



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE**  
**ENGENHARIA CIVIL - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO - MESTRADO E**  
**DOCTORADO - ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM TECNOLOGIA**  
**AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

# **TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES GERADOS EM MATADOUROS DE BOVINOS**



**VALMIR CRISTIANO MARQUES DE ARRUDA**

**RECIFE - PE**  
**JUNHO 2004**

# **TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES GERADOS EM MATADOUROS DE BOVINOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de Concentração:** Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

**Orientador:** Mario Takayuki Kato.

Recife, 01 de junho  
Departamento de Engenharia Civil da UFPE  
2004

**A779t**

**Arruda, Valmir Cristiano Marques de**

Tratamento anaeróbio de efluentes gerados em matadouros de bovinos / Valmir Cristiano Marques de Arruda; Orientador: Mario Takayuki Kato. – Recife : O Autor , 2004.  
ix, 128 p. : il. ; fig., tab. gráficos

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2004.

Inclui bibliografia e anexo.

1. Bioreatores- Reator UASB - EGSB. 2. Tratamento anaeróbio - Matadouro de bovinos 3. Engenharia sanitária I.  
Título.

628.16 CDD (21.ed.)

UFPE  
**BCTG/2004-38**

# TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES GERADOS EM MATADOUROS DE BOVINOS

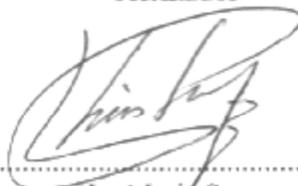
por

Valmir Cristiano Marques de Arruda

Dissertação defendida e aprovada em 01 de junho de 2004 pela banca  
examinadora constituída pelos professores doutores abaixo assinados:



Mario Takayuki Kato  
Orientador



José Luis Sanz  
Examinador



Luiz Olinto Monteggia  
Examinador



Maria de Lourdes Florencio dos Santos  
Examinadora

Recife, 01 de junho de 2004

## Dar e Receber

Desde o momento em que o homem nasce neste mundo, são-lhe asseguradas duas felicidades: a felicidade de dar e a de receber.

Essas duas felicidades são como as rodas de um veículo: sozinhas não conseguem se movimentar.

Se não existissem pessoas para receber, não poderíamos desfrutar a alegria de dar.

Se não existissem pessoas dadas, que nos beneficiam, não conseguiríamos desfrutar a alegria de receber.

Por isso, quem dá deve agradecer a quem recebe, e quem recebe deve agradecer aquele que dá, porque, para Deus, a pessoa que dá e a pessoa que recebe são, desde o princípio, uma única vida.

Do livro *Viver junto com Deus – A verdade em 365 preceitos*, pp. 97-98.

## AGRADECIMENTOS

---

Primeiramente a DEUS, pelo conforto e paz concedidos durante os momentos em que o recorri.

As minhas queridas mãe e irmã, Maria do Socorro Marques de Siqueira e Vânia Cristina Marques de Arruda, pelo valioso exemplo de obstinação pela vida e amor familiar.

Com amor a Rosângela Gomes Tavares, pelo companheirismo, dedicação, amizade e apoio em todos os momentos de nossa convivência harmoniosa.

À meu pai Albertino Juventino de Arruda pelo apoio, à Jardecira de Lima Luckwu pelos momentos de alegria e a constante preocupação com meu bem-estar.

Especialmente ao Prof.<sup>o</sup> Mario Takayuki Kato, pela oportunidade de trabalhar com ele e pelo grande exemplo de dedicação e sabedoria.

Ao grande amigo, André Felipe de Melo Sales Santos pelo exemplo de intelectualidade e extrema inteligência, dedicação, companheirismo, e comportamento resolutivo. À inigualável amiga Maria Clara Mavia de Mendonça, pessoa dedicada que tanto contribuiu e apoiou nos grandes momentos de decisões.

A todos os colegas e amigos: André Luiz Pereira da Silva, Denise de Oliveira Cysneiros, Éster Oliveira Santos, Flávio José D`castro, José Armando de Torres Moreno, Gilvanildo de Oliveira, Lucíola Peres, Kátia Cristina G. Guimarães, Kenia Kelly Barros, Maria da Penha Stanford, Marília Lyra, Mauro Floriano de S. Cartaxo, Petronildo Bezerra da Silva, Ronaldo Faustino da Silva, Vicente de Paula e em especial à Ana Maria Bastos Silva e Maria Aparecida Guilherme da Rocha pela amizade e boa vontade em ensinar e ajudar, dando assim todo o apoio técnico necessário para a conclusão desse trabalho.

Aos engenheiros Aubeci Davi dos Reis, Antônio Carlos Galdino da Silva Sobrinho, Nilson Pereira de Freitas Filho e Carlúcio Magno Holanda Macedo, pela ajuda no desenvolvimento de alguns trabalhos e os bons momentos de descontração.

Ao senhor Arlindo Campelo de Oliveira “seu Arlindo”, pela extrema simplicidade e voluntariedade no desenvolvimento das atividades rotineiras na estação piloto.

À Coordenação do Mestrado em Engenharia Civil pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

À Ronaldo Melo Fonseca, técnico do Laboratório de Saneamento Ambiental pelo bom humor, amizade e competência técnica, qualidades sempre presentes, durante toda a parte experimental dessa dissertação.

Aos bolsista que de alguma forma contribuíram durante as atividade no laboratório em especial a Airton Maciel e Fabiana Rocha.

Suzana Pedroza da Silva e Diogo Sebastião Santana, pela grande contribuição científica prestada.

Aos demais professores que compõem o grupo de pós-graduação em engenharia civil. Aos dedicados funcionários do Departamento de Engenharia Civil em especial a Laudénice Bezerra pela ajuda em várias ocasiões.

Ao CNPq pela bolsa de auxílio concedida (CT-Hidro), sem a qual a realização desse trabalho não seria possível.

À empresa Maranhão comércio de carnes LTDA, em nome de Cláudio Zaidan, pela acessibilidade e concessão para a realização desse trabalho.

À CPRH através de Gilson Lima da Silva, Maria das Graças Cruz Mota e Carlos Eduardo Xavier, pela extrema atenção e esclarecimentos iniciais prestados.

À Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, pelas informações valiosas, necessárias para a compreensão desse trabalho.

Às valorosas funcionárias da Biblioteca do CTG, Lindalva Pereira de Lima, Maria da Conceição Vieira da Silva e Rosa Maria Gomes, pela atenção e dedicação.

A toda minha família e as pessoas que de alguma forma contribuíram ou participaram dessa longa caminhada.

# SUMÁRIO

---

	Página
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	i
<b>LISTA DE TABELAS</b>	v
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS</b>	vii
<b>RESUMO</b>	viii
<b>ABSTRACT</b>	ix

---

## CAPÍTULO 1.0

---

### INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação do tema da dissertação	1
1.2 - Objetivos	3
1.2.1 - Objetivo Geral	3
1.2.2 - Objetivos Específicos	3
1.3 - Organização da dissertação	4

---

## CAPÍTULO 2.0

---

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - A bovinocultura industrial	5
2.1.1 - A origem das raças	5
2.1.2 - A bovinocultura brasileira	6
2.1.3 - Bovinos de corte	7
2.1.4 - Origem do Zebú	13
2.1.5 - O panorama da bovinocultura nacional	14
2.1.5.1- Balança comercial do setor	16
2.1.5.2 - Segmento de abate e industrialização	18
2.1.6 - A bovinocultura em Pernambuco	18
2.2 - Matadouros	19
2.2.1 - Definição	19
2.2.2 - Ocorrência no Estado	20
2.3 - Descrição do processo e operações industriais	20
2.3.1 - Descarga e inspeção nos currais	21

2.3.2 - Banho	22
2.3.3 - Insensibilização e içagem	23
2.3.4 - Sangria	24
2.3.5 - Esfolia	25
2.3.6 - Evisceração	26
2.3.7 - Manipulação das vísceras	26
2.3.8 - Lavagem e inspeção	27
2.3.9 - Graxaria	28
2.3.10 - Refrigeração e transporte	28
2.4 - Aproveitamento de subprodutos	31
2.5 - Despejos	35
2.6 - Impactos	37
2.7 - Tratamentos de águas residuárias de matadouros	38
2.7.1 - Tratamento anaeróbio	39
2.7.1.1 - Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB)	41
2.7.1.2 - Critérios e parâmetros de projeto de reatores UASB	44
2.8 - Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios	44
2.8.1 - Pós-tratamento em reator com biofilme (EGSB)	45

## **CAPÍTULO 3.0**

---

### **METODOLOGIA**

3.1 - Generalidades	47
3.2 - Levantamento dos matadouros na Região Metropolitana do Recife (RMR)	47
3.3 - Amostragem no matadouro municipal de Jaboatão dos Guararapes	48
3.3.1 - Geração e destinação dos resíduos	48
3.3.2 - Descrição do sistema de tratamento existente	49
3.3.3 - Coleta de amostras	54
3.3.4 - Caracterizações	55
3.4 - Estação Piloto	55
3.4.1 - Partida e operação do sistema de tratamento	58
3.4.2 - Partida e operação do sistema de pós-tratamento	60
3.4.3 - Coletas e procedimentos analíticos	62
3.5 - Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente	63

3.5.1- Atividade metanogênica específica (AME)	63
3.5.2- Biodegradabilidade anaeróbia	65

## **CAPÍTULO 4.0**

---

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

4.1 - Matadouros da Região Metropolitana do Recife (RMR)	68
4.2 - Caracterização dos efluentes do matadouro de Jaboatão dos Guararapes	79
4.3 - Monitoramento da Estação Piloto	85
4.3.1 - Pré-tratamento	85
4.3.2 - Etapa biológica	86
4.3.3 - Pós-tratamento	105
4.4 - Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente	109
4.4.1 - Atividade metanogênica	109
4.4.2 - Biodegradabilidade anaeróbia	112

## **CAPÍTULO 5.0**

---

### **CONCLUSÕES GERAIS**

5.1 - Matadouros da Região Metropolitana do Recife (RMR)	115
5.2 - Caracterização dos efluentes do matadouro de Jaboatão dos Guararapes	116
5.3 - Monitoramento da estação piloto	117
5.3.1 - Pré-tratamento	117
5.3.2 - Etapa biológica	117
5.3.3 - Pós-tratamento	118
5.4 - Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente	118
5.4.1 - Atividade metanogênica	118
5.4.2. Biodegradabilidade anaeróbia	119

## **CAPÍTULO 6.0**

---

<b>SUGESTÕES</b>	120
------------------	-----

## **CAPÍTULO 7.0**

---

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	121
-----------------------------------	-----

