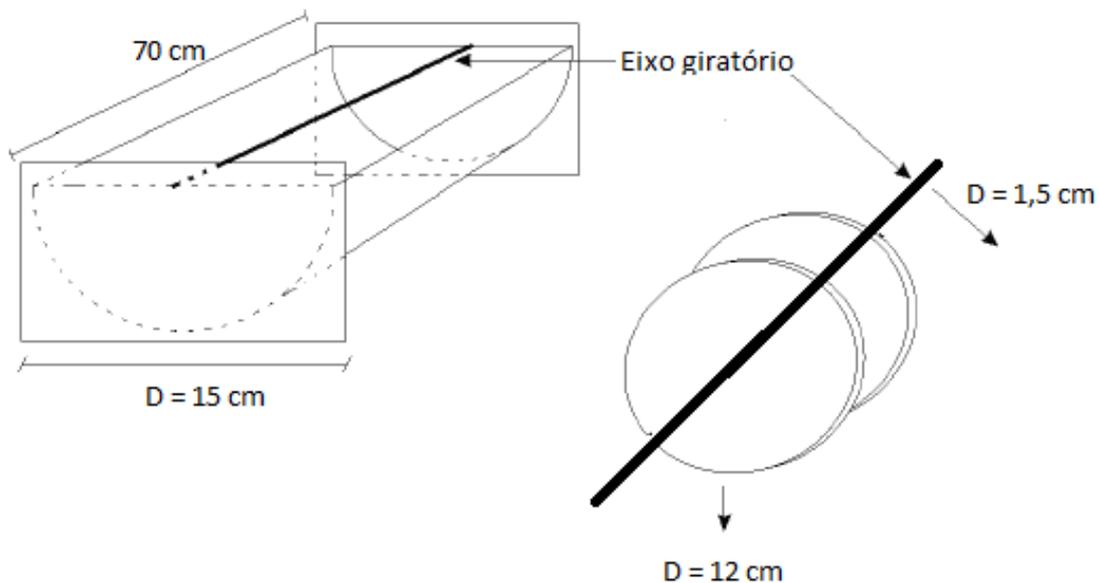
Filtros biológicos, discos rotativos e colunas empacotadas podem ser utilizados nos sistemas de nitrificação. Estes sistemas são resistentes a choques de carga, no entanto, podem ser susceptíveis a vazões com picos de amônia (TEIXEIRA, 2006). No sistema combinado de nitrificação e oxidação de carbono, os biofilmes são mais espessos que os filmes formados nos reatores de nitrificação. Baixas cargas de DBO carbonácea solúvel, necessária para promover o crescimento de culturas nitrificantes, estão relacionadas com a espessura do filme. Cargas

maiores em sistemas combinados podem levar a um excessivo crescimento do biofilme.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1 Construção do RBC

O RBC foi construído baseando-se nas recomendações e em estudos que foram levantados nos itens 2.2.2, 2.2.3 e 2.2.4. A figura 12 apresenta um esquema simples do RBC construído.



**Figura 12:** Esquema simplificado do RBC construído.

Os materiais utilizados na construção do RBC foram:

- “ Cano de PVC 15 cm de diâmetro
- “ Trinta discos de policarbonato de 12 cm de diâmetro
- “ Telas de plásticos para recobrir os discos
- “ Eixo de alumínio
- “ Dois tampões de PVC de 15 cm de diâmetro
- “ Dois rolamentos de aço carbono
- “ Mangueiras plásticas

- “ Bucha conectora de aço
- “ Suporte de madeira

A montagem do RBC seguiu basicamente as seis etapas simplificadas a seguir os seguintes passos:

- 1) Os discos foram lixados de modo a se obter as ranhuras necessárias a adesão e for adicionada a tela plástica.
- 2) Os tampões foram furados conforme as devidas dimensões necessárias ao projeto.
- 3) Os discos foram fixados ao eixo numa distância de 1 em 1 cm
- 4) O tanque foi construído utilizando um tubo de PVC de diâmetro de 15 cm, com 70 cm de comprimento. A parte superior foi removida para observação do experimento e evitar a formação de zona anaeróbia ou mesmo a limitação de oxigênio para o efluente.
- 5) O motor foi preso junto ao eixo utilizando a bucha de aço.
- 6) Todo o sistema foi montado sobre o suporte de madeira e adicionado as mangueiras plásticas para efetuar as ligações necessárias.

O suporte foi construído em madeira para alojar o tanque, eixo e o motor em um mesmo nível. O motor foi fabricado pelo grupo de pesquisas do Núcleo de Pesquisas e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (NUPEDEE), situado na UFSM, e possui velocidade entre 4 . 17 rpm.

O eixo horizontal é de alumínio com diâmetro de 1,5 cm. Foi selecionado o alumínio, devido ser um material leve e de boa resistência a oxidação, pois este pode em alguns momentos entrar em contato com o efluente.

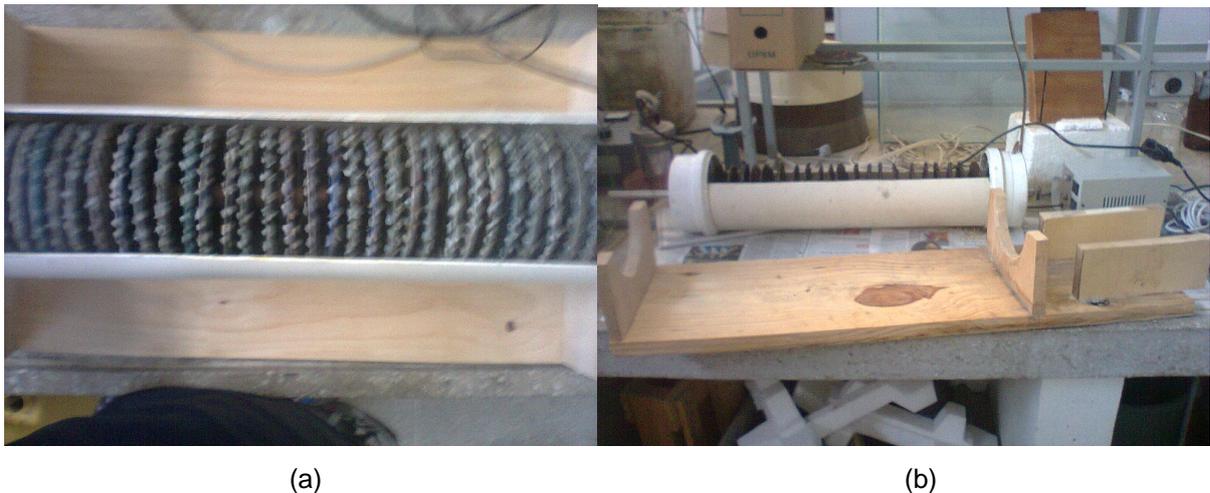
Os discos são feitos de policarbonato com diâmetro de 12 cm e espessura de 1,2 mm, sendo que estes foram lixados para facilitar a aderência do biofilme e ainda foi adicionada uma tela plástica para melhorar esta fixação.

A tabela 9 mostra os parâmetros de projeto utilizados na construção e operação do RBC.

**Tabela 9** . Parâmetros de projeto na construção do RBC

| Parâmetros                   | Dados                   |
|------------------------------|-------------------------|
| Número de estágios           | 1                       |
| Número de discos por estágio | 30                      |
| Comprimento do tanque        | 70 cm                   |
| Diâmetro do tanque           | 15 cm                   |
| Diâmetro dos discos          | 12 cm                   |
| Espessura dos discos         | 1,2 mm                  |
| Espaço entre discos          | 1 cm                    |
| Área da superfície total     | 2126,25 cm <sup>2</sup> |
| Volume de líquido no RBC     | 4 L                     |
| Imersão                      | 35%                     |

O RBC após a construção pode ser visto na Figura 13.



**Figura 13** É Imagens do reator em construção. a) Vista superior do RBC contemplando os discos de policarbonato com tela plástica adicionada. b) Suporte base para a operação do RBC.

Para a construção do RBC foram necessários quinze dias de trabalho para que todos os componentes fossem adicionados, presos e colados, formando assim o sistema de tratamento e respeitando as etapas previstas e os parâmetros preestabelecidos no item 3.1.

## 3.2 O Efluente

### 3.2.1 Seleção do substrato

Neste trabalho optou-se por selecionar um efluente líquido real para análise da eficiência na remoção da carga orgânica e dos nutrientes utilizando o RBC construído. O efluente proposto foi coletado junto ao frigorífico Avisuí Alimentos, localizado na estrada municipal Primo Berleze, dentro do município de Santa Maria/RS, como mostra a Figura 14. O frigorífico tem como principal atividade o abate, a distribuição e comercialização de produtos derivados de suínos e aves.



**Figura 14** . Vista superior do frigorífico Avisuí Alimentos

### 3.2.2 Coleta do efluente

O efluente líquido coletado é procedente de duas linhas principais, a linha verde e a vermelha, com as seguintes características:

- Linha verde é composta pelos resíduos líquidos gerados na recepção dos animais, nas áreas de condução do animal para abate, nas áreas de lavagem dos caminhões e pátios, contendo grande quantidade de conteúdo intestinal, excrementos dos suínos.

- Linha vermelha composta com os resíduos líquidos que contêm sangue (de varias áreas do abate em diante) das áreas de limpeza e higienização do estabelecimento. O sangue gerado no abate é coletado separadamente, para ser aproveitado como subproduto e destinado.

O efluente ainda passa por um sedimentador e uma caixa de gordura, mais tarde é misturado e levado até um tanque, onde se inicia o processo secundário de tratamento de efluentes. O ponto de coleta do efluente selecionado foi exatamente este, antes de iniciar o tratamento secundário.

O efluente foi coletado durante todo o período de análise sempre no período matinal entre 8:00 e 12:00 h na empresa. Eram levados três bombonas, cada uma contendo um volume em torno de 20L, volume este necessário para três dias de operação do RBC. Eram necessários de dois a três dias de coleta durante a semana para garantir o volume necessário de operação continua.

### 3.2.3 Armazenagem do efluente

O efluente que não utilizava-se inicialmente na alimentação do reator, era armazenado dentro de bombonas em um refrigerador a uma temperatura de 5 °C, para evitar o inicio de sua degradação dentro dos recipientes a fim de manter as características originais do efluente. Em posteriores alimentações, tomava-se o cuidado de retirar o efluente de uma a duas horas antes, para evitar o choque térmico no sistema em funcionamento.