## **CAPÍTULO 8.0**

---

<b>APÊNDICE</b>	126
-----------------	-----



## LISTA DE FIGURAS

---

	Página
Figura 2.1 - Raça Gir.	8
Figura 2.2 - Raça Guzerá.	9
Figura 2.3 - Raça Indubrasil.	10
Figura 2.4 - Raça Nelore.	11
Figura 2.5 - Raça Tabapuã.	12
Figura 2.6 - Raça Bubalina.	13
Figura 2.7 - Principal característica do Zebú.	14
Figura 2.8 - Percentual de efetivos da pecuária no Brasil em 1990.	16
Figura 2.9 - Desembarque dos animais.	21
Figura 2.10 - Currais de chegada e seleção.	22
Figura 2.11 - Banheiro de aspersão.	22
Figura 2.12 - Boxe de atordoamento.	24
Figura 2.13 - Içagem.	24
Figura 2.14 - Sangria.	25
Figura 2.15 - Serragem dos Chifres.	25
Figura 2.16 - Retirada do couro.	25
Figura 2.17 - Extração das vísceras torácicas.	26
Figura 2.18 - Manipulação das vísceras.	27
Figura 2.19 - Serragem da carcaça.	27
Figura 2.20 - Digestores para resíduo grosseiro.	29
Figura 2.21 - Compartimento de carga do caminhão.	29
Figura 2.22 - Fluxograma de processamento de bovinos em matadouros.	30
Figura 2.23 - Manipulação do couro.	32
Figura 2.24 - Vísceras não comestíveis.	32
Figura 2.25 - Graxaria.	32
Figura 2.26 - Farinha de carne e osso.	32
Figura 2.27 - Gordura extraída.	33
Figura 2.28 - Esterco.	33
Figura 2.29 - Despejo.	35
Figura 2.30 - Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios.	42

Figura 2.31 -	Desenho esquemático de um reator UASB.	43
Figura 3.1 -	Layout da área do sistema de tratamento de efluentes, indicando as unidades de tratamento e os pontos de coletas utilizados para a caracterização e o monitoramento.	50
Figura 3.2 -	Vista da estação de tratamento de efluentes do matadouro de Jaboaão dos Guararapes.	51
Figura 3.3 -	Caixa de areia e ponto de coleta P2.	51
Figura 3.4 -	Sistema de gradeamento e ponto de coleta P3.	51
Figura 3.5 -	Descarte inadequado de material retirado da caixa de areia.	52
Figura 3.6 -	Primeira lagoa com material flotante, formando uma espessa e densa camada em sua superfície, a segunda lagoa ao fundo seguida da terceira lagoa desativada.	53
Figura 3.7 -	Detalhe da saída de efluente tratado da segunda lagoa anaeróbia, ponto P4 e da caixa de recebimento com efluente percolando ao lado.	53
Figura 3.8 -	Riacho Suassuna afluente do rio Jaboaão.	54
Figura 3.9 -	Peneira estática para a remoção de sólidos suspensos do afluente do reator UASB (A), e detalhe da peneira em operação (B).	56
Figura 3.10 -	Desenho esquemático do reator UASB em escala piloto utilizado na pesquisa.	57
Figura 3.11 -	Sistema de tratamento e pós-tratamento de efluente de matadouro. Reator UASB (A) e reator EGSB (B).	58
Figura 3.12 -	Configuração do sistema de medição de gás, alimentação e recirculação de efluente do reator UASB.	60
Figura 3.13 -	Configuração do sistema de tratamento e pós-tratamento de efluente de matadouro durante a quinta fase (V).	61
Figura 3.14 -	Montagem do aparato experimental do teste de AME e BIO 1.	65
Figura 3.15 -	Equipamento utilizado para o teste de biodegradabilidade anaeróbia (BIO 2).	66
Figura 3.16 -	Esquema de funcionamento do reator utilizado no teste de biodegradabilidade (BIO 2).	67
Figura 4.1 -	Condições impróprias de trabalho (matadouro de Ipojuca).	70
Figura 4.2 -	Presença de crianças trabalhando (matadouro Ipojuca).	70

Figura 4.3 -	Captação de água do riacho Suassuna (matadouro de Jaboaão dos Guararapes).	71
Figura 4.4 -	Estação de tratamento de água desativada (matadouro de Jaboaão dos Guararapes).	72
Figura 4.5 -	Dispositivo simplificado de retenção de sólidos e material flotante danificado (matadouro de São Lourenço).	73
Figura 4.6 -	Vala de coleta e destinação de efluente da sala de manipulação de vísceras diretamente para o rio Ipojuca (matadouro de Ipojuca).	73
Figura 4.7 -	Dispositivo para retenção de sólidos e materiais flotantes (matadouro de Paulista).	73
Figura 4.8 -	Dispositivo de retenção de sólidos e materiais flutuantes (matadouro de Iguarassu).	74
Figura 4.9 -	Lagoa de estabilização (matadouro de Jaboaão dos Guararapes)	74
Figura 4.10 -	Equipamento para beneficiamento de sangue (matadouro de São Lourenço).	76
Figura 4.11 -	Descarte de vísceras e esterco a céu aberto na área do matadouro de Ipojuca.	77
Figura 4.12 -	Descarte a céu aberto de ossos e chifres próximo ao setor industrial do matadouro de Jaboaão dos Guararapes.	77
Figura 4.13 -	Presença constante de urubus em locais de descarte de resíduos.	78
Figura 4.14 -	Pessoas coletando restos de vísceras e pelancas no efluente do matadouro de Jaboaão dos Guararapes.	78
Figura 4.15 -	Comportamento da temperatura (A), e do pH (B) nos pontos de coleta.	80
Figura 4.16 -	Principais parâmetros da caracterização realizada nos pontos de coleta: DQO e DBO (A), série de sólidos totais (B) e série de sólidos suspensos (C).	81
Figura 4.17 -	Principais parâmetros destacados nas caracterizações realizadas para o ponto P3: DQO e DBO (A), série de sólidos totais (B) e série de sólidos suspensos (C).	84
Figura 4.18 -	Parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação. Temperatura (A), pH (B) , cor (C) e turbidez (D). Afluente (azul) e efluente (rosa).	88

Figura 4.19 -	Aspecto do resíduo na entrada e saída do reator UASB, durante a segunda fase (A) e a quinta fase (B).	90
Figura 4.20 -	Parâmetros de monitoramento do reator UASB durante as fases de operação. DQO bruta (A), DQO filtrada (B), alcalinidade (C) e AGV (D). Afluente (azul) e efluente (rosa).	91
Figura 4.21 -	Parâmetros de monitoramento do reator UASB durante as fases de operação. Carga orgânica volumétrica (A), carga orgânica aplicada ao lodo (B), velocidade ascensional (C) e tempo de detenção hidráulica (D).	94
Figura 4.22 -	Correlações dos principais parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação. Eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada (A), eficiência de remoção de DQO bruta e velocidade ascensional (B), e eficiência de remoção de DQO bruta e carga orgânica volumétrica (C).	98
Figura 4.23 -	Correlações dos principais parâmetros de monitoramento e produção de metano do reator UASB, durante as fases de operação. Eficiência de remoção de DQO filtrada e velocidade ascensional (A), eficiência de remoção de DQO filtrada com os parâmetros de TDH e carga orgânica volumétrica (B), e produção de metano (C).	102
Figura 4.24 -	Parâmetros de eficiências do monitoramento do sistema de tratamento e pós-tratamento, durante as principais fases de operação da estação piloto. Remoção de DQO do reator EGSB (A), remoção de DQO bruta do reator UASB e sistema global (B), remoção de DQO filtrada do reator UASB e sistema global (C).	107
Figura 4.25 -	Fotografias realizadas em microscópio estereoscópico dos lodos anaeróbios da indústria alimentícia (A) e de usina de açúcar (B) utilizados no experimento de AME 1 e AME 2.	109
Figura 4.26 -	Curvas de conversão de DQO a metano acumulada durante os testes de Atividade Metanogênica.	111
Figura 4.27 -	Porcentagem de remoção de DQO em função do tempo, nos testes de biodegradabilidade anaeróbia estático (BIO 1) e agitado (BIO 2).	113

## LISTA DE TABELAS

---

	Página
Tabela 2.1 - Rebanho bovino brasileiro (efetivo por estado).	17
Tabela 2.2 - Valores médios de alguns parâmetros obtidos nos despejos brutos (fezes e urina) dos animais confinados.	34
Tabela 2.3 - Valores médios de alguns parâmetros obtidos nos efluentes gerados em currais de confinamento.	34
Tabela 2.4 - Características das águas residuárias de matadouros.	36
Tabela 2.5 - Caracterização de efluentes de matadouros realizadas por outros autores.	36
Tabela 2.6 - Principais pesquisas realizadas com efluentes de matadouros.	38
Tabela 2.7 - Vantagens e desvantagem dos processos anaeróbios.	41
Tabela 2.8 - Principais parâmetros de projetos de reatores, sua formulação matemática e seu significado.	44
Tabela 3.1 - Fases propostas de operação e monitoramento do reator UASB.	59
Tabela 3.2 - Operação e monitoramento do reator EGSB.	61
Tabela 3.3 - Lista de equipamentos utilizados nas análises físico-químicas.	63
Tabela 3.4 - Detalhes operacionais dos testes de AME realizados.	64
Tabela 3.5 - Detalhes operacionais dos testes de biodegradabilidade realizados.	67
Tabela 4.1 - Principais características operacionais dos matadouros da Região Metropolitana do Recife.	69
Tabela 4.2 - Caracterização dos principais pontos do sistema de tratamento de efluentes existente no matadouro de Jaboatão dos Guararapes.	79
Tabela 4.3 - Caracterização dos efluentes do ponto P3 em amostragem simples e composta.	83
Tabela 4.4 - Média dos principais parâmetros de importância operacional no decorrer das cinco fases de operação do reator UASB.	87
Tabela 4.5 - Média dos principais parâmetros de importância operacional no decorrer da fase de operação do reator EGSB.	105
Tabela 4.6 - Comparação das médias de eficiências do reator UASB e sistema de tratamento global (UASB + EGSB).	106

Tabela 4.7 -	Resultados dos testes de atividade AME 1, AME 2 e AME 3.	110
Tabela 4.8 -	Aspectos observados entre os testes de biodegradabilidade anaeróbia BIO 1 e BIO 2.	113

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

---

<b>AGV</b>	Ácidos graxos voláteis
<b>AME</b>	Atividade metanogênica específica
<b>CH<sub>4</sub></b>	Fórmula química do metano
<b>CO<sub>2</sub></b>	Fórmula química do gás carbônico
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>CONSEMA</b>	Conselho Estadual do Meio Ambiente
<b>COL</b>	Carga orgânica aplicada ao lodo
<b>COV</b>	Carga orgânica volumétrica
<b>CPRH</b>	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
<b>CRMV</b>	Conselho Regional de Medicina Veterinária
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxigênio
<b>DQO</b>	Demanda química de oxigênio
<b>EGSB</b>	Expanded Granular Sludge Bed (Reator de leito de lodo granular expandido)
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>LSA</b>	Laboratório de Saneamento Ambiental
<b>NaOH</b>	Fórmula química do hidróxido de sódio
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>RMR</b>	Região Metropolitana do Recife
<b>SPRRA</b>	Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária
<b>SST</b>	Sólidos suspensos totais
<b>SSF</b>	Sólidos suspensos fixos
<b>SSV</b>	Sólidos suspensos voláteis
<b>ST</b>	Sólidos totais
<b>STF</b>	Sólidos totais fixos
<b>STV</b>	Sólidos totais voláteis
<b>TDH</b>	Tempo de detenção hidráulica
<b>UASB</b>	Upflow anaerobic sludge blanket (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo)
<b>UFPE</b>	Universidade Federal de Pernambuco
<b>Vas</b>	Velocidade ascensional

# TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES GERADOS EM MATADOUROS DE BOVINOS

## RESUMO

Nas atividades agroindustriais, a geração de resíduos mostra-se bastante expressiva, entre as quais se destacam os matadouros. Em Pernambuco, essas atividades contribuem de maneira significativa para a crescente poluição dos corpos receptores, uma vez que tecnologias de tratamento de seus despejos, mesmo existentes, são pouco empregadas. O presente trabalho avalia os principais aspectos dos matadouros de bovinos da Região Metropolitana do Recife, e estuda a tratabilidade das águas residuárias geradas no matadouro municipal de Jaboatão dos Guararapes, através de caracterizações físico-químicas e da utilização da tecnologia anaeróbia, empregando um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), instalado em uma estação piloto montada no próprio matadouro, e monitorado durante 460 dias. O monitoramento foi efetuado em 5 fases distintas, onde foram observadas as eficiências de tratamento do reator em estudo, em função dos efeitos de diferentes valores de velocidade ascensional, variando o tempo de detenção hidráulica (TDH) e recirculação do efluente. Nas fases propostas, foram obtidas eficiências de remoção média de DQO bruta na ordem de 76%, para uma velocidade média ascensional entre 0,08 e 0,50 m/h, com um TDH de 25 horas e carga orgânica volumétrica (COV) de 3,64 kg DQO/m<sup>3</sup>.d; 63% para uma velocidade ascensional entre 0,50 e 1,00 m/h, TDH de 22 horas e COV de 4,26 kg DQO/m<sup>3</sup>.d; 52% para uma velocidade ascensional entre 0,50 e 1,00 m/h, TDH de 12 horas e COV de 4,74 kg DQO/m<sup>3</sup>.d. Durante a última fase com a redução do TDH para 6 horas, o reator atingiu a menor média de eficiência com o valor de 33%, para uma velocidade ascensional variando entre 0,50 e 1,00 m/h e COV de 7,45 kg DQO/m<sup>3</sup>.d. Durante esta última fase foi realizado um estudo de pós-tratamento, utilizando um reator de leito de lodo granular expandido (EGSB), onde foi verificado um ganho na eficiência de remoção de DQO bruta do sistema global (UASB + EGSB), da ordem de 20%, considerando que nesta fase, foram aplicados valores de carga orgânica volumétrica de até 31,3 kg DQO/m<sup>3</sup>.d.

**PALAVRAS-CHAVE:** matadouro de bovinos, gestão, tratamento anaeróbio, reator UASB, reator EGSB

# ANAEROBIC TREATMENT OF EFFLUENTS FROM SLAUGHTERHOUSES

## ABSTRACT

Generation of wastes in the agroindustrial activities is very significant, especially in the case of the slaughterhouses. In Pernambuco, the slaughterhouses are considered as an important contributor for the growing pollution of the receiving water bodies. Despite the available technology for effluents treatment, they are seldom used. The present work evaluates the main aspects of bovine slaughterhouses management in Metropolitan Region of Recife (RMR), especially concerning the water use and the wastes disposal; and the feasibility of the anaerobic treatment for the wastewater generated at the municipal slaughterhouse of Jaboatão dos Guararapes. A physico-chemical characterization and the use of a upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor, installed in a pilot plant in that slaughterhouse, were studied. The pilot plant was monitored during 460-days. The monitoring activities were conducted in 5 different phases. The reactor performance was followed by changing the upflow velocities ( $V_{up}$ ) by varying the hydraulic retention time (HRT) and using effluent recirculation. The results showed reactor efficiencies in terms of COD removal about 76%, when the upflow velocity was maintained between 0.08 and 0.50 m/h, with a HRT of 25 hours and an organic loading rate OLR of 3.64 kg COD/m<sup>3</sup>.d; 63% for  $V_{up}$  between 0.50 and 1.00 m/h, HRT of 22 hours and OLR of 4.26 kg COD/m<sup>3</sup>.d; 52% for  $V_{up}$  between 0.50 and 1.00 m/h, HRD of 12 hours and OLR of 4.74 kg COD/m<sup>3</sup>.d. During the last phase by decreasing the HRT to 6 hours, the reactor efficiency was the lowest, of only 33%, for  $V_{up}$  between 0.50 and 1.00 m/h and OLR of 7.45 kg COD/m<sup>3</sup>.d. During this last phase a post-treatment study was accomplished, using an granular expanded sludge bed (EGSB) reactor. The efficiency of COD removal in the system (UASB + EGSB) increased about 20%, even considering that an OLR of up to 31.3 kg COD/m<sup>3</sup>.d. was applied.

**KEY-WORDS:** bovine slaughterhouse, water and wastewater management, anaerobic treatment, UASB reactor, EGSB reactor.

# INTRODUÇÃO

## 1.1 - Apresentação do tema da dissertação

Com o crescimento populacional, o consumo de carne e seus derivados passaram a incorporar valores consideráveis, que resultou no acréscimo da produção nacional das indústrias do setor frigorífico, trazendo paralelamente preocupações de caráter ambiental. De acordo com BRAILE (1993), os matadouros de modo geral, utilizam grande quantidade de água em todo processo industrial, podendo chegar a 2.500 litros por animal abatido, gerando com isso grande quantidade de águas residuárias. Estas são caracterizadas por elevadas cargas orgânicas e concentrações de sólidos em suspensão, provenientes dos processos de abate, lavagem de pisos e equipamentos. É elevada também, a produção de resíduos sólidos, tanto do confinamento em currais com a deposição fecal dos bovinos durante a espera, quanto dos subprodutos não comestíveis provenientes do processo industrial. Entretanto, as características dos efluentes líquidos variam entre indústrias, dependendo do processo industrial e do consumo de água por animal abatido.

Dono do maior rebanho comercial de gado bovino do mundo, com mais de 160 milhões de cabeças, cerca de 750 frigoríficos e quase 100 mil pontos de vendas (açougues e supermercados), o Brasil ainda não conseguiu controlar o abate. Metade da carne consumida no país vem de matadouros clandestinos (BEZERRA, 2001). Pernambuco possui um rebanho bovino efetivo de pouco mais de 1,6 milhão de cabeças (IBGE, 2001), registrando um potencial considerável de abate e comercialização de carne em seu mercado interno.

A Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária do Estado de Pernambuco, através de seu Departamento de Inspeção e Fiscalização Agropecuária – DEFIS, divulgou no primeiro semestre de 2000 um diagnóstico dos matadouros municipais do Estado de Pernambuco, totalizando 170 matadouros avaliados. Segundo o diagnóstico, 93% dos estabelecimentos vistoriados não atenderam as exigências mínimas de funcionamento, e o mesmo documento apontou a inexistência de um sistema de tratamento de resíduos em

98% dos estabelecimentos (SPRRA, 2000). Já o Conselho Regional de Medicina Veterinária (CRMV), apresentou ao CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente), em junho de 2001, um estudo realizado em 48 matadouros municipais do Estado, através do qual a problemática citada no diagnóstico anterior é confirmada (FOERSTER, 2001).

O gerenciamento desses estabelecimentos, que na maioria dos municípios é realizado pela própria prefeitura, torna-os vulneráveis a um total descaso com relação à disposição de seus resíduos, provocando assim impactos ambientais consideráveis. Já os matadouros da RMR (Região Metropolitana do Recife), que por sua vez possuem a iniciativa privada como gestor, não apresentam nenhuma melhoria, em relação à preocupação com a destinação correta de seus resíduos; os problemas são similares aos administrados pelas prefeituras, do interior.

Os aspectos sanitários observados nas visitas realizadas apontam grande indiferença com as normas técnicas de inspeção, regidas pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA), do Ministério da Agricultura, refletindo na falta de higiene e de racionalização das operações de abate dos bovinos; conseqüentemente, interferindo nas concentrações de seus efluentes e nas características sanitárias ideais do produto final.

Para o abate característico desses matadouros, se utiliza o método de insensibilização antecedendo a sangria, através de atordoamento por concussão cerebral, empregando-se marreta. Segundo NAZARETH (1992), nesse método onde o animal sofre dor e medo, ocorre a formação de toxinas no seu organismo, principalmente uréia na corrente sangüínea. Existem estudos relacionando o consumo desta carne com alguns tipos de câncer e reumatismo no ser humano. Destaca NAZARETH (1992) que, quando o animal é morto através de sofrimento e fadiga, seu organismo tende a possuir pouco glicogênio. Por esse motivo, ocorre à formação de ácido láctico, o pH não cai como deveria e os microrganismos em pH mais elevado se desenvolvem mais facilmente, resultando em um produto final que se apresenta inadequado para o consumo.

Como toda indústria, os matadouros mais do que nunca, necessitam tratar seus efluentes, procurando com isso, garantir a adequação aos padrões previstos pela legislação (de acordo com a Resolução nº 20/86 do CONAMA, que trata dos limites das concentrações nos efluentes e nos corpos receptores em função de sua classe). As águas residuárias oriundas de matadouros de bovinos são de natureza orgânica, tornando-se favoráveis ao tratamento biológico, sendo possível a utilização de qualquer processo. A

limitação da escolha do processo ficará por conta da disponibilidade de área, custos de construção e operação, e padrões de lançamento previstos.

Em função das características dessas águas residuárias e conseqüentes problemas associados ao seu lançamento, a inexistência de tecnologia para o tratamento das águas residuárias provenientes de estruturas típicas de pequeno porte, instaladas em todo Estado, torna-se fundamental o estudo de tecnologias de tratamento, adequando-o às características regionais.

## **1.2 - Objetivos**

### **1.2.1 - Objetivo Geral**

Avaliar a situação atual dos matadouros da Região Metropolitana do Recife e identificar um estabelecimento mais apropriado para os estudos de caracterização e tratabilidade. O tratamento proposto, em instalação piloto, foi a utilização do processo anaeróbio, com um reator do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), visando obter parâmetros de projeto e operação mais adequados para a realidade do Estado.