### 3.2.4 Caracterização do efluente

Inicialmente foram coletadas três amostras em períodos diferentes do abate em um mesmo dia para identificação dos principais parâmetros de análise que seriam necessários se observar no decorrer do estudo. A análise realizada em triplicata foi feita no Laboratório de Controle Ambiental, do Departamento de Engenharia Química da UFSM. A tabela 10 apresenta o resultado desta análise preliminar.

Deste resultado obtido, pode-se definir as variáveis que necessariamente deveriam ser avaliadas no trabalho. Os parâmetros selecionados foram: a carga orgânica na forma de DBO<sub>5</sub> e DQO, e os nutrientes na forma de nitrogênio e fósforo.

A ausência de sólidos e gordura foram algumas das características notadas durante a avaliação, onde se esperava uma alta concentração destes. O efluente bruto é bastante diluído nos processos de lavagem de carcaças e de equipamentos, diminuindo a concentração de sólidos. Além disso, antes do ponto de coleta do efluente, havia uma etapa de tratamento preliminar pela qual o efluente passava (sedimentador), onde a gordura e os sólidos presentes eram retidos.

Outro parâmetro analítico que se esperava certa concentração eram os surfactantes. Porém, a análise foi descartada para futuras avaliações, devido a alta diluição do efluente em água (mesmo problema de sólidos) por apresentar um valor quase irrisório no processo de caracterização, podendo até mesmo ser erro analítico os valores apresentados.

**Tabela 10** . Caracterização das amostras coletadas do efluente

| Parâmetros Analíticos | Análise 1                             | Análise 2                             | Análise 3                              |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| DBO <sub>5</sub>      | 422 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> | 345 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> | 445 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>  |
| DQO                   | 984 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> | 883 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> | 1211 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> |
| Sólidos Suspensos     | -----                                 | -----                                 | 0,3 mgL <sup>-1</sup>                  |
| Sólidos Voláteis      | -----                                 | -----                                 | -----                                  |
| Sólidos Sedimentáveis | 0,2 mgL <sup>-1</sup>                 | -----                                 | 1,2 mgL <sup>-1</sup>                  |
| Sólidos Totais        | 0,2 mgL <sup>-1</sup>                 | -----                                 | 1,5 mgL <sup>-1</sup>                  |
| NTK                   | 72,6 mgL <sup>-1</sup>                | 68,5 mgL <sup>-1</sup>                | 97, 5 mgL <sup>-1</sup>                |
| Fósforo               | 18,3 mgL <sup>-1</sup>                | 18,5 mgL <sup>-1</sup>                | 22,1 mgL <sup>-1</sup>                 |
| pH                    | 6,63                                  | 6, 91                                 | 6,72                                   |
| Óleos e Graxas        | -----                                 | 0,02 mgL <sup>-1</sup>                | -----                                  |
| Surfactantes          | 0,13 mgL <sup>-1</sup>                | 0,22 mgL <sup>-1</sup>                | -----                                  |

### 3.3 Operação do reator

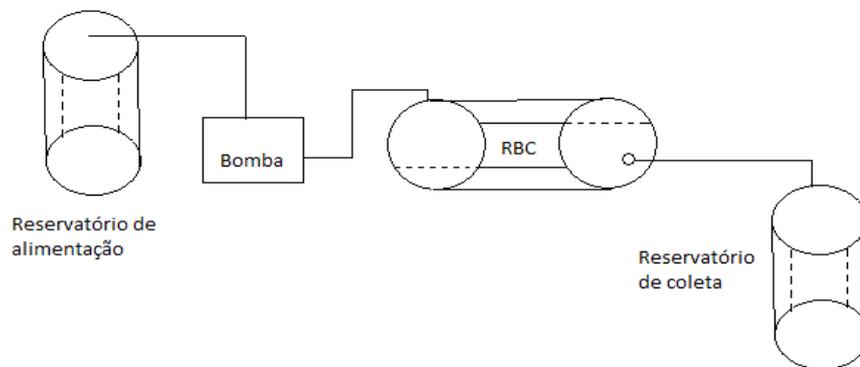
#### 3.3.1 Inoculação e partida do RBC

Seguindo instruções encontradas em Philips (2008), foi inoculado dentro do RBC, 5L de lodo coletado anteriormente em um processo de lodos ativados da estação de tratamento de esgotos de Santa Maria, administrada pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Este lodo apresenta características aeróbias, e tem por finalidade agilizar o processo de formação do biofilme nos discos.

Após a inoculação, foi dada a partida no reator. O RBC funcionou por durante quatro horas até se iniciar a alimentação do efluente. Somente após uma semana de funcionamento, as primeiras amostras foram coletadas para a realização das análises. Este período é necessário para o crescimento dos micro-organismos e a adaptação ao efluente.

#### 3.3.2 Operação do sistema

O efluente coletado era retirado da refrigeração para cumprir com os passos apresentados em 3.2.3 e despejado em um recipiente de 25L, sendo este processo realizado diariamente. Através de uma bomba peristáltica modelo DM 5000, fabricada pela Provitec, com regulagem eletrônica de vazão, o efluente era bombeado até a parte superior do reator, onde ocorria a alimentação do sistema. O efluente entra em contato com o sistema antes do primeiro disco. Mangueiras realizavam a ligação entre tanque . bomba - reator, num processo de alimentação contínua. A figura 15 apresenta um esquema básico da operação.



**Figura 15** . Desenho esquemático dos componentes operacionais do RBC.

O efluente circula pelo sistema de eixo com discos giratórios, sendo movimentado por um motor a uma velocidade de 4 rpm, onde ocorre o tratamento do efluente e após esse processo, é despejado por gravidade em um reservatório de coleta de 60 L. Na tabela 11, pode-se ver os parâmetros operacionais calculados para o sistema.

**Tabela 11** É Parâmetros operacionais utilizados durante o experimento.

| Parâmetros Operacionais           | Dados              |
|-----------------------------------|--------------------|
| Velocidade de rotação             | 4 rpm              |
| Volume do reator                  | 4 L                |
| Vazão de alimentação              | 1 Lh <sup>-1</sup> |
| TRH                               | 4 h                |
| Volume de efluente necessário dia | 24Ld <sup>-1</sup> |

### 3.4 Análises Laboratoriais

As análises foram efetuadas no Laboratório de Controle Ambiental vinculado ao Departamento de Engenharia Química da UFSM. Os parâmetros analíticos selecionados em 3.2.4 foram avaliados conforme os *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Os seguintes procedimentos foram adotados nas análises.

- “ As amostras foram coletadas antes e após o tratamento de efluentes, em beakers de 500 mL.
- “ Logo após o término da coleta, foi realizada a leitura do pH e da temperatura.
- “ Caso não fossem realizadas as análises no mesmo momento da coleta, era realizado procedimento para conservação da amostra.
- “ As análises de DQO, NTK e fósforo total foram efetuadas através dos procedimentos encontrados no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* e a leitura era realizada utilizando o aparelho de colorimetria DR890 da marca Hach.
- “ A DBO<sub>5</sub> foi realizada logo após a leitura da DQO, sendo necessários cinco dias para se efetuar a leitura, pois é necessária a estabilização e término da análise até o fim deste período. A análise e a leitura era realizada em um aparelho especial para DBO, das marcas OxiDirect e Hach.
- “ Todas as análises foram realizadas em triplicata, para maior confiabilidade nos dados obtidos, com exceção a DBO<sub>5</sub> que se realizou análise em duplicata.
- “ Os dados obtidos foram transcritos em uma planilha Excel para posterior análise dos resultados.

Os parâmetros analíticos selecionados foram:

1º) DBO: Esta análise é justificada devida a alta presença de sólidos biodegradáveis presentes no efluente a ser analisado. Medirá a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas.

2º) DQO (Demanda Química de Oxigênio): Este teste indireto de medida, avaliará a quantidade de OD (mg O<sub>2</sub>/L) consumido em meio ácido para degradar a matéria orgânica, biodegradável ou não. As medidas de DBO e DQO são importantes para a verificação da remoção da carga orgânica no sistema de tratamento de efluentes.

3º) NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl): Este teste indicará a quantidade de nitrogênio total (amoniacoal e orgânico) presentes no substrato. Baseia-se na transformação do nitrogênio da amostra em sulfato de amônio por meio de digestão,

liberando amônia fixada em ácido. Neta trabalho é importante medir este parâmetro para verificar o crescimento biológico e o processo de nitrificação.

4º) Fósforo Total: assim como o nitrogênio, o fósforo é considerado um nutriente essencial para os processos biológicos e é importante medi-lo para o acompanhamento do crescimento biológico junto da remoção deste.

#### 3.4.1 Cronograma de análises

As análises foram efetuadas ao longo de todo o período de avaliação do reator, durante os dias que se seguiram. Conforme o quadro 1 (Apêndice 2), pode-se ver o período exato em que foram realizadas as análises.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo foi estruturado da seguinte maneira:

- “ Inoculação e operação do RBC.
- “ Avaliação de desempenho do sistema no processo de tratamento.

### 4.1 O reator

No período anterior ao analítico, foram levantados os dados e os materiais que seriam necessários para a construção, operação e avaliação do desempenho. Foram adquiridos a bomba e o motor necessário para operar o sistema e os demais materiais necessários para a construção do RBC.

#### 4.1.1 Inoculação e operação do sistema

O inóculo foi adicionado ao sistema seguindo os passos previstos no item 3.3.1. O reator passou a funcionar durante os primeiros três dias sem interrupções. No quarto dia, a alimentação foi interrompida por um período de quase meia hora, onde se removeu o lodo presente no fundo, usando para a remoção em torno de 3L de água para este fim.

Assim, novamente o reator passou a ser alimentado e depois do sétimo dia de operação iniciou-se o período analítico do experimento.

A operação, conforme as instruções do item 3.3.2, consiste na alimentação do afluente no recipiente de entrada. Assim, ele é bombeado para o RBC até a entrada superior e passa pelo processo de tratamento, onde entra em contato com os discos presos ao eixo giratório. O eixo é movimentado por um motor e o afluente é bombeado através de uma bomba dosadora. Após a passagem pelo sistema o efluente era coletado em um recipiente coletor

A alimentação se processava duas vezes ao dia, uma durante o período matinal e outra durante o período vespertino, de modo a satisfazer a condição

necessária do reator (ver tabela 11). O recipiente de coleta era esvaziado a cada três dias de operação.