### **1.2.2 - Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- a) Fazer o levantamento geral da situação dos matadouros existentes na Região Metropolitana do Recife;
- b) Com o matadouro identificado para o estudo, caracterizar seus efluentes, a fim de identificar suas características fundamentais ao desenvolvimento da pesquisa;
- c) Avaliar a alternativa de tratamento anaeróbio para os efluentes de matadouros de pequeno e médio porte (inferior a 70 bois/dia);
- d) Avaliar a alternativa de pós-tratamento como estudo complementar.

### **1.3 - Organização da dissertação**

No Capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica relacionada com a bovinocultura industrial no Brasil, além da descrição detalhada do processo e operação nos matadouros. O Capítulo também trata dos impactos no meio ambiente, causados pelos efluentes gerados nos matadouros, e as formas de tratamento por via anaeróbia destes.

O Capítulo 3 descreve toda a metodologia utilizada nessa pesquisa.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados sobre a caracterização dos efluentes originários no matadouro de bovinos de Jaboatão dos Guararapes, localizado na Região Metropolitana do Recife. Também são vistos os resultados do tratamento e pós-tratamento anaeróbio, instalados no mesmo matadouro, onde foram realizadas as pesquisas.

No Capítulo 5, apresentam-se as conclusões gerais da dissertação e no Capítulo 6 as sugestões para novas pesquisas sobre o tema. No Capítulo 7 encontram-se listadas as referências bibliográficas presentes nesta dissertação.

Nos Capítulos 8 e 9 têm-se os anexos e o apêndice, respectivamente. Os anexos se referem a determinações analíticas ou procedimentos empregados para ensaios, utilizados como metodologia. No apêndice se encontram os resultados. E por último no Capítulo 10 o *curriculum vitae* resumido do autor.

## CAPÍTULO 2.0

---

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - A bovinocultura industrial

##### 2.1.1 - Origem das raças

As teorias mais aceitas, segundo JARDIM (1973), atribuem a origem dos atuais bovinos domésticos às cinco formas primitivas destacadas a seguir:

***O Boi Primigênio:*** possuía grande porte, linhas cranianas retangulares, fronte plana ocupando 50% do crânio, chifres grandes de secção circular, perfil retilíneo. Os tipos mais puros são representados pelo boi das estepes da Ucrânia, pelos “Highlands” da Escócia e algumas raças da Península Ibérica. Já as raças Holandesa, Flamenga e Normanda também derivam do Primigênio, sofrendo influência do Braquícero.

***O Boi Braquícero:*** com a estrutura menor que a do precedente, apresenta linhas do crânio sinuosas, fronte côncava ocupando 47% do crânio, larga entre os olhos e estreita entre os chifres, que são finos. Seus representantes mais próximos são: o gado comum dos Bálcãs, Carpatos, Polônia, Lituânia e Rússia. A Jersey, a Bretã, a Angler, a Kerry e a Schwyz podem ser mencionadas, como um aperfeiçoamento deste tipo.

***O Boi de Fronte Grande:*** possuía estrutura intermediária, linhas do crânio salientes, fronte abaulada, marrafa elevada, ocupando mais de 50% do crânio, larga entre os chifres. Este tipo deu formação, com a fusão de formas anteriores, às raças Simental, Limusiana, Caracu e outros.

***O Boi Môcho:*** sua estrutura era relativamente pequena, possuía fronte escavada, marrafa saliente e desprovida de chifres. Era identificado como uma mutação do Braquícero por apresentar semelhança com este tipo. As principais raças incluídas neste tipo são: o Môcho Nacional, o “Red Polled”, o “Polled Angus”, o “Fjäll” da Suécia e o Môcho do Norte da Rússia.

***O Boi Braquicéfalo:*** de porte pequeno, crânio curto e largo, fronte larga e plana, focinho curto, que é tido como uma mutação e que deu origem aos “Dexter-Kerry” e “Tuxer”.

Das cinco formas bovinas mencionadas, a Braquícera foi a primeira domesticada, na Ásia, sendo depois levada por invasores arianos para as palafitas da Suíça. Na época neolítica, os habitantes da Europa seguiram o exemplo dos asiáticos e domesticaram o Boi Primigênio, que chamavam de Urus e que viviam em estado selvagem em diversas partes do território europeu. Quanto aos bois de Fronte Grande, Môcho e Braquicéfalo, não foram conhecidos em estado selvagem, razão pela qual são tidos como derivados dos anteriores, mediante mutação e recombinação genética sob o influxo do ambiente. Finalmente, os cruzamentos ao longo dos séculos, plasmaram a enorme gama de tipos encontrados nos agrupamentos raciais da atualidade.

### **2.1.2 - A bovinocultura brasileira**

JARDIM (1973), destaca que na época do descobrimento o Brasil não tinha gado bovino. A primeira introdução foi feita por Tomé de Sousa, que trouxe de Cabo Verde para a Bahia gado de origem ibérica. No decorrer do tempo, as criações aumentaram e foram expandindo para o interior, chegando em Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Ceará, Piauí, e até a região amazônica através de Goiás.

O gado dos Açores, também foi introduzido na Capitania de São Vicente por Martim Afonso de Sousa. A expansão deste núcleo se fez rumo ao Sul, atravessando o Paraná, Santa Catarina e chegando ao Rio Grande do Sul após algum tempo. Logo depois foram introduzidos pelos jesuítas no território do Rio Grande, bovinos também de origem ibérica, provenientes do Peru e do Paraguai.

A região central do Brasil foi povoada gradativamente, com os bovinos que partiram inicialmente da Bahia e de São Vicente, alcançando os campos de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso.

No fim do século XIX, iniciou a importação de raças nobres européias para o Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo, assim como de zebuínos para Bahia, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

No século passado, aumentou a importação de bovinos europeus de raças especializadas leiteiras, de corte e mistas, ao mesmo tempo em que a introdução do gado indiano alcançou maior vulto.

### **2.1.3 - Bovinos de corte**

As informações desse item correspondem aquelas cedidas pelas associações de criadores de diversas raças no Brasil (VIVER NO CAMPO, 2003).

Existem bovinos especializados para as produções de carne, de leite e os de raças mistas, para ambas as produções. Gado de corte significa o conjunto de raças bovinas destinadas ao abate, para a produção de carne e de seus derivados, além de alguns subprodutos. Essas raças devem ser precoces, bem desenvolvidas, resistentes e ter um bom rendimento líquido de carne, no mínimo, 45%. A carne bovina é muito empregada também na produção e na fabricação de produtos em conserva.

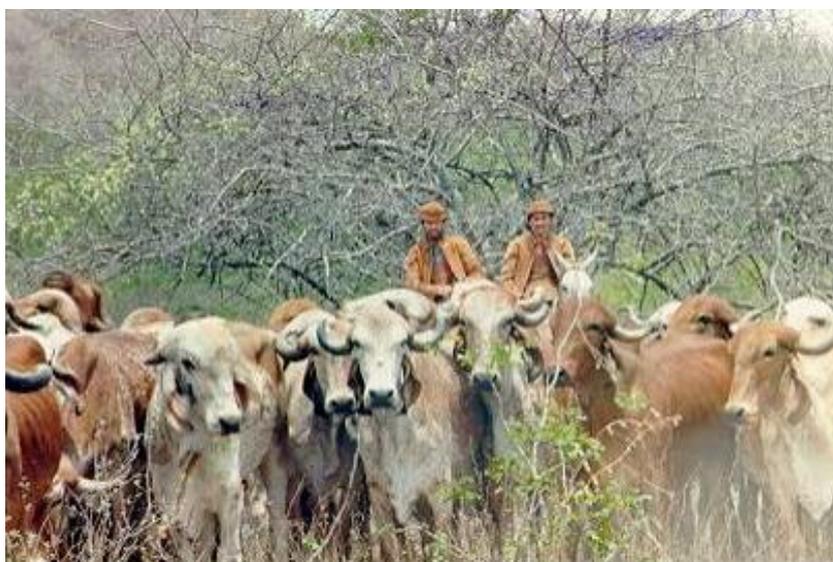
Muitas são as raças bovinas destinadas ao corte, principalmente européias, como as inglesas “Hereford”, “Hereford” môcho, “Duhan”, “Duhan” môcho, “Aberdeen Angus”, “Galloway” e “Sussex” e as francesas, “Charolesa” e “Limousine”.

Com o correr dos anos, através de uma seleção rigorosa, elas foram melhorando bastante, atingindo um elevado nível zootécnico, com uma alta produção percentual de carne de primeira qualidade e de grande valor nutritivo. Além disso, seu grau de conversibilidade é também, muito elevado, com um excelente aproveitamento das forragens que lhes são fornecidas, normalmente, na alimentação diária.

No Brasil temos também como excelentes produtoras de carne, as raças zebuínas, originárias da Índia, Nelore, Guzerá e Gir, existindo também, a Gir leiteira, de alta produção. Além de elevada produção de carne, são de grande rusticidade, podendo ser criadas soltas, em regime extensivo de pastagens, em todo o território brasileiro, desde os Estados do Norte até o Rio Grande do Sul.

Em levantamento realizado nos matadouros da Região Metropolitana do Recife (RMR), verificou-se a ocorrência das principais raças de bovinos de corte, sendo também comum em menor proporção, a ocorrência de búfalos. Ambos serão comentados a seguir:

**Gir:** A raça Gir que temos hoje no Brasil corresponde fielmente ao gado Gir encontrado ao sul da península de Catiavar na Índia, de onde procede. É uma raça de dupla aptidão, voltada ao mercado de carnes e produção de leite. Seleções vêm sendo feitas, dando resultados ótimos na produção de leite. No passado, muitos criadores deram importância exclusiva a caracteres raciais, de menor importância econômica; depois, evoluíram para a seleção de rebanhos e linhagens com maior capacidade produtiva, tanto para carne como para leite. Quando adulto, atinge cerca de 500 kg nas fêmeas e 800 kg nos machos, como mostra a Figura 2.1.



**Figura 2.1 - Raça Gir.**

**Fonte -** VIVER NO CAMPO, 2003.

**Guzerá:** O gado Guzerá já esteve a ponto de desaparecer no Brasil, mas graças a alguns criadores que acreditaram em seu potencial, tomou forças, sendo hoje a terceira raça zebuína com maior número de animais no Brasil. O Guzerá é natural da Índia, principalmente ao norte da península de Catiavar. A raça desenvolveu-se em terras húmidas e férteis, de clima extremamente quente e úmido. É uma das maiores raças indianas. Caracteriza-se por ser uma raça produtora de carne, mas também se mostra bem adaptado como gado de trabalho e de leite.