## **4.2 Avaliação do desempenho do sistema**

### **4.2.1 Parâmetros de avaliação da eficiência**

No quadro 2 estão apresentados os dados e as análises estatísticas descritivas, calculadas a partir dos resultados obtidos com a análise das amostras coletadas. As vinte e nove amostras coletadas foram analisadas uma de cada vez, em triplicata (com exceção da DBO), onde foram calculadas a média dos resultados.

Como pode-se verificar, nas análises da saída do efluente tratado, foram retirados cinco dados das análises de NTK, pois estes estavam inserindo erros nas estatísticas calculadas, mascarando assim os verdadeiros resultados. No item 4.2.2.5 será explicado quais foram os motivos pelo qual foram removidos estes resultados.

Em princípio, quatro resultados de análises foram utilizados para prever a data de remoção do lodo em excesso do reator, sendo elas as análises 8, 9, 10 e 20. Estas análises apresentaram um resultado aparentemente inferior e controverso aos demais, mesmo assim foram úteis para a identificação de tais períodos e foram adicionadas aos gráficos. Porém, para a análise da eficiência geral do sistema foram eliminadas por não representarem a realidade analítica, conforme os dados apresentados no Apêndice 2.

As médias obtidas nos dias 8, 9, 10 e 20 para DQO são, respectivamente, 82%, 77%, 75% e 80%, para DBO 82%, 71%, 76% e 77%, para NTK 70%, 73%, 57% e 40%, e para fósforo total 79%, 68%, 60% e 67%. Ao realizar a comparação com as demais análises (Apêndice 2), fica clara a incidência de erros devido ao excesso de lodo presente no reator, pois as médias de remoção ficaram menores do que as obtidas sem o excedente.

**Quadro 2** . Estatísticas descritivas dos parâmetros de avaliação da eficiência do substrato e do efluente após tratamento através do RBC.

| Parâmetro                                 | Estatística Básica | Resultados   |                  |
|---|--------------------|--------------|------------------|
|   |                    | Substrato    | Efluente Tratado |
| DBO <sub>5</sub><br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | Nº de dados        | 29           | 29               |
|   | Máximo             | 626          | 127              |
|   | <b>Média</b>       | 421          | 71               |
|   | Mínimo             | 283          | 29               |
|   | Desvio padrão      | 68           | 25               |
| DQO<br>(mg.L <sup>-1</sup> )              | Nº de dados        | 29           | 29               |
|   | Máximo             | 1531         | 295              |
|   | <b>Média</b>       | <b>1099</b>  | <b>129</b>       |
|   | Mínimo             | 760          | 18               |
|   | Desvio padrão      | 199          | 61               |
| Fósforo total<br>(mg.L <sup>-1</sup> )    | Nº de dados        | 29           | 29               |
|   | Máximo             | 23,87        | 6,9              |
|   | <b>Média</b>       | <b>17,42</b> | <b>4,13</b>      |
|   | Mínimo             | 8,22         | 1,56             |
|   | Desvio padrão      | 3,39         | 1,12             |
| NTK<br>(mg.L <sup>-1</sup> )              | Nº de dados        | 29           | 24               |
|   | Máximo             | 184          | 9,53             |
|   | <b>Média</b>       | <b>76</b>    | <b>5,23</b>      |
|   | Mínimo             | 43           | 2,37             |
|   | Desvio padrão      | 28           | 1,77             |

#### 4.2.1.1 Relação DQO/DBO

A relação DQO/DBO é um parâmetro muito útil na avaliação da biodegradabilidade do efluente, contribuindo na caracterização do substrato e para definição do tipo de tratamento a se empregar. No quadro 3 são apresentadas as relações obtidas no presente trabalho.

Como pode ser visualizado no quadro 3, essa relação teve como valor máximo 3,16, enquanto que o valor mínimo foi de 1,82. O valor médio para a relação DQO/DBO obtida foi de 2,63, sendo considerado um resíduo com razoáveis características de biodegradabilidade. Para Braile & Cavalcanti (1993), é considerado resíduo com facilidade de degradação aquele cuja relação DQO/DBO é menor que 2.

**Quadro 3 .** Relação DQO/DBO para o RBC

| Dias | DQO/DBO |
|------|---------|
| 7    | 2,69    |
| 9    | 2,27    |
| 10   | 3,03    |
| 12   | 2,92    |
| 13   | 2,20    |
| 16   | 2,88    |
| 17   | 2,70    |
| 20   | 3,71    |
| 21   | 2,78    |
| 25   | 2,77    |
| 30   | 2,90    |
| 33   | 1,94    |
| 34   | 3,16    |
| 36   | 2,67    |
| 38   | 2,22    |
| 40   | 2,12    |
| 42   | 2,94    |
| 43   | 2,30    |
| 45   | 3,03    |
| 48   | 1,82    |
| 53   | 2,72    |
| 56   | 2,32    |
| 57   | 2,53    |
| 60   | 2,33    |
| 62   | 2,66    |
| 65   | 3,07    |
| 68   | 2,62    |
| 69   | 2,43    |
| 73   | 2,68    |

#### 4.2.1.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Para Ramalho (1983), a DBO é utilizada como a medida da quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica biodegradável presente na amostra de água. A falta de oxigênio dissolvido nos efluentes se dá pela grande quantidade de materiais orgânicos carbonáceos, compostos orgânicos de nitrogênio e pela redução química de compostos ferrosos e sulfatados. Um bom exemplo disto é processo de nitrificação.

A DBO em associação a DQO, são parâmetros necessários a avaliação da carga orgânica presente no substrato. Apontam para o que poderá ocorrer no sistema em relação ao consumo do substrato e do oxigênio dissolvido. No Brasil, a remoção da DBO em sistemas de tratamento de resíduos industriais e de esgoto é tida como principal parâmetro de análise.

A figura 16 mostra os resultados obtidos com as análises das amostras de DBO, tanto para a entrada do reator, como para a saída.

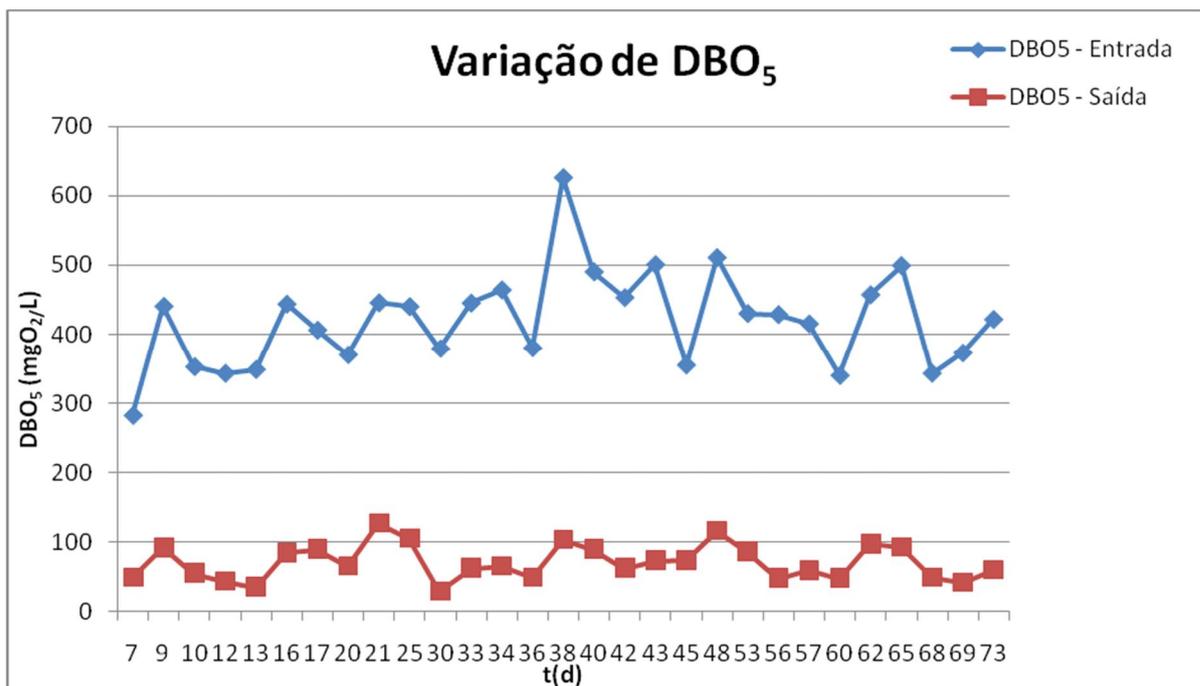


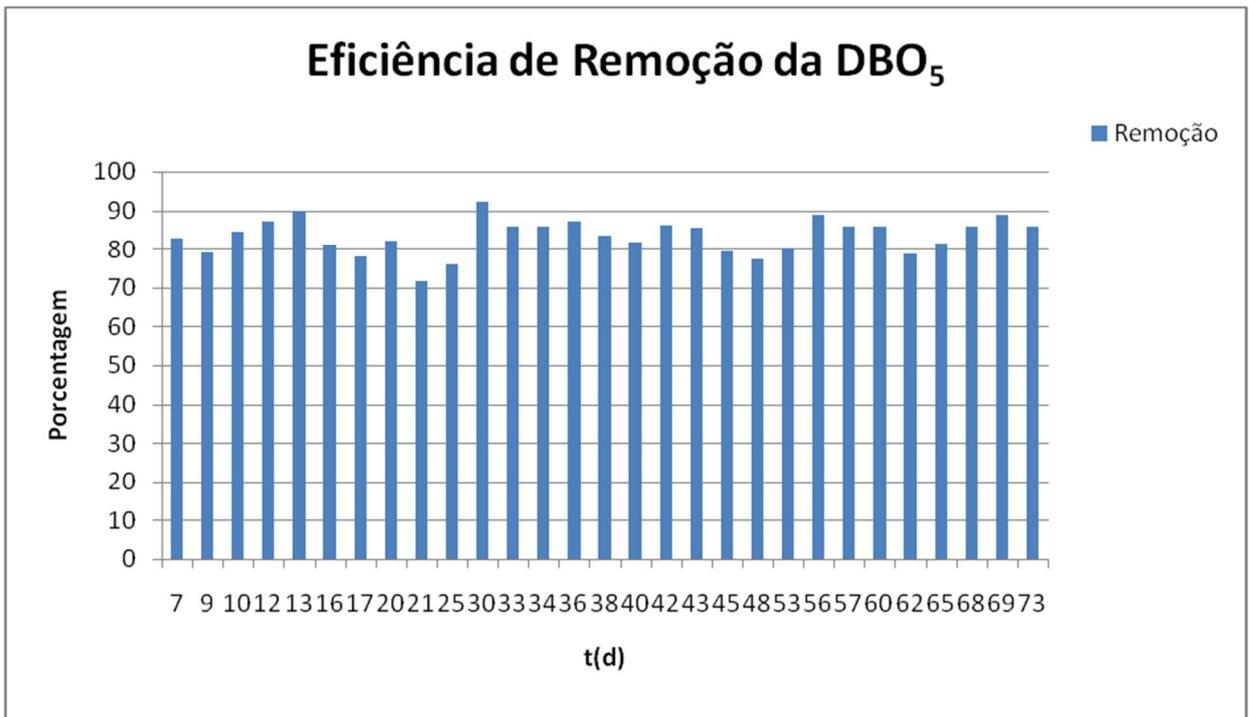
Figura 16 . Gráfico da variação de DBO durante o período de análise.