Como os demais zebus introduzidos no Brasil, a finalidade do Guzerá foi a produção de carne. Tem a pelagem cinzenta prateada, quase preta com várias tonalidades e peso adulto em torno de 600 kg nas fêmeas e 900 kg nos machos. Apresentam boa

rusticidade, resistência a parasitas, alta capacidade de caminhar longas distâncias em busca de água e de alimentos. Podem ser criados em pastagens relativamente grosseiras, como mostra a Figura 2.2.



**Figura 2.2 - Raça Guzerá.**

**Fonte - VIVER NO CAMPO, 2003.**

**Indubrasil:** O Indubrasil surgiu na região do Triângulo Mineiro, resultado do cruzamento quase que espontâneo das raças Gir, Guzerá e, em menor proporção, Nelore. A idéia principal era de unir as boas qualidades de cada, numa única raça nacional. O gado Indubrasil ocupa atualmente, o quarto lugar entre as principais raças de origem indiana criadas no Brasil. Teve a sua época áurea entre os anos 1920 e 1935. A partir de 1940 os criadores voltaram suas criações para as raças puras indianas e o gado Indubrasil começou a perder terreno até se encontrar no atual estágio. A aptidão econômica desse gado é a produção de carne.

As aptidões e qualidades se assemelham muito às das outras raças zebuínas. Todavia, como é uma raça originária de cruzamentos relativamente recentes, sem muita homogeneidade, não apresentam os mesmos resultados de produção. Se os criadores cessarem os cruzamentos e fizerem uma seleção bem orientada, é possível que se torne uma raça altamente produtiva. É um gado pesado chegando a 700 kg nas fêmeas e 1.000 kg nos machos mais fortes, como mostra a Figura 2.3.



**Figura 2.3** - Raça Indubrasil.

**Fonte** - VIVER NO CAMPO, 2003.

*Nelore*: Originário da Índia é constituído por um importante grupo de raças, dentre as quais se sobressaem a Harijana e a Ongole. O berço da raça Ongole é a região do mesmo nome, no Estado de Madras. Esta região compreende Ongole, Guntur, Nelore, Venukonda e Kandantur. Um grande número de animais puro é encontrado nessa região. No passado o Ongole foi exportado em grande escala para a América tropical e outros países, com a finalidade de melhorar o gado nativo, através de cruzamentos.

A raça Nelore é essencialmente produtora de carne. Dentre as variedades trazidas da Índia, é a que vem sofrendo mais seleção, objetivando a obtenção de novilhos para corte. Tem a seu favor uma boa conformação, cabeça pequena e leve, ossatura fina e leve, e alcança bom desenvolvimento. Experimentos demonstraram que o Nelore pode oferecer carcaças com 16,5 arrobas, aos 26 meses de idade e rendimento de 50 a 55%, quando alimentado em pastagem, como mostra a Figura 2.4.



**Figura 2.4** - Raça Nelore.

**Fonte** - VIVER NO CAMPO, 2003.

**Tabapuã:** Esse gado se assemelha bastante ao Brahman quanto à sua composição racial. É predominantemente Nelore, com algumas características do Guzerá. Recebeu seu nome devido ao município em que se formou. É a primeira variedade zebuína môtcha.

É crescente o aumento do interesse pelo gado mocho em face às vantagens que apresenta na estabulação e transporte. Os criadores não estão preocupados com características raciais super valorizadas, como ocorreu com outras raças. Por isso, seu melhoramento tem caráter estritamente econômico, ou seja, preocupa-se apenas em desenvolver um animal com maior precocidade, ganho de peso e rendimento de carcaça. Alguns criadores procuram orientar a seleção visando uma raça de dupla aptidão. Como produtor de carne, o mocho já tem demonstrado seu potencial nas provas de ganho de peso. Como produtor de leite, vem respondendo de maneira surpreendente aos estímulos da seleção zootécnica, como mostra a Figura 2.5.



**Figura 2.5** - Raça Tabapuã.

Fonte - VIVER NO CAMPO, 2003.

**Búfalo:** Na maioria dos países onde o búfalo é criado, a produção de carne é considerada fator secundário. Nos países do Oriente, preconceitos ou motivos religiosos dificultam o abate deste animal para o consumo de sua carne. No entanto, o búfalo foi utilizado durante muitos séculos como animal de tração, o que fez com que essa espécie desenvolvesse grande massa muscular.

O bubalino é por natureza, mais precoce que o bovino. Assim, os búfalos têm exibido maior ganho de peso do que os zebuínos e competido com as melhores raças européias de corte, apresentando valores muito semelhantes em performance (CRIAR E PLANTAR, 2003).

O búfalo é capaz de se manter em boas condições, mesmo quando somente forragem de baixa qualidade está disponível ou quando é criado em área onde o bovino mal conseguiria sobreviver, como mostra a Figura 2.6.



**Figura 2.6 - Raça Bubalina.**

Fonte - CRIAR E PLANTAR, 2003.

#### **2.1.4 - Origem do Zebú**

É uma espécie de bovino caracterizada por trazer no dorso uma saliência muscular (músculo rombóide), como mostra a Figura 2.7, entremeada de gordura, denominada cupim ou giba. A espécie zebuína está dividida em mais de 50 raças. Hoje o zebú está presente em todos os continentes, predominando na Índia e no Brasil, que detém o maior rebanho comercial do mundo, com mais de 170 milhões de cabeças (PLANETA TERRA, 2003).

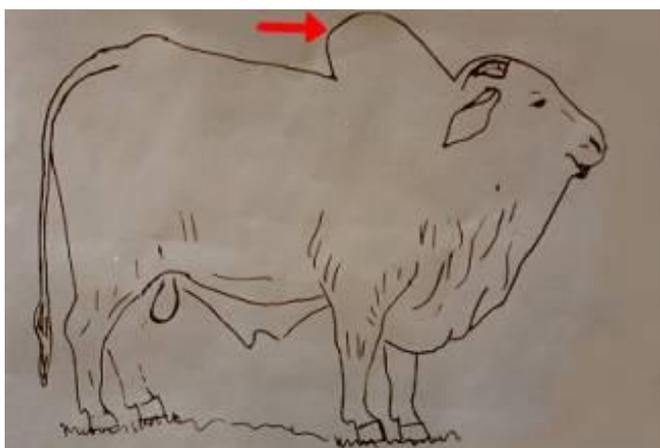
JARDIM (1973), destaca que todas as raças zebuínas tiveram sua origem no início do Quaternário, como demonstram fósseis encontrados na região norte da Índia, habitat dos grupos étnicos Branco-Cinza, Gir e Myrose.

Com base nos conhecimentos atuais, o norte da Índia pode ser considerado como o centro de origem e distribuição tanto do boi zebú como do boi doméstico primitivo.

A Índia tem um plantel superior a 270 milhões de cabeças, mas não o utiliza com objetivos especificamente comerciais. Dentre outros países, os Estados Unidos têm um rebanho de zebuínos em evolução, com mais de 2 milhões de animais.

Na Índia, o zebú é idolatrado e por este motivo não é abatido, sendo utilizado apenas para produção de leite e como animal de tração. No Brasil, os zebuínos são amplamente utilizados para produção de carne, leite e seus subprodutos, constituindo-se num dos pilares da economia do país. O gado zebú foi introduzido no Brasil no início do século passado. Foram trazidos exemplares das raças Nelore, Gir e Guzerá, além do Sindi e Kangayam que não tiveram expressividade em número de plantéis em nosso país.

A partir desses animais, cujo sangue está hoje em 80% do rebanho nacional, foram desenvolvidas no Brasil outras raças, como Tabapuã e Indubrasil, sendo esta última, originalmente, a raça denominada de Induberaba por ter sido produzida por criadores no município de Uberaba - MG.



**Figura 2.7** - Principal característica do Zebú.

Fonte - PLANETA TERRA, 2003.

### **2.1.5 - Panorama da bovinocultura nacional**

A economia brasileira tem passado por rápidas transformações nos últimos anos. Instituições e comportamentos típicos de um ambiente inflacionário, fechado à concorrência internacional e marcado pela politização do sistema de preços, vêm sendo rapidamente modificados pelas reformas em curso na economia desde o início dos anos 90. Nesse novo contexto, ganham espaço novas concepções, ações e atitudes, e a produtividade, custo e eficiência se impõem como regras básicas para sobreviver em um mercado cada vez mais competitivo e globalizado.

A pecuária de corte no Brasil pode ser analisada a partir de duas características básicas: diversidade e descoordenação. Há diversidade de raças, de sistemas de criação, de condições sanitárias de abate e de formas de comercialização. E há descoordenação, por causa da baixa estabilidade nas relações entre criadores, frigoríficos, atacadistas e varejistas.

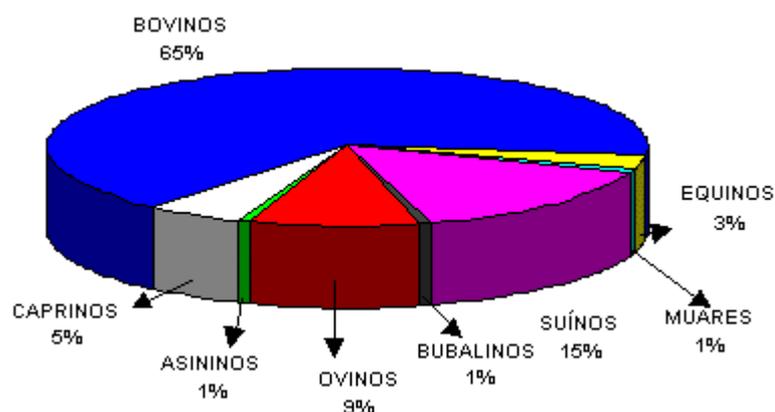
A diversidade expressa a variedade de rotas tecnológicas, especialmente no campo. Diferentemente da avicultura, em que a pesquisa genética levou a uma convergência em torno de poucas linhagens, na bovinocultura as opções genéticas são muito mais abertas. Na escolha da linhagem, os próprios produtores têm muita influência, podendo optar por diferentes combinações de raças tendo em vista condições particulares de clima, região, sistemas de produção, etc.

A existência de um grande número de abatedouros clandestinos, a maioria em condições inteiramente inadequadas, em paralelo a frigoríficos alinhados com padrão tecnológico internacional, é outro indicador da diversidade de situações do setor (FNP, 1997 e MORICOCCHI *et al*, 1995).

Embora o Brasil seja o detentor do maior rebanho comercial do mundo, a nossa pecuária de corte ainda é, em média, muito atrasada. Na sua maioria, os animais são abatidos com cerca de quatro anos de idade, o que determina um desfrute anual de 22% do rebanho.