Como pode ser visto, a variação de DBO<sub>5</sub> para o substrato apresenta valores da ordem de 621 a 283 mgL<sup>-1</sup> e para o efluente tratado esses valores ficaram entre 127 e 29 mg.L<sup>-1</sup>. Essa variação na DBO de entrada pode ser considerada normal, uma vez que o efluente utilizado como substrato foi coletado de um abate, onde

diversas situações processuais acontecem ao mesmo tempo, provocando estas variações.

Já para a saída, notou-se uma estabilidade nos resultados obtidos ao longo do período analítico, onde a maioria dos pontos encontra-se próximo a média de 71 mg.L<sup>-1</sup>. O pico de 127 mg.L<sup>-1</sup> ocorreu num período antecedente a segunda retirada de lodo do sistema, por este motivo este valor é consideravelmente maior que a média obtida pelas outras análises. A análise que resultou em uma remoção de 29 mg.L<sup>-1</sup> é proveniente do melhor resultado obtido na remoção de DBO entre todos os demais realizados.

Este resultado pode ser evidenciado melhor com a análise da figura 17. Esta apresenta a eficiência do RBC na remoção de DBO<sub>5</sub> durante o período experimental.



**Figura 17** . Eficiência de remoção de DBO<sub>5</sub> do RBC.

Como foi dito anteriormente, a maior eficiência do sistema teve seu pico máximo no 30º dia analítico, reduzindo uma carga de 329 mg.L<sup>-1</sup> a 29 mg.L<sup>-1</sup>, correspondente a 92,36% da carga de DBO<sub>5</sub>. A menor remoção da carga de DBO<sub>5</sub> foi constatada no 21º dia, no qual foi obtido 71,52% de remoção. Porém, esta é uma das análises em que se constatou a necessidade da remoção do lodo excedente. Neste gráfico de barras, nota-se uma constante nos resultados obtidos, sendo que a eficiência global de remoção da DBO<sub>5</sub> foi de 84,46%.

Ao realizar o cálculo da carga orgânica, foi obtida uma remoção de  $1,64 \text{ g DBO.m}^{-2}$ , que ao comparar com os limites propostos por Nowak (2000), fica dentro do aceitável para não tornar o oxigênio um fator limitante dentro do processo.

A nitrificação não será afetada por este mesmo fato já que o valor ficou abaixo das  $5 \text{ g de DBO.m}^{-2}$ . A partir destes dados, pode-se verificar que mesmo em um reator de um único estágio, pode-se ocorrer a oxidação da matéria biológica e a nitrificação.

#### 4.2.1.3 Demanda Química de Oxigênio

A DQO corresponde a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica e inorgânica de um resíduo, o qual seja suscetível a oxidação por permanganato ou dicromato de potássio em meio ácido. A partir do conhecimento dos valores de DQO é possível identificar a quantidade de oxigênio dissolvido necessária para a remoção da matéria carbonácea.

O perfil de concentração de DQO tanto da alimentação, quanto da saída do reator durante o período experimental pode ser visualizado na Figura 18.

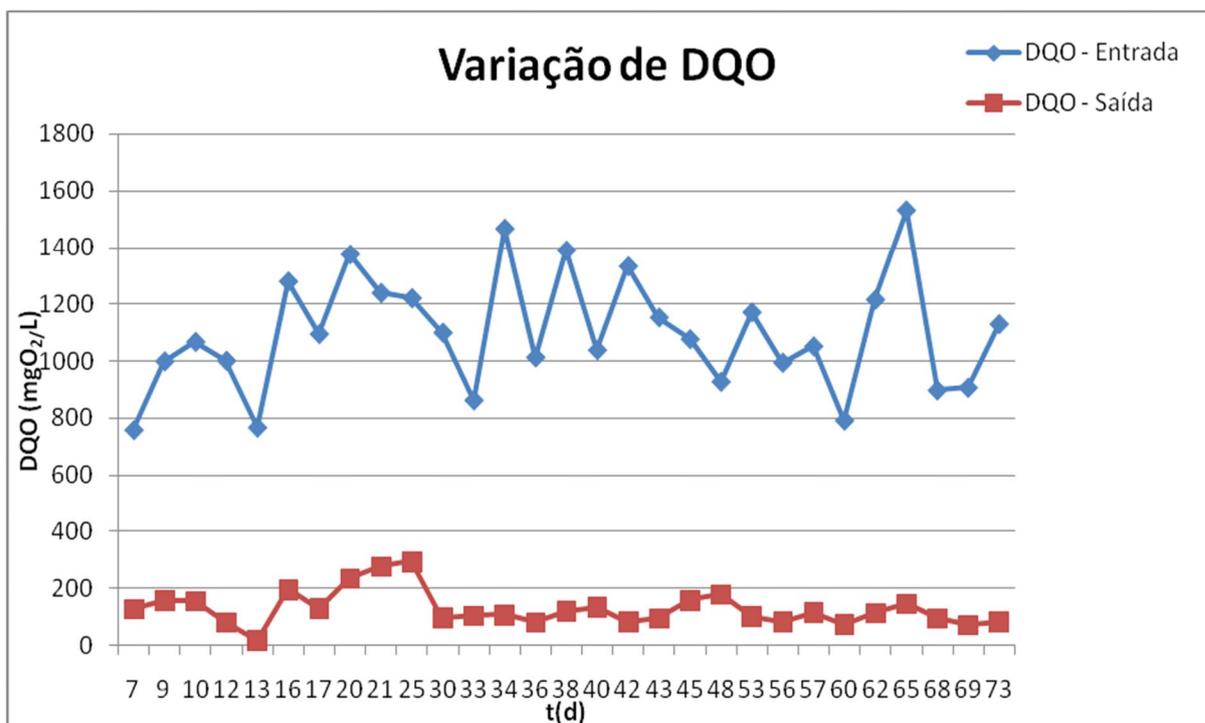


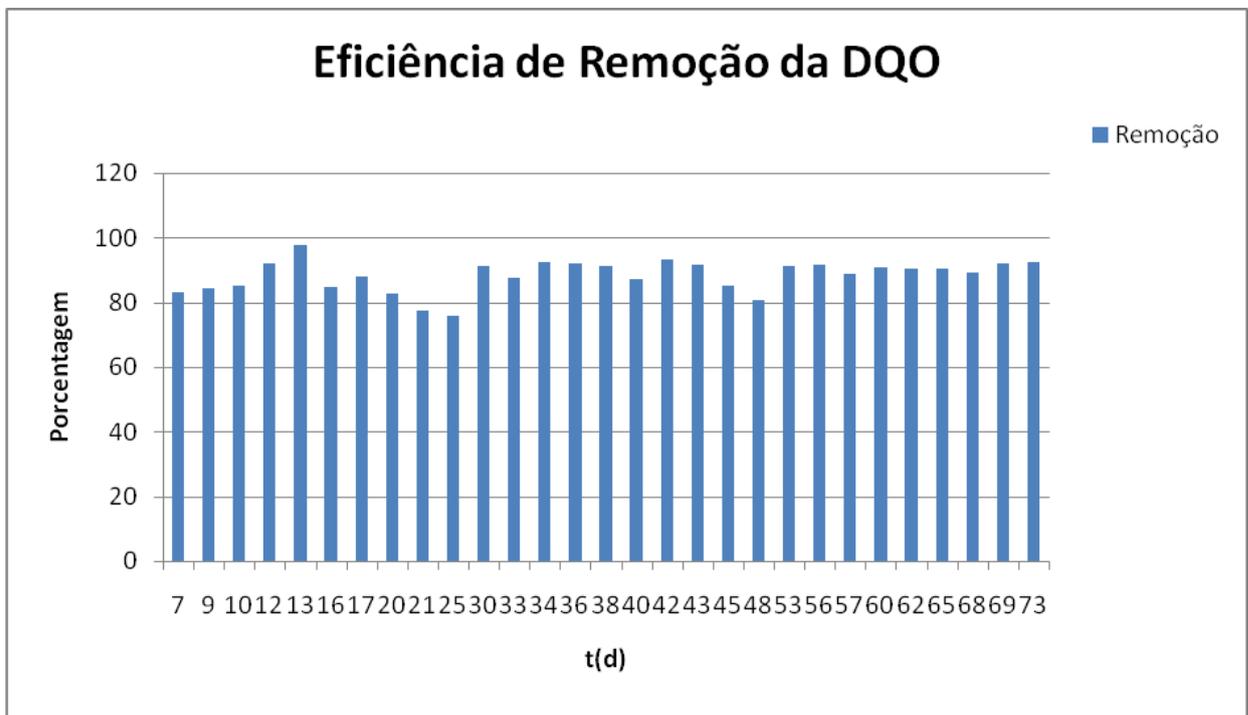
Figura 18 É Gráfico da variação de DQO durante o período de análise.

A partir da análise do gráfico, pode-se notar uma grande variabilidade nos dados referentes ao efluente de entrada, fato este explicado anteriormente no item 4.2.1.2. A variação de DQO para a entrada do reator foi de 1531 a 760 mg.L<sup>-1</sup> e para a saída do efluente os valores obtidos ficaram entre 295 e 18 mg.L<sup>-1</sup>. A partir do 30º dia de análise constatou-se uma estabilidade nos resultados obtidos para a saída do sistema, permanecendo até o término do período de análise.