O aproveitamento do rebanho brasileiro apresentou aumento nos últimos anos, já que no final da década de 80 o desfrute era de somente 16%. O crescimento do desfrute deveu-se à combinação de redução do rebanho e aumento do abate. Não há base suficiente ainda para determinar se isso configura uma tendência de longo prazo, fruto do aprimoramento da pecuária, ou se resulta de aumento no abate de fêmeas, o que configuraria a preparação de uma oscilação dos preços, reedição do tradicional ciclo de preços. Apesar do aumento, taxa de desfrute ainda é considerada baixa para níveis internacionais, que se situam na faixa de 32% na União Européia, 38% nos Estados Unidos, 41% na Austrália e 31% na China.

A Figura 2.8 mostra o percentual de efetivos da pecuária no Brasil, e a Tabela 2.1 detalha o efetivo bovino nos estados brasileiros.



**Figura 2.8** - Percentual de efetivos da pecuária no Brasil em 1990.

Fonte - IBGE, 1990.

### 2.1.5.1 - Balança comercial do setor

A produção do setor tem-se destinado basicamente ao mercado interno (96% em 1996). Mesmo assim, o Brasil é um importante exportador, foi o quinto maior em 1996, detendo cerca de 6% do comércio mundial de carne. A exportação caiu entre 1992, quando foram comercializadas 434 mil toneladas, e 1996, quando foram exportadas somente 232 mil toneladas. As importações, por sua vez, vêm crescendo desde 1992, passando de 10 mil toneladas para 90 mil toneladas em 1996, patamar ainda inferior a 1990 (120 mil toneladas).

Note-se que em outros setores pode ser visto como sinal de contradição entre mercado interno e externo, nesse caso é minimizado pelo fato de apenas certas partes dos animais serem exportadas, sob a forma de cortes (traseiro) ou de industrializados (dianteiro). Assim, o crescimento das exportações não é inteiramente contraditório com o abastecimento do mercado interno.

A balança comercial do setor sempre foi positiva, não só pelas quantidades envolvidas, sempre maiores para exportação, como também pelo tipo de carne comercializada: a carne exportada é na sua maior parte processada e a importada é predominantemente de carcaças e quartos, sendo a picanha o único corte de importância na importação (cerca de 10% de toda a importação nos primeiros anos da década de 90 e 28% em 1996) (FNP, 1997).

**Tabela 2.1** - Rebanho bovino brasileiro (efetivo por estado).

<b>REGIÕES</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>NORTE</b>	<b>21.098.665</b>	<b>22.430.811</b>	<b>24.517.612</b>	<b>27.284.210</b>
RO	5.104.233	5.441.734	5.664.320	6.605.034
AC	906.881	929.999	1.033.311	1.672.598
AM	809.302	826.025	843.254	863.736
RR	424.700	480.500	480.400	438.000
PA	8.337.181	8.862.649	10.271.409	11.046.992
AP	74.508	76.734	82.822	87.197
TO	5.441.860	5.813.170	6.142.096	6.570.653
<b>NORDESTE</b>	<b>21.980.699</b>	<b>21.875.110</b>	<b>22.566.644</b>	<b>23.414.017</b>
MA	3.936.949	3.966.430	4.093.563	4.483.209
PI	1.750.936	1.756.268	1.779.456	1.791.817
CE	2.114.079	2.167.525	2.205.954	2.194.489
RN	793.361	754.965	803.948	788.314
PB	928.508	886.349	952.779	918.262
PE	1.470.370	1.420.449	1.515.712	1.672.634
AL	899.744	815.472	778.750	843.240
SE	918.270	936.972	879.730	866.224
BA	9.168.482	9.170.680	9.556.752	9.855.828
<b>SUDESTE</b>	<b>37.073.604</b>	<b>36.898.631</b>	<b>36.851.997</b>	<b>37.118.765</b>
MG	20.501.132	20.082.067	19.975.271	20.218.911
ES	1.938.100	1.881.831	1.825.283	1.664.993
RJ	1.881.342	1.866.061	1.959.497	1.976.909
SP	12.753.030	13.068.672	13.091.946	13.257.952
<b>SUL</b>	<b>26.599.844</b>	<b>26.189.653</b>	<b>26.297.970</b>	<b>26.784.435</b>
PR	9.766.594	9.472.808	9.645.866	9.816.547
SC	3.090.120	3.052.952	3.051.104	3.096.275
RS	13.743.130	13.663.893	13.601.000	13.871.613
<b>CENTRO OESTE</b>	<b>56.401.545</b>	<b>57.226.833</b>	<b>59.641.301</b>	<b>61.787.299</b>
MS	21.421.567	21.576.384	22.205.408	22.619.950
MT	16.751.508	17.242.935	18.924.532	19.921.615
GO	18.118.412	18.297.357	18.399.222	19.132.372
DF	110.058	110.157	112.139	113.362
<b>BRASIL</b>	<b>163.154.357</b>	<b>164.621.038</b>	<b>169.875.524</b>	<b>176.388.726</b>

Fonte: IBGE, 2003.

### **2.1.5.2 - Segmento de abate e industrialização**

A indústria de desmontagem e processamento tem passado por várias transformações ao longo das últimas décadas, que vão desde a desativação da maioria da rede dos matadouros municipais à nacionalização do setor e, nos últimos anos, ao declínio dos grandes frigoríficos.

Uma das mudanças estruturais é o deslocamento das unidades de abate para a região Centro-Oeste. Em 1996, o Centro-Oeste concentrava 29% dos frigoríficos em atividade registrados no Serviço de Inspeção Federal (SIF), enquanto, em 1983, eram apenas 17%. Tal deslocamento deve-se à própria migração da produção primária e à modernização da bovinocultura nos estados do Brasil Central, aumentando a oferta de boi gordo e possibilitando a criação de uma logística mais eficiente e o aproveitamento de incentivos fiscais.

As indústrias ligadas ao segmento de exportação apresentam elevado nível tecnológico, em linha com os padrões internacionais de competição, podendo, portanto, responder às demandas tanto de aumento das exportações brasileiras como de elevação do nível de exigência do consumidor (FNP, 1997 e MORICOCCHI *et al.*, 1995).

### **2.1.6 - A bovinocultura em Pernambuco**

Dados de 2000 indicam uma participação da pecuária da Zona da Mata no conjunto do Estado relativamente significativa quanto a bovinos (11% do total do setor), caprinos (6%) e principalmente aves (22%).

No que diz respeito à pecuária destaca-se, o crescimento considerável da bovinocultura de leite e de corte, o que tem contribuído para o surgimento de estabelecimentos de industrialização leiteira na área. Esse segmento tem se apresentado como um setor com potencial de crescimento, constituindo-se como gerador de emprego e renda para a Zona da Mata pernambucana, inclusive contando com grande vantagem comparativa, que é a proximidade do importante mercado consumidor da Região Metropolitana do Recife (PROMATA, 2002).

O Agreste possui uma agricultura caracterizada por uma policultura intensiva no uso de mão-de-obra familiar, pouco intensiva em tecnologia de emprego de insumos, de baixa produtividade, e uma pecuária que, apesar de apresentar grande potencial produtivo, também exibe, em geral, baixos índices zootécnicos. A exceção fica por conta da avicultura, cujas atividades, tanto no Agreste, como na zona da Mata, já respondem por cerca de 4% do PIB do Estado.

O Sertão constitui a parte do semi-árido pernambucano com as condições mais adversas ao desenvolvimento da agropecuária tradicional, de cultivo com base no regime de chuvas.

A atividade pecuária, tanto bovina como de caprinos e ovinos, sempre predominante, é desenvolvida de forma extensiva, à base de pastos naturais, cultivo da palma forrageira e com pouca tecnologia de manejo (IPA, 2002).

Apesar de possuir um rebanho efetivo de mais de 1,6 milhões de cabeças, Pernambuco se qualifica como um estado altamente importador de animais de corte, chegando a 95% dos animais destinados aos principais matadouros (FOERSTER, 2001).

## **2.2 - Matadouros**

### **2.2.1 - Definição**

Segundo o Decreto nº 30.691/52, tendo em vista o que dispõe a Lei Federal nº 1.283/50, que especifica a inspeção industrial e sanitária dos produtos de origem animal, através do Art. 21 o qual define “matadouro” como o estabelecimento dotado de instalações adequadas para a matança de quaisquer das espécies de açougue, visando o fornecimento de carne em natureza ao comércio interno, com ou sem dependências para industrialização; disporá obrigatoriamente, de instalações e aparelhagem para o aproveitamento completo e perfeito de todas as matérias-primas e preparo de subprodutos não comestíveis (MA, 2001).

O atendimento correto da disposição dos resíduos, as fases do processo tecnológico do abate e a rigorosa observância da higiene, antes, durante e após os seus trabalhos, são princípios básicos, cujo respeito constitui a garantia da obtenção de um produto mercadologicamente valioso, higienicamente idôneo e ecologicamente correto.

### **2.2.2 - Ocorrência no Estado**

Segundo a SPRRA (2000), Pernambuco conta com um número expressivo de matadouros municipais, totalizando 170 estabelecimentos, com um potencial de abate de mais de 3.760 animais por dia, operando em condições precárias, principalmente nos aspectos sanitários e ambientais. Do total dos estabelecimentos, 139 não utilizam água tratada nas operações industriais, 159 não atendem as especificações de instalações e equipamentos, 167 não possuem sistema de tratamento de resíduos, e 10 foram fechados só no ano de 2001, por apresentarem condições precárias de higiene e controle de poluição. O Conselho Regional de Medicina Veterinária (CRMV-PE), confirmou a problemática citada no diagnóstico anterior, com um estudo realizado em 48 matadouros municipais do Estado, onde nenhum desses estabelecimentos possui água tratada, tão pouco sistema de tratamento de efluentes, e apenas 8 estabelecimentos apresentam condições de funcionamento após uma ampla reforma, (JC, 2001). Já um estudo realizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) e a Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária (SPRRA), publicado em 2002 aponta a existência de 185 matadouros em todo estado, onde 170 foram visitados e constatados a precariedade nas instalações, em 90% desses estabelecimentos. O mesmo estudo fez parte do Projeto Ambiental Nordeste (PAN), que contemplava 40 matadouros em Pernambuco no plano de recuperação, com investimento do Banco Mundial, (JC,2002). Tais números comprovam a fragilidade do setor que parece não ter solução, apesar dos avanços tecnológicos compatíveis com esta realidade.

A Região Metropolitana do Recife conta com 5 matadouros, situados nos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Igarassú, Paulista, Ipojuca e São Lourenço da Mata, onde apenas 4 encontram-se em operação, devido a interdição do matadouro de Paulista em 10 de dezembro de 2001.