O maior pico de entrada ocorreu no 65º dia de análise e não tem relação com a remoção do excesso de lodo. Para a saída, o pico de 295 mg.L<sup>-1</sup> ocorreu num período antecedente a primeira retirada de lodo do sistema (25º), por este motivo este valor é consideravelmente maior que a média obtida pelas outras análises.

Outro fator de relevância na análise do gráfico é que a partir do 30º dia, os valores mantiveram-se estáveis e próximos a média de 129 mg.L<sup>-1</sup>. Notou-se um pequeno acríve na curva a partir do 45º dia o qual antecedeu a segunda retirada de lodo do sistema

Este resultado pode ser evidenciado melhor a partir da análise da figura 19. Esta apresenta a eficiência do RBC na remoção de DQO durante o período experimental.



**Figura 19** . Eficiência de remoção de DQO do RBC.

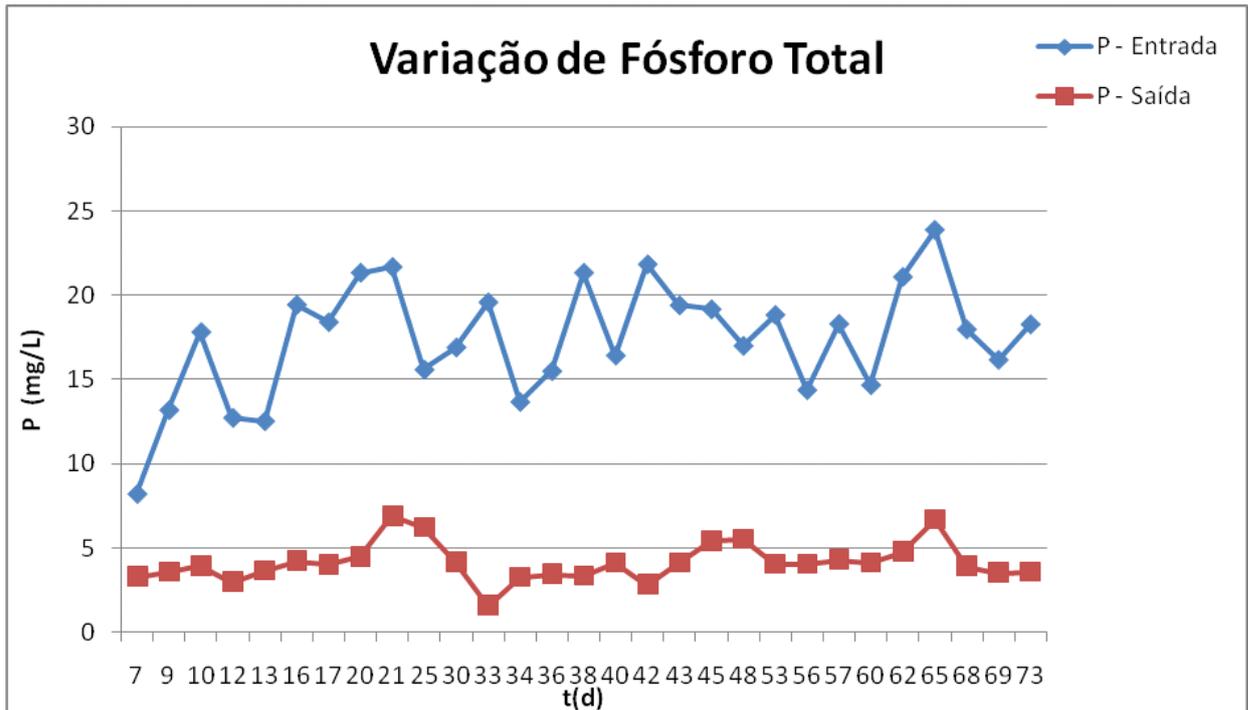
A maior eficiência do sistema teve seu pico máximo no 13º dia analítico, reduzindo uma carga de  $769 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $18 \text{ mg.L}^{-1}$ , correspondente a 97,66% da carga de DQO. A menor remoção da carga de DQO foi constatada no 25º dia com 75,85%. Porém, esta é uma das datas em que se constatou a necessidade da remoção do lodo excedente. Neste gráfico de barras, nota-se uma constante nos resultados obtidos a partir do 30º, sendo que os pontos aproximam-se consideravelmente da média da eficiência global, que foi de 88,3%, o que colabora para verificar está estabilidade na análise da DQO.

A remoção de DQO média obtida foi de  $109,5 \text{ g DQO.d}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Em comparação com os estudos de Hiras et al (2004), o estágio único apresentou uma remoção maior do que um simples estágio (82% da DQO e 52% de N). O sistema construído demonstrou ser muito mais eficiente em relação a remoção de nitrogênio e semelhante em relação a DQO.

Em seus estudos, Tawfik et al (2006) mostrou que a maioria da DQO era removida no primeiro estágio do reator e que o segundo estágio era mais eficiente no processo de nitrificação. O carregamento superficial foi acrescido até  $47 \text{ g DQO.d}^{-1}.\text{m}^{-2}$ , com isso o TRH foi diminuindo até 2,5h. O autor conclui que não houve mudanças significativas neste processo. Ele obteve uma remoção de 86% da DQO para 10h e carregamento superficial de  $11 \text{ g DQO.d}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Em comparação com os resultados deste estudo, foi obtida uma remoção de 88,3%, para um TRH de 4 h e carregamento superficial de  $124 \text{ g DQO.d}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

#### 4.2.1.4 Fósforo total

Como visto anteriormente, o fósforo é um parâmetro importante no estudo de remoção de nutrientes e auxilia na indicação do crescimento microbiano e remoção da carga orgânica. A figura 20 apresenta a variação das análises de fósforo total para o RBC.



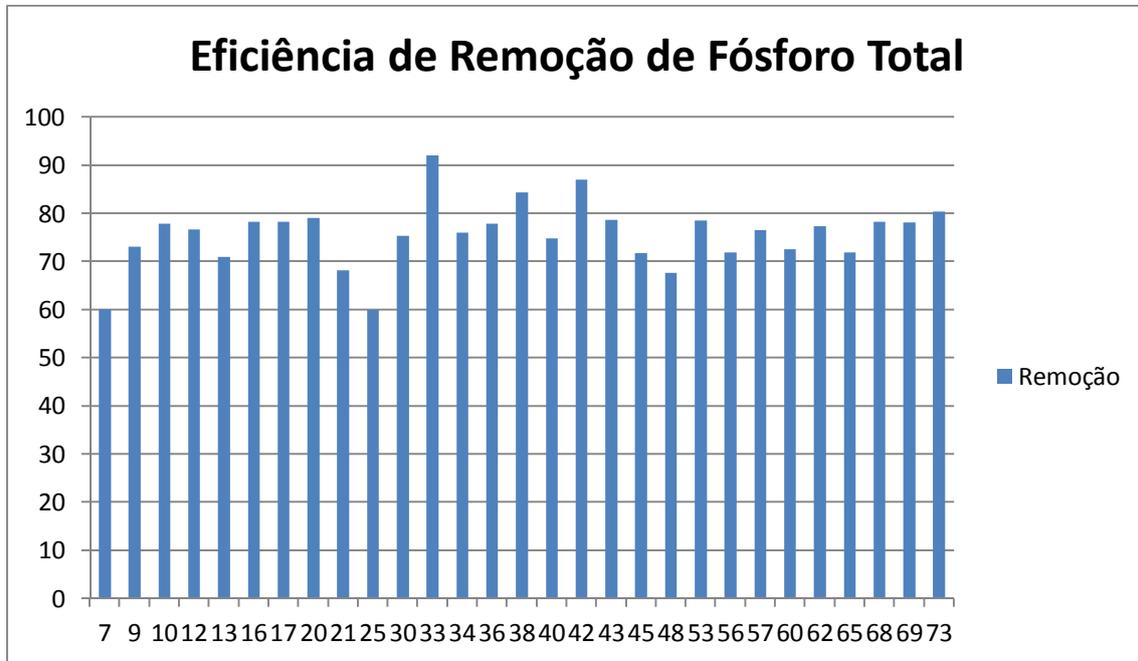
**Figura 20** - Gráfico da variação de fósforo total com o tempo.

A partir do gráfico, pode-se verificar uma grande variabilidade nos dados referentes a entrada e também à saída do efluente, fato este que pode ser explicado pela análise de fósforo ser mais suscetível a variação das cargas de alimentação do reator. Apesar disso, constatou-se que em alguns períodos existe uma certa tendência da remoção do fósforo presente. A variação de fósforo para a entrada do reator foi de 23,87 a 8,22 mg.L<sup>-1</sup> e para a saída do efluente os valores obtidos ficaram entre 6,7 e 1,56 mg.L<sup>-1</sup>. O maior valor de entrada corresponde também ao maior valor de saída (65º dia), o que colabora para verificar o pressuposto anterior. A média para a entrada corresponde a 17,42 mg.L<sup>-1</sup> e para a saída é de 4,13 mg.L<sup>-1</sup>.

O maior pico de entrada, assim como na DQO, ocorreu no 65º dia de análise e não tem relação com a remoção do excesso de lodo, mas sim com uma alta concentração da carga orgânica. Para a saída, o menor valor das análises (1,56 mg.L<sup>-1</sup>) ocorreu no 33º dia de análise, o qual foi considerado justamente o melhor dia de remoção das análises de fósforo, como pode-se ver na figura 21.

Como pode-se ver, a maior eficiência obtida foi de 92,03%, para um dia em que se constatou um fraco carregamento orgânico. A eficiência média de remoção obtida foi de 75,66% e os dados pela análise do gráfico, encontram bastante dispersos em torno da média. A remoção superficial é de 1,5 g P.d<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, e dentre todas as demais eficiências foi a que apresentou resultados mais baixos, muito

devido a carga orgânica do efluente apresentar níveis baixos de fósforo na alimentação. Porém, os resultados obtidos são relevantes para comprovar o crescimento biológico do lodo.

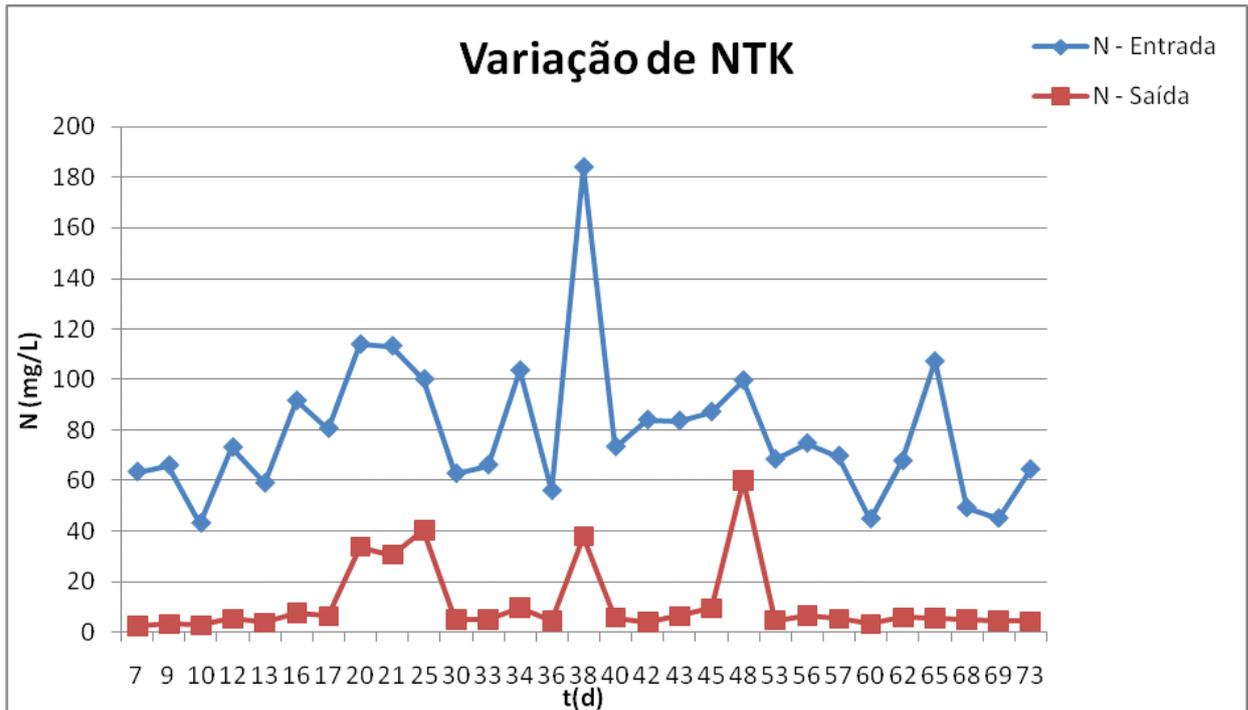


**Figura 21:** Gráfico da eficiência de remoção de fósforo total.

As análises que apresentaram eficiência menor que 70%, estão diretamente ligadas ao dia de remoção do lodo, com exceção a análise que compreende o 7º dia, onde o sistema ainda se encontrava em evolução e crescimento microbiano.

#### 4.2.2.5 Nitrogênio Total Kjeldhal

O nitrogênio total (NT) se apresenta nos resíduos domésticos e industriais em diversas formas, incluindo nitrogênio orgânico (na forma de proteínas, aminoácidos e ureia), amônia, nitrito e nitrato (VON SPERLING, 1996). O NTK nada mais é do que a soma das concentrações do nitrogênio amoniacal e do nitrogênio orgânico. A variação temporal da concentração de NTK durante o experimento pode ser visualizada na figura 22.



**Figura 22 .** Variação das concentrações de NTK da entrada e saída do RBC

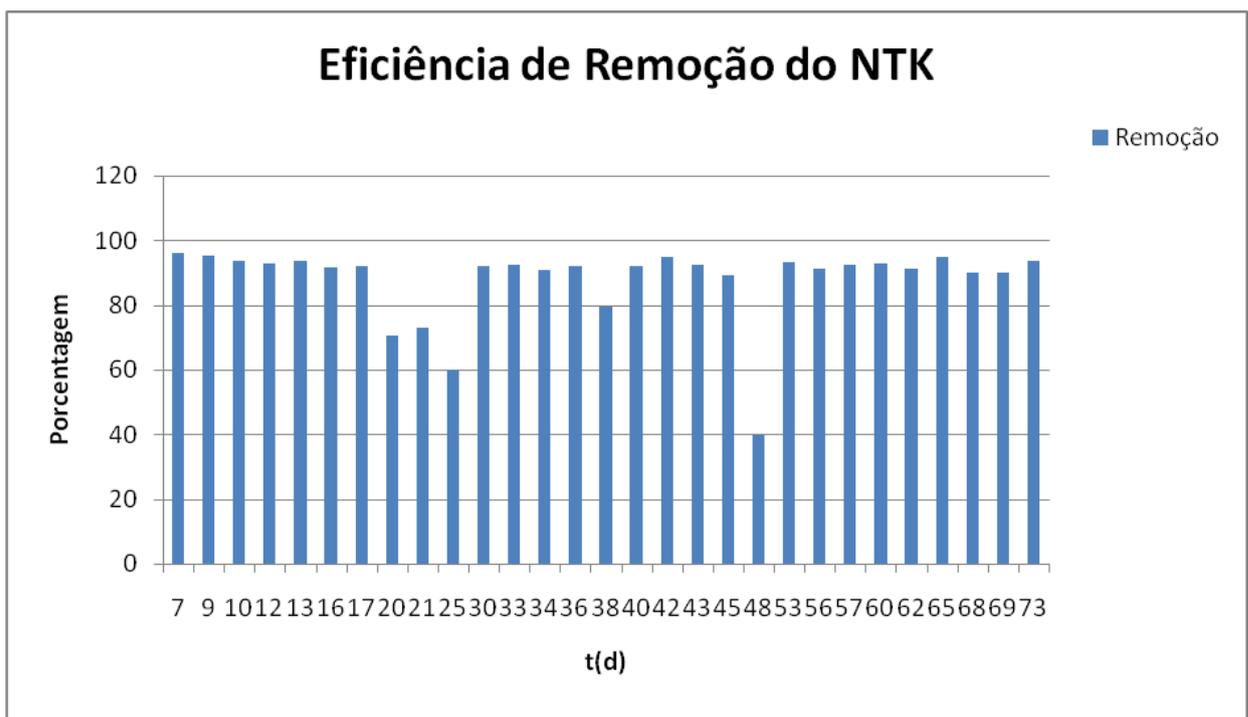
Os valores máximos e mínimos da concentração de NTK, foram respectivamente  $184 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $43 \text{ mg.L}^{-1}$  para o substrato. Já para o efluente tratado, os valores encontrados foram  $40 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2,37 \text{ mg.L}^{-1}$ . Pode-se observar que na saída, cinco pontos nitidamente não estão em acordo com a tendência apresentada pelas demais análises e, portanto, foram excluídos do cálculo da média por inferirem erros nos resultados e ocultarem os verdadeiros resultados da análise, como havia sido explanado anteriormente no item 4.2.1. Os motivos que levaram aos pontos serem excluídos do cálculo da média serão descritos a seguir:

- “ Nos 20, 21 e 25<sup>o</sup> dias, as análises de nitrogênio foram comprometidas devido ao desprendimento do lodo em excesso nos discos. Os valores na ordem respectiva aos dias foram de 34, 30 e  $40 \text{ mg.L}^{-1}$ , portanto, correspondem ao período que antecede a primeira remoção de lodo do reator e deste modo, refletem no resultado da análise de nitrogênio.
- “ No 38<sup>o</sup> dia, ocorreu uma sobrecarga na alimentação ao qual o sistema estava adaptado, refletindo diretamente no resultado. A entrada de  $184 \text{ mg.L}^{-1}$  e a saída de  $38 \text{ mg.L}^{-1}$  colaboram para as questões levantadas

no item 4.2.2.4, onde o sistema ao receber uma carga extra de determinado parâmetro, não está apto suficientemente a tal choque.

- “ No 48º dia, a análise de nitrogênio foi comprometida devido ao excesso de lodo no sistema, como aconteceu anteriormente. Este dia antecede a segunda remoção do lodo em excesso.

Por estas razões, optou-se por retirar estes dados do cálculo da média. A média obtida para a saída do efluente nos demais vinte e quatro pontos foi de 5,23 mg.L<sup>-1</sup>, demonstrando assim uma excelente remoção de nitrogênio, já que a média da entrada do nitrogênio foi de 79 mgL<sup>-1</sup>. Retirando-se os pontos conflitantes dos gráficos, pode-se perceber uma estabilidade nas análises da saída do nitrogênio efetuadas. Isto pode ser confirmado através da figura 23 no gráfico de remoção de NTK.



**Figura 23** . Eficiência de remoção de nitrogênio no período analítico.

Para o sistema, a eficiência máxima no 7º dia, com remoção de 96,26% de NTK do efluente industrial. Esta alta remoção inicial se deve ao fato da baixa concentração de nitrogênio apresentada no início das análises, porém está muito próxima da média de 92,02% obtida. Ainda, como pode-se ver no gráfico, as remoções correspondentes ao 20, 21, 25 e 48º dias correspondem ao período de retirada do excesso de lodo. No 38º dia, mesmo com a sobrecarga do sistema, foi

obtida uma remoção de 79,5%, que pode ser considerada efetiva, devido ao carregamento hidráulico.

A carga superficial removida foi de  $8,35 \text{ g Nd}^{-1}\text{m}^{-2}$ . Em comparação com os estudos feitos por Philips (2008), este obteve uma eficiência na nitrificação de em torno de  $5 \text{ g N oxidado.d}^{-1}\text{m}^{-2}$  e uma remoção se 29% do N.

Já Pinaert et al. (2002) obtiveram uma remoção de 84% de nitrogênio para uma carga de  $2300 \text{ mg de N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$ .

Neste estudo acredita-se que a alta remoção de nitrogênio apresentada se deve principalmente ao processo de crescimento biológico associada a nitrificação, pois se nota nas figuras 22 e 23 a interferência do lodo em relação aos resultados obtidos. Nos dias que antecediam a remoção do lodo, ocorria um grande aumento da concentração de nitrogênio presente nas amostras.