### **2.3 - Descrição do processo e operações industriais**

As figuras seguintes se referem aos matadouros visitados em pesquisas preliminares nas suas respectivas datas, são: MARANHÃO COMÉRCIO DE CARNES LTDA., Jaboatão dos Guararapes (26/04/01), MATADOURO INDUSTRIAL DE IGARASSU

LTDA., Igarassú (08/11/01) e COMERCIAL DISTRIBUIDORA DE DERIVADOS BOVINOS LTDA., Paulista (08/11/01).

### 2.3.1 - Descarga e inspeção nos currais

O desembarque ou movimentação dos animais deve proceder de maneira tranqüila, evitando-se o uso de instrumentos pontiagudos ou de quaisquer outros que possam lesar o couro ou a musculatura. Os mesmos devem permanecer nos currais 24 horas a partir do desembarque. Este período é destinado ao descanso, jejum e dieta hídrica. Tal procedimento permite maior facilidade no processo de evisceração e diminui o risco de contaminação microbiana devido às fezes. O período de repouso pode ser reduzido, quando o tempo de viagem não for superior a 2 horas; o repouso, porém, em hipótese alguma, deve ser inferior a 6 horas.

Por ocasião da chegada de animais, a inspeção local deverá verificar os documentos de procedência e julgar das condições de saúde do lote. Qualquer caso suspeito implica no exame clínico do animal ou animais incriminados, procedendo-se, quando necessário, ao isolamento de todo o lote e aplicando-se medidas próprias de política sanitária animal, que cada caso exige. Tais procedimentos, especificados como inspeção “ante-mortem”, são necessários e devem ser aplicados rigorosamente, nesta fase preliminar, de todo processo industrial (MA, 2001). As Figuras 2.9 e 2.10, mostram o desembarque e a espera dos animais, nos currais.



**Figura 2.9** - Desembarque dos animais.



**Figura 2.10** - Currais de chegada e seleção.

### **2.3.2 - Banho**

O banho tem caráter sanitário, devendo ser seguidas as normas estabelecidas por lei. O local do banho de aspersão deverá dispor, de um sistema tubular de chuveiros dispostos transversal, longitudinal e lateralmente. Recomenda-se a hipercloração da água utilizada a 15 ppm. Antes de atingir a sala de matança, os animais devem passar por um pedelúvio. A Figura 2.11 ilustra o banho de aspersão (MA, 2001).



**Figura 2.11** - Banheiro de aspersão.

### 2.3.3 - Insensibilização e içagem

A insensibilização também influencia o seu estado de tensão. Basicamente, são empregados os seguintes métodos (FEALQ, 1989):

- Concussão cerebral (lesão encefálica);
- Enervação (secção da medula);
- Degola;
- Choque elétrico (suínos);
- Dióxido de carbono (suínos).

Uma insensibilização imperfeita aumenta o estado de tensão do animal podendo diminuir o valor comercial da carne.

O método mais utilizado nos matadouros pesquisados é o da concussão cerebral, provocada pela compressão das meninges como consequência de violento golpe sobre o encéfalo. O instrumento mais comum é a marreta. A execução é rápida, deixando o animal inconsciente, porém com atividade cardíaca e respiratória. Este fator é importante, pois auxilia o processo da sangria, como mostra a Figura 2.12.

Destaca FELÍCIO E SILVA (2000), que para matadouros participantes de projetos de certificação do produto, o boxe de atordoamento deverá ser equipado com pistola de ar-comprimido para um abate humanizado.

A enervação é usada com menos frequência, sendo mais utilizada em búfalos. Trata-se do rompimento da conexão encéfalo-medular e exige grande habilidade do executor. É usada em búfalos devido à alta resistência da pele e calota craniana desses animais, sendo quase impossível a inconscientização por outros processos mecânicos.

Após o atordoamento, o animal é içado pelos membros traseiros e encaminhados através de trilhos, para a área de sangria, como mostra a Figura 2.13.



**Figura 2.12** - Boxe de atordoamento.



**Figura 2.13** - Içamento.

#### **2.3.4 - Sangria**

Nos processos convencionais de abate a primeira etapa, após a sensibilização do animal, é a sangria. A sangria é necessária por dois motivos básicos: (a) o sangue é um excelente meio de cultura de microorganismos de deterioração e, portanto, um teor alto diminuiria a vida-de-prateleira do produto; (b) além disso, existe o aspecto visual. Normalmente a carne com alto teor de sangue é rejeitada pelo consumidor (FEALQ, 1989).

A sangria é realizada pela secção dos grandes vasos do pescoço, a altura da entrada do peito, depois de aberta sagitalmente a barbela pela “línea alba”. A mesma deverá ser completa e de preferência realizada com o animal suspenso. O sangue deverá ser recolhido em canaleta própria (MA, 2001). A Figura 2.14 mostra esse processo.

FOERSTER (2001), destaca que em média, um bovino descarta neste processo, de 15 a 20 litros de sangue.



**Figura 2.14** - Sangria.

### **2.3.5 - Esfola**

A esfola consiste nas operações de retirada de couro, evisceração e todos os processos até a “toilete” final da carcaça. As patas dianteiras são desarticuladas, sem desprendê-las totalmente; cortam-se os chifres, para em seguida, iniciar a retirada do couro, como mostra as Figuras 2.15 e 2.16.



**Figura 2.15** - Serragem dos chifres.



**Figura 2.16** - Retirada do couro.

### 2.3.6 - Evisceração

Após a retirada do couro, as carcaças sofrem um corte no abdômen para a extração das vísceras torácicas. Um cuidado a ser tomado durante essa etapa, é o de se amarrar as duas partes do intestino grosso, por ocasião da separação destes com o estômago, para evitar a contaminação microbiana (FEALQ, 1989). A Figura 2.17 mostra esse processo.



**Figura 2.17** - Extração das vísceras torácicas.

### 2.3.7 - Manipulação das vísceras

Esta etapa é responsável pela separação, inspeção e limpeza dos órgãos correspondentes.

Se rejeitadas, as vísceras são enviadas a graxaria, para transformação em farinha de carne e ossos e em sebo, após cozimento. Ver Figura 2.18.



**Figura 2.18** - Manipulação das vísceras.

### **2.3.8 - Lavagem e inspeção**

As carcaças, contendo apenas rins e o rabo, são divididas por meio de serras, novamente são inspecionadas e seguem para o “toilete” final, para posterior remoção dos rins, rabo, gordura e medula, como mostra a Figura 2.19.

A seguir, as meias carcaças levam o carimbo do Serviço de Inspeção Federal (SIF), são pesadas e sofrem uma lavagem para completa limpeza (FEALQ, 1989).



**Figura 2.19** - Serragem da carcaça.

### **2.3.9 - Graxaria**

Graxaria é a seção destinada ao aproveitamento de matérias-primas gordurosas e subprodutos não comestíveis (MA, 2001). Uma graxaria compreende:

- Seção de produtos gordurosos comestíveis;
- Seção de produtos gordurosos não comestíveis;
- Seção de subprodutos não comestíveis.

Os produtos gordurosos comestíveis são genericamente denominados de “gorduras”, ou “óleos” quando estão em estado líquido.

Os produtos gordurosos não comestíveis são todos aqueles obtidos pela fusão de partes e tecidos não utilizados na alimentação humana, bem como de carcaças, partes de carcaça, órgãos e vísceras, que forem rejeitadas pela inspeção.

Entende-se por subproduto não comestível, todo e qualquer resíduo devidamente elaborado, proveniente do processamento de todos os produtos destinados a graxaria.

É utilizado, no processamento autoclave que faz a separação da gordura em forma líquida, e digestores que fazem o cozimento do resíduo grosseiro do autoclave, dando origem à farinha, como mostra a Figura 2.20.

Três dos cinco matadouros da RMR possuem graxaria: Maranhão Comércio de Carnes Ltda., em Jaboatão dos Guararapes, Comercial Distribuidora de Derivados Bovinos Ltda., em Paulista e FRIDUSAM, em São Lourenço da Mata.

### **2.3.10 - Refrigeração e transporte**

Imediatamente após o abate, a carcaça precisa ser resfriada para impedir a deterioração, uma vez que a temperatura interna normalmente gira em torno de 38° C.

As câmeras de resfriamento são mantidas à temperaturas entre -4° e 0° C, sendo que a temperatura da câmara sempre deverá ser menor que 3° C.

O transporte compõe a parte final do processo industrial de abate, devendo ser realizado em caminhões, devidamente equipados e adequados para a função, como mostra a Figura 2.21.



**Figura 2.20** - Digestores para resíduo grosseiro.



**Figura 2.21** - Compartimento de carga do caminhão.

A Figura 2.22 mostra detalhadamente todo processo em fluxograma.



## 2.4 - Aproveitamento de subprodutos

Os subprodutos ou resíduos de matadouros correspondem a todos os produtos que não sejam pronta ou diretamente destinados ao consumo e uso humano. De acordo com FOERSTER (2001), os subprodutos gerados em todo processo de abate podem corresponder, a 40 kg por animal abatido. É importante destacar que a grande maioria dos matadouros do Estado descartam esses resíduos no meio ambiente.

A recuperação dos subprodutos, via de regra, se faz em locais separados, isolados fisicamente das instalações e áreas de manipulação de produtos comestíveis.

Quando o aproveitamento é adotado pelo matadouro, proporciona uma redução significativa da porção residual dos despejos.

Quase a totalidade dos resíduos de matadouros tornam-se subprodutos industriais, embora nem sempre a recuperação seja economicamente viável.

Os principais subprodutos industrialmente aproveitáveis são:

- **Couros** - Os couros retirados das carcaças, são vendidos diretamente para curtumes, podendo ser fresco (logo após sua retirada) ou verde (após repouso em solução de cloreto de sódio), (Figura 2.23).
- **Sangue** - O sangue dos animais abatidos constitui um volume considerável de resíduo. NEMEROW (1977), afirma que a recuperação de sangue implica em diminuir de até 42% da carga orgânica total dos despejos de matadouros, pois a DBO do sangue bruto está em torno de 162.000 mg/L. O sangue pode ter dois destinos: venda direta “in natura” para indústrias que se dedicam ao seu beneficiamento, ou seu processamento no próprio matadouro. No caso da venda direta, esta deverá ocorrer no mesmo dia do abate, para evitar a deterioração do produto. O sangue será processado para a obtenção de farinha de sangue, albuminas, sangue solúvel em pó e corante.
- **Vísceras não comestíveis e pedaços condenados** - Ao longo da linha de trabalho, um grande número de pequenas partículas de carcaças atinge o piso e por essa razão são condenadas para o consumo humano (Figura 2.24). Esses resíduos, somados às peças ou cortes condenados por razões sanitárias e as peças tradicionalmente não utilizadas como produtos comestíveis, são destinados à

graxaria, constituindo a matéria-prima para a produção de graxas e farinhas (Figuras 2.25 e 2.26).