Outro fator de relevância, é que a configuração dos discos pode ter auxiliado na remoção do nitrogênio. Os primeiros discos, teoricamente, eram responsáveis pela remoção de grande parte da matéria orgânica presente na alimentação junto de parcela do nitrogênio, enquanto os últimos discos ficaram especializados em realizar a nitrificação. Esta simples adição de uma tela, pode ter contribuído significativamente no que se refere aos resultados obtidos, pois promove maior aderência do substrato ao disco e aumenta a espessura do biofilme.

#### 4.2.2 Parâmetros de Controle Operacional

##### 4.2.2.1 Temperatura

A Tabela 12 apresenta as principais estatísticas básicas em relação a temperatura.

A variação temporal da temperatura do experimento pode ser observada através da figura 24. Através desta observa-se um pico máximo de temperatura de  $32,2^\circ\text{C}$  correspondente ao nono dia de um valor mínimo de  $15,7^\circ$  correspondente 69º dia. Isto ocorre devido a temperatura estar decaindo conforme a mudança de estação, passando de temperaturas mais quentes, para temperaturas mais frias.

Tabela 12 . Estatísticas descritivas e cálculos da temperatura

| Parâmetro | Estatística   | Resultados  |
|-----------|---------------|-------------|
|           |               | Reator      |
| T(°C)     | <b>Básica</b> |             |
|           | Nº de dados   | 29          |
|           | Máximo        | 32,2        |
|           | <b>Média</b>  | <b>23,7</b> |
|           | Mínimo        | 15,7        |
|           | Desvio padrão | 4,91        |

Mesmo assim, o sistema não obteve grandes variações de um período para o outro, pois o reator encontra-se em ambiente fechado, mas acompanha o decaimento de temperatura durante a passagem do período verão/inverno.

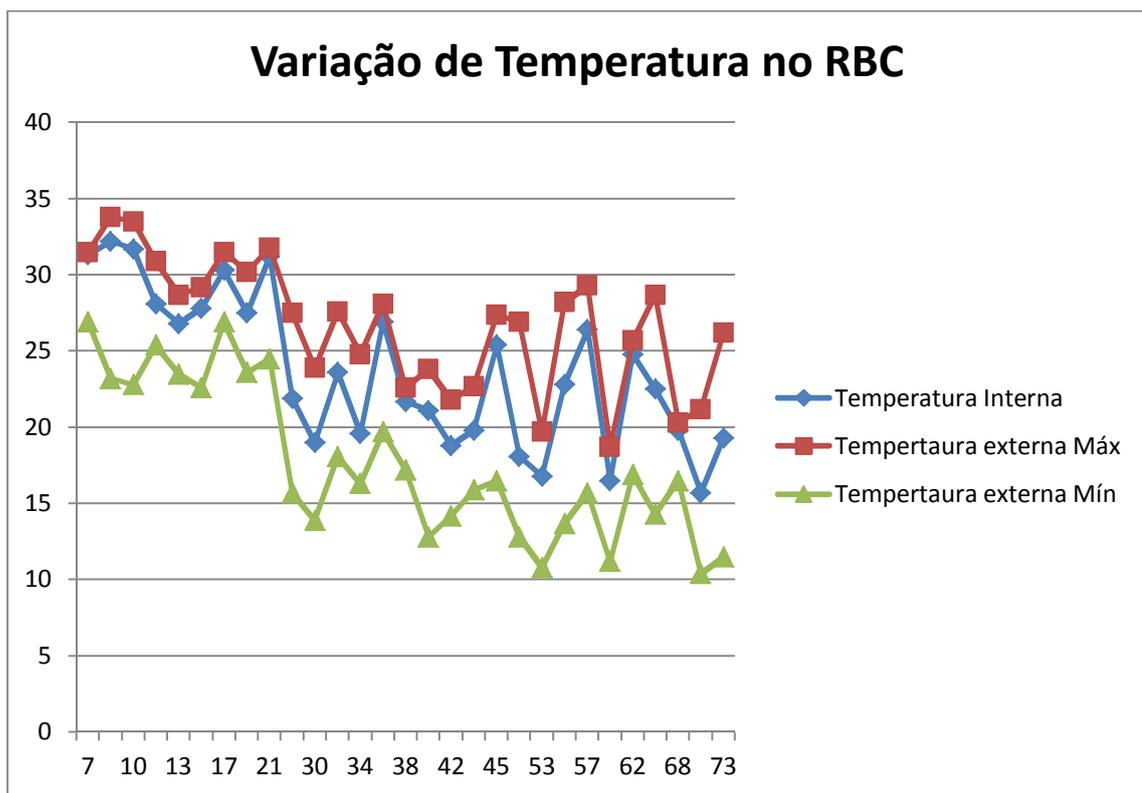
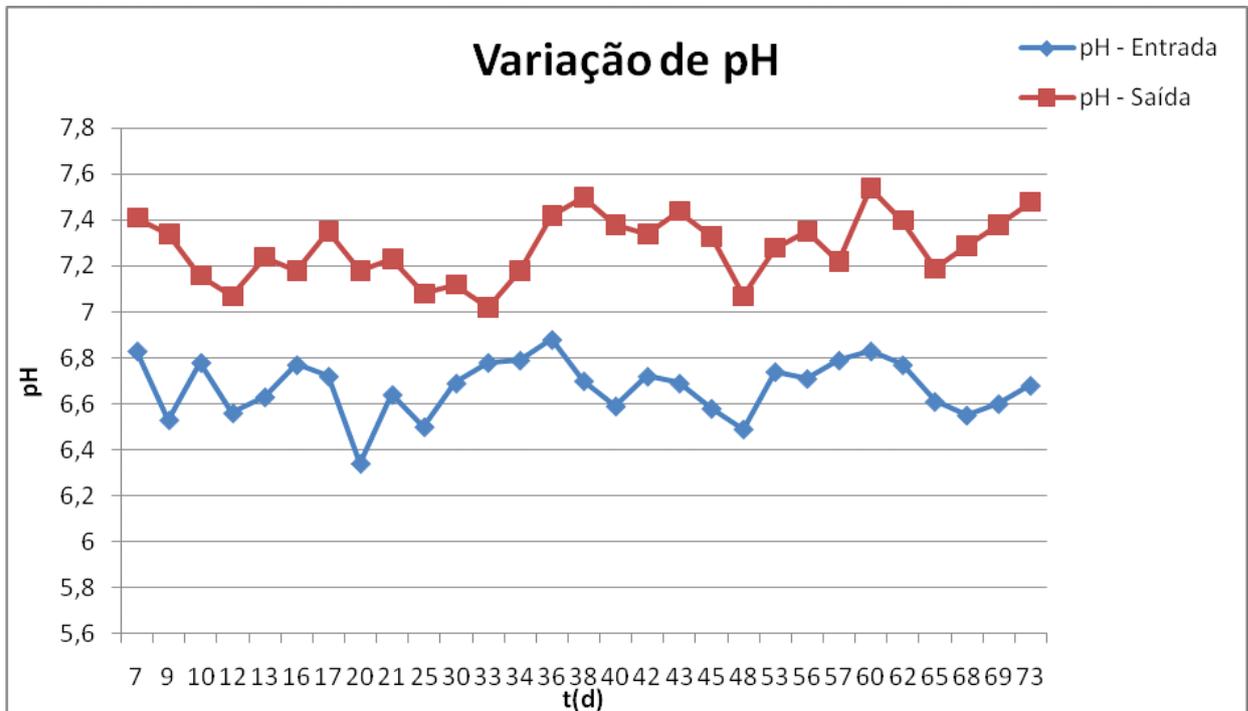


Figura 24 . Variação de temperatura no reator RBC.

#### 4.2.2.2 pH

A variação do pH de entrada e saída do efluente durante o experimento está apresentada na figura 25. O valor mínimo de pH do substrato foi de 6,34, enquanto

que o valor máximo medido foi de 6,88. Para o efluente tratado, o pH variou de 7,02 a 7,54. Conforme pode ser visto na figura 25, ocorreram pequenas variações de pH durante o período experimental, tanto do substrato como do efluente tratado.



**Figura 25** . Variação do pH do substrato e efluente tratado.

Os resultados dos testes para pH, tanto na alimentação como na saída do reator, indicam que o sistema operou nas faixas diferentes das consideradas ótimas de pH para sistemas aeróbios nitrificantes, porém numa faixa que não ocorre inibição.

As análises de pH do gráfico indicam que a alcalinidade do sistema foi adequada e crescente, mostrando que o sistema estava adaptando-se ao processo de nitrificação. Os declives do gráfico eram em sua maioria devido ao excesso de lodo presente nos dia em análise.

#### 4.2.2.3 Excesso de lodo formado

Como foi discutido anteriormente, quatro análises foram afetadas pela formação e desprendimento de lodo do RBC. Isto é um processo comum, já que as forças de cisalhamento atuam diretamente sobre o lodo aderido junto aos discos.

A figura 26, mostra este excesso de lodo em comparação com um dia normal de análise.



(a)

(b)

**Figura 26** - Comparativo entre uma data de remoção de lodo e uma data normal de análise.  
a) Análise sem excesso de lodo. b) Análise com excesso de lodo.

Como pode se ver claramente na figura 26b, o lodo que se encontrava na amostra coletada inferia erros posteriores nas análises, por este motivo se realizou duas limpezas do reator para a remoção deste excedente.

A figura 27 apresenta um dia comum de análise para uma amostra. Nota-se a clarificação obtida e a ausência de lodo em um período normal de análise.



**Figura 27** É Amostra coletada para posterior análise.

Através destas simples análises, ficou clara a necessidade de realizar, quando necessário, a remoção do excedente de lodo produzido pelo reator.

## 5 CONCLUSÃO

O design proposto para os discos e o reator, auxiliou nos processos de crescimento biológico, nitrificação e remoção de carga orgânica, pois aumentou a aderência e facilitou assim a realização destes processos.

O reator mesmo sendo de um único estágio, obteve resultados satisfatórios ao se comparar com a literatura, pois ao mesmo tempo em que removia a carga orgânica nos primeiros discos, ocorria o processo de nitrificação nos últimos.

Na remoção da carga orgânica, o sistema obteve para a DBO uma eficiência global de remoção de 84,46% e para o cálculo da carga, foi obtida uma remoção de 1,64 g DBO.m<sup>-2</sup>, não tornando-se um fator limitante a nitrificação, o que de fato aconteceu perante os resultados obtidos para o nitrogênio.

Já para a remoção de DQO, foi obtida uma remoção global de 88,3%, para um TRH de 4 h e carregamento superficial de 124 g DQO.d<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. Comparando-se com a literatura, esta remoção foi maior que as encontradas de 82% (HIRAS et al. 2004) e 86% em (TAWFIK et al. 2006).

Na remoção de nutrientes, o sistema obteve um rendimento de 92,02% e uma carga superficial removida de 8,35 g N.d<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> para o nitrogênio, maior que nos estudos de Hiras et al. (2004) e Pinaert et al. (2002) que obtiveram, respectivamente, 52% e 84%. Para as análises de fósforo total, a eficiência média de remoção obtida foi de 75,66% e a remoção superficial é de 1,5 g P.d<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.

O RBC de escala piloto conseguiu tratar de forma eficiente um efluente real (com alta variabilidade nas cargas de alimentação) de forma a obter resultados satisfatórios na remoção da carga orgânica e nutrientes, conseguindo bons índices de rendimento neste caso.

## 6 SUGESTÕES

- Construir e operar um RBC anaeróbio em paralelo com o aeróbio.
- Comparar os resultados obtidos em cada um dos reatores.
- Operar ambos os reatores em sequência, para evidenciar alguma melhoria nos processos de redução de carga e micronutrientes.
- Verificar a desnitrificação do processo e comparar os resultados para evidenciar alguma melhoria nos processos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT<sup>1</sup>. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos** **É NBR 10004** . Rio de Janeiro, 2004.

ABNT<sup>2</sup>. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Poluição do ar** **É NBR 8969** . Rio de Janeiro, 1965.

ABNT<sup>3</sup>. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Efluentes Líquidos** **É NBR 9800** . Rio de Janeiro, 1967.

ABNT<sup>4</sup>. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aterros Sanitários** **É NBR 10157** . Rio de Janeiro, 1987.

ABNT<sup>5</sup>. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Operação e manutenção de aterros** **É NB 842** . Rio de Janeiro, 1983.

AGRA, C. A. **Tratamento de Águas Residuárias Domésticas em Reatores de Biomassa Dispersa e Biomassa Aderida**. Campina Grande, 2009.

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, Washington, DC, 19th. Ed, 1995.

BRAILE, .P.M.; CAVALCANTI, J.E. **Manual de tratamentos de águas residuárias industriais**. 18 ed. São Paulo: CETESB, 1993, p.155-174.

BRASIL<sup>1</sup>. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução 357. **Publicada no DOU no 53**, de 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58-63

BRASIL<sup>2</sup>. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução 397. Publicada no DOU** , de 3 de abril de 2008.

BRASIL<sup>3</sup>. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Diário oficial da União (DOU)**, 2010.

CETESB. **Frigoríficos e industrialização de carne bovina e suína**. Guia Técnico ambiental de frigoríficos e carnes . Série P+L, 2006.

CORTEZ, S.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, R. MOTA, M. Rotating biological contactors: a review on main factors affecting performance. **Rev. Environmental Science Biotechnology**, 2008.

ECKENFELDER, W. W. **Industrial water pollution control**. Ed. McGRAW HILL international editions, 2ed. 1989.

EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, **DIRECTIVE 2000/76/EC. incineration of waste**, 2000.

FERREIRA, E. S. Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica. **XXVII Congresso interamericano de engenharia sanitária e ambiental**, 2000.

FRIED, J.; LEMMER, H. On the dynamics and function of ciliates in sequencing batch biofilm reactors. **Water Science & Technology**, v.47, n.5, p.189-196, 2003.

GALVAN, A.; URBINA, P.; de CASTRO, F. Characterization of filamentous microorganisms in rotating biological contactor biofilms of wastewater treatment plants. **Bioprocess Eng**, 2000.

HOKKA, C. O. **Estudo cinético de tratamento de águas residuárias de abatedouro avícola por processo de lodo ativado**. UNICAMP, 1984.

HENZE , M; GRADY, C.P.L; GUJER W.; MATSUO, T.; MARAIS, G.V.R. **Activated Sludge Model no 1** , Scientific and technical report no 1 , IAWPRC, 1987.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. ED. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 3ed 1995.

KAWANO, M. **Desenvolvimento, validação e aplicação de um modelo matemático para dispersão de poluentes atmosféricos**. Florianópolis, 2003.

LEITE, D. C. **Remoção conjunta de carbono e nitrogênio de dejetos de suínos pelo processo de nitrificação e desnitrificação**. Florianópolis, 2007.

MAPA<sup>1</sup>. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Normativa nº3**, 1995.

MAPA<sup>2</sup>. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Portaria 711**, 1995.

MAPA<sup>3</sup>. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Portaria 210**, 1998.

MAPA<sup>4</sup>. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. (RIISPOA)**, 1952.

MATHURE P, PATWARDHAN A.W. Comparison of mass transfer efficiency in horizontal rotating packed beds and rotating biological contactors. **J. Chem. Technol. Biotechnol.**, 2005.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse**. Ed. McGRAW HILL international editions, 4ed. 2003.

NOWAK, O. Upgrading of wastewater treatment plants equipped with rotating biological contactors to nitrification and P removal. **Water Sci Technol**, 2000.

OLIVEIRA, R. Consumo mundial de carnes. **Revista Graxaria Brasileira**, 2012.

PETRIC , V. SELIMBASC, B. Development and validation of mathematical model for aerobic composting process. **Chemical Engineering Journal** 139, pg 304-317. Elsevier, 2007.

PHILIPS, A. M. **Utilização de reator de biodisco para tratamento de efluente com alta carga de nitrogênio**. Florianópolis, 2008.

RAMALHO, R. S., **Introduction to wastewater treatment process**. 2ed. USA Academic Press, 1983.

ROÇA, R. O. **Composição química da carne**. UNESP, 2012.

ROHRICH, S. S.; CUNHA, J. C. A proposição de uma taxonomia para análise da gestão ambiental no Brasil. **Rev. adm. contemp.** vol.8 no.4 Curitiba Oct./Dec. 2004

SCHMIDT, I.; SLIEKERS, O.; SCHMID, M.; BOCK, E.; FUERST, J.; KUENEN, J.; JETTEN, M.; STROUS, M. New Concepts of Microbial Treatment Process for the Nitrogen Removal in Wastewater. **FEMS Microbiology Reviews**, n.772, pp 1 - 12, 2003.

SPERANDIO, S. A. Gestão Sócio-ambiental em Empresas. **In Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.** v. 2. n. 1. jan./abr. 2009. . p. 21-22.

SPERLING, M. V. von. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Em: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, 2ed., 1995.

TEIXEIRA, R. M. **Remoção de nitrogênio de efluentes da indústria frigorífica através da aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em biorreatores utilizados em um sistema de tratamento de efluentes**. Florianópolis, 2006.

## **APÊNDICES**

---

### Apêndice 1 É Dados referentes a remoção.

| Análise | Dias | DQO   | Fósforo | NTK   | DBO <sub>5</sub> |
|---------|------|-------|---------|-------|------------------|
| 1       | 7    | 83,08 | 60,1    | 96,26 | 82,69            |
| 2       | 9    | 84,13 | 73,08   | 95,08 | 79,14            |
| 3       | 10   | 85,3  | 77,93   | 93,81 | 84,41            |
| 4       | 12   | 91,89 | 76,67   | 92,75 | 87,33            |
| 5       | 13   | 97,66 | 71,03   | 93,51 | 89,97            |
| 6       | 16   | 84,58 | 78,23   | 91,71 | 80,97            |
| 7       | 17   | 88,1  | 78,26   | 92,14 | 77,98            |
| 8       | 20   | 82,79 | 79,04   | 70,48 | 82,18            |
| 9       | 21   | 77,51 | 68,16   | 73,05 | 71,52            |
| 10      | 25   | 75,85 | 60,01   | 59,87 | 76,16            |
| 11      | 30   | 91,19 | 75,32   | 92,08 | 92,36            |
| 12      | 33   | 87,77 | 92,03   | 92,29 | 85,97            |
| 13      | 34   | 92,59 | 76,08   | 90,8  | 85,9             |
| 14      | 36   | 91,88 | 77,87   | 91,9  | 87,12            |
| 15      | 38   | 91,29 | 84,39   | 79,48 | 83,39            |
| 16      | 40   | 87,07 | 74,84   | 92,19 | 81,75            |
| 17      | 42   | 93,06 | 87,03   | 95,02 | 86,21            |
| 18      | 43   | 91,73 | 78,71   | 92,47 | 85,43            |
| 19      | 45   | 85,16 | 71,81   | 89,14 | 79,32            |
| 20      | 48   | 80,62 | 67,64   | 39,9  | 77,3             |
| 21      | 53   | 91,24 | 78,6    | 93,13 | 80,02            |
| 22      | 56   | 91,66 | 71,96   | 91,4  | 88,93            |
| 23      | 57   | 88,95 | 76,5    | 92,36 | 85,8             |
| 24      | 60   | 90,63 | 72,53   | 92,93 | 85,9             |
| 25      | 62   | 90,57 | 77,37   | 91,4  | 78,69            |
| 26      | 65   | 90,35 | 71,93   | 94,84 | 81,48            |
| 27      | 68   | 89,39 | 78,29   | 89,98 | 85,88            |
| 28      | 69   | 92,1  | 78,17   | 90,07 | 89               |
| 29      | 73   | 92,51 | 80,46   | 93,72 | 85,78            |

**Apêndice 2 É Quadro 1****Quadro 1 .** Tempo decorrido após o início da operação do RBC

| Análise | Dia em que se realizou a análise após o início da operação do reator |
|---------|--|
| 1       | 7  |
| 2       | 9  |
| 3       | 10   |
| 4       | 12   |
| 5       | 13   |
| 6       | 16   |
| 7       | 17   |
| 8       | 20   |
| 9       | 21   |
| 10      | 25   |
| 11      | 30   |
| 12      | 33   |
| 13      | 34   |
| 14      | 36   |
| 15      | 38   |
| 16      | 40   |
| 17      | 42   |
| 18      | 43   |
| 19      | 45   |
| 20      | 48   |
| 21      | 53   |
| 22      | 56   |
| 23      | 57   |
| 24      | 60   |
| 25      | 62   |
| 26      | 65   |
| 27      | 68   |
| 28      | 69   |
| 29      | 73   |