**Figura 2.23** - Manipulação do couro.



**Figura 2.24** - Vísceras não comestíveis.



**Figura 2.25** - Graxaria.



**Figura 2.26** - Farinha de carne e osso.

- **Ossos** - Os ossos constituem subproduto de valor quando desengordurados e secos. Essa preparação é feita por via úmida, sendo os ossos submetidos a um cozimento, para separação de gorduras e resíduos carnosos aderentes. A gordura extraída é destinada a indústrias de sabão (Figura 2.27).
- **Cascos e chifres** - Os cascos e chifres são recuperados de forma simples, por via úmida. Tanto os cascos como os chifres são submetidos a um aquecimento em água fervente. Esse aquecimento facilita a separação dos “sabugos” ou suportes ósseos. Os “sabugos” entrarão na composição de produtos graxos e farinhas. Os chifres e cascos, depois de secos, podem ser vendidos “in natura” ou convertido em farinha.



**Figura 2.27** - Gordura extraída.

- **Esterco** - CAMPOS *et al.* (2002) afirma, que a contaminação do solo, lagos e rios pelos resíduos animais, a infiltração de águas residuárias no lençol freático e o desenvolvimento de moscas e gases mal-cheirosos, são alguns dos problemas de poluição ambiental provocados pelos dejetos animais. Segundo ALVIM (1999), dentre os animais domésticos, os ruminantes são os que produzem maior quantidade de dejetos, devido à quantidade e natureza de seus alimentos (Figura 2.28). Isso equivale a uma produção diária de aproximadamente 27 à 40 kg por animal, contendo 14% de matéria seca, 18% de cinzas, 26% de fibra bruta e 15,6% de proteína bruta. Possuindo esse potencial, os esterco são recuperados para aplicações no solo, para correção de áreas degradadas e têm utilização como ração animal e criação de minhocas.

As Tabelas 2.2 e 2.3 destacam as principais características físico-químicas dos dejetos, assim como os efluentes gerados em currais de confinamento.



**Figura 2.28** - Esterco.

**Tabela 2.2** - Valores médios de alguns parâmetros obtidos nos dejetos brutos (fezes e urina) dos animais confinados.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado</b>
pH	7,21
DBO5 (5 dias, 20°C), mg/L	18.028
DQO, mg/L	51.776
Sólidos Totais (ST), mg/L	148.550
Sólidos Fixos Totais, cinzas (SFT), mg/L	41.650
Sólidos Voláteis Totais, MO (SVT), mg/L	106.900
Umidade (%)	85,15
Nitrogênio Amoniacal (N-NH <sub>4</sub> ), mg/L	209
Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT), mg/L	3.021
Fósforo Total, (P) mg/L	1.152

**Fonte:** Adaptado de CAMPOS *et al.*, 2002.

**Tabela 2.3** - Valores médios de alguns parâmetros obtidos nos efluentes gerados em currais de confinamento.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado</b>
pH	7,40
DBO5 (5dias, 20°C), mg/L	4.024
DBO Solúvel, mg/L	1.019
DQO, mg/L	18.050
DQO Solúvel, mg/L	3.275
Sólidos Totais (ST), mg/L	62.110
Sólidos Fixos Totais, cinzas (SFT), mg/L	11.970
Sólidos Voláteis Totais ou MO (SVT), mg/L	50.140
Sólidos Suspensos Totais (SST), mg/L	20.350
Sólidos Sedimentáveis (SP), ml/L	550
Sólidos Suspensos Fixos (SSF), mg/L	4.390
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), mg/L	15.960
Nitrogênio Amoniacal (N-NH <sub>4</sub> ), mg/L	688
Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT), mg/L	1.672
Fósforo Total, mg PO <sup>4</sup> /L	305

**Fonte:** Adaptado de CAMPOS *et al.*, 2002.

## 2.5 - Despejos

Para BRAILE (1993), a análise das características dos despejos dos matadouros, não é tão simples. Devido a muitos fatores operacionais, é difícil caracterizar uma instalação típica e seus despejos. Esses despejos possuem valores altos de DBO, sólidos em suspensão, material flotável, nutrientes, componentes lignocelulósicos e graxos. Além disso, esses despejos apresentam-se com temperatura elevada e contém sangue, pedaços de carne, gorduras, entranhas, vísceras, conteúdo estomacal e intestinal, esterco, fragmentos de ossos.

Os despejos têm grande carga de sólidos em suspensão, nitrogênio orgânico e a DBO oscila entre 800 e 32000 mg/L, em função do grau de reaproveitamento e cuidados na operação.

Esses despejos são altamente putrescíveis, entrando em decomposição poucas horas depois do seu aparecimento, liberando cheiro característico dos matadouros de higiene deficiente. Os sólidos sedimentáveis podem chegar a várias dezenas de mL/L ou até 15 g/L. O aspecto dessas águas residuárias é desagradável, tendo cor avermelhada, pelancas e pedaços de gordura em suspensão (Figura 2.29); são praticamente opacas e em sua parte coloidal contam com a presença de microrganismos patogênicos, sempre que animais abatidos não estiverem em perfeito estado de saúde.



**Figura 2.29** - Despejo.

As principais características das águas residuárias provenientes de matadouros, estão descritas na Tabela 2.4, relacionando os principais parâmetros com pontos de geração de resíduos, e a Tabela 2.5 apresenta as principais características encontradas por outros autores.

**Tabela 2.4** - Características das águas residuárias de matadouros.

Procedência	Sólidos Suspensos mg/L	Nitrogênio Orgânico mg/L	DBO mg/L	pH
Sala de matança	220	134	825	6,6
Área de sangria	3.690	5.400	32.000	9,0
Cortes das peças	610	33	520	7,4
Manipulação de barrigada	15.120	643	13.200	6,0
Subprodutos	1.380	186	2.200	6,7

Fonte: NEMEROW, 1977.

**Tabela 2.5** - Caracterização de efluentes de matadouros realizadas por outros autores.

PARÂMETRO	UNIDADE	Sayed (1987)	Borja et. al. (1995)	Manjunat h et. al. (1999)	Núñez (1999)	Pozo et. al. (1999)	Caixeta et. al. (2002)	Torkian et. al. (2003)
pH	-	6.8-7.1	6.3	6.5-7.3	6.8	-	6.3-6.6	6.8-7.8
Temperatura	°C	20	-	-	-	-	-	27-36
D.Q.O	mg/L O <sub>2</sub>	1500- 2200	2450	1100- 7250	2500	2100	2000- 6200	3265- 14285
D.B.O	mg/L O <sub>2</sub>	490- 650	1550	600-3900	1400	1200	1300- 2300	914-1917
Sólidos S. Totais	mg/L	-	130	300-2300	530	950	850-6300	-
Óleos e Graxas	mg/l	-	-	125-400	150	110	40-600	-
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> / L	-	210	-	740	-	-	1208- 1713
Nitrogênio (N) Kjeldahl	mg/L	120- 180	150	90-150	-	220	-	-
Fósforo (P) Total	mg/L	12-20	6	8-15	-	-	15-40	-

## 2.6 - Impactos

Para DIAS (1999), os principais impactos ambientais negativos estão relacionados com a geração de efluentes líquidos que podem provocar a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, além de gerar odor indesejável na decomposição da matéria orgânica.

Podemos destacar também a contaminação atmosférica, através de odores desagradáveis provenientes dos resíduos gerados e poluição sonora que ocorre nas diversas unidades, principalmente nos currais e abastecimento de animais (descarregamento), área de abate e nas áreas de processos mecanizados.

O lançamento de despejos orgânicos pode causar dois tipos de influências químicas nocivas sobre o ambiente e os organismos: primeiro, o efeito direto, tóxico; segundo, a influência indireta, através da criação de condições anaeróbias ou pelo menos, de deficiência de oxigênio livre (BRANCO, 1986). Por qualquer dos dois caminhos – geralmente por ambos simultaneamente – a poluição orgânica pode alterar as características do ciclo biodinâmico de uma massa d'água. Por outro lado, a poluição orgânica pode constituir fonte de compostos micronutrientes, essenciais a certos tipos de microrganismos aquáticos.

A poluição ocorre largamente para o enriquecimento, em matéria orgânica, das águas receptoras. Essa contribuição varia quantitativa e qualitativamente, de acordo com a proveniência dos despejos.

De maior extensão, porém, são os danos causados pela redução do oxigênio dissolvido provocado pela presença dos compostos orgânicos na água. Essa redução é resultado da atividade dos organismos de respiração aeróbia que, continuamente, utilizam-se dos materiais orgânicos como fonte de alimentos oxidando-os, na respiração, a fim de liberar a energia neles contida, consumindo com isso, o oxigênio dissolvido.

Quando a disposição dos despejos se dá no solo, ocorre o carreamento de impurezas através da infiltração, podendo causar a poluição dos mananciais subterrâneos. Esse tipo de disposição ocorre, com o lançamento direto sem qualquer tratamento preliminar ou utilizando o efluente como forma de pós-tratamento, como ocorre na grande maioria dos matadouros do Estado. BALKS *et al.* (1996), afirma através de estudos, que esse tipo de disposição pode comprometer a permeabilidade do solo, devido à alta concentração de

sólidos suspensos presentes nesse tipo de efluente, e a atividade intensa dos microrganismos.

## 2.7 - Tratamentos de águas residuárias de matadouros

Devido ao elevado potencial de biodegradabilidade dos efluentes de matadouros, observa-se uma forte tendência da utilização de processos de tratamento por via anaeróbia. Podemos destacar os principais tipos de reatores anaeróbios, que vêm sendo utilizados para a redução da carga poluidora dessas águas residuárias: lagoas anaeróbias, decanto-digestores, filtros anaeróbios, reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) e reatores anaeróbios de leito expandido ou fluidificado. Esses reatores podem se apresentar individualmente ou em combinações com outros tipos, para atender a diversas situações de arranjos de unidades de tratamento. Os principais estudos realizados com esse mesmo intuito estão especificados na Tabela 2.6.

**Tabela 2.6** - Principais pesquisas realizadas com efluentes de matadouros.

Sistema de Tratamento	* COV Médio kg DQO / m3.d	** TDH dias	% DQO Removida	Referência
UASB Floculento	3,5	0,3	70	Sayed <i>et al.</i> (1984)
Filtro Anaeróbico (FA)	1,4	0,5	80	Campos <i>et al.</i> (1986)
UASB Granular	11	0,5-0,6	55-85	Sayed <i>et al.</i> (1987)
UASB-FA	5-32	0,1-0,5	45-98	Borja <i>et al.</i> (1995)
Leito Fluidizado	35	0,1-0,3	85	Borja <i>et al.</i> (1995)
UASB Floculento	6,5	1,2	60-90	Ruiz <i>et al.</i> (1997)
Reator Híbrido	4,6	1,5	90-96	Borja <i>et al.</i> (1998)
EGSB	15	0,2	70	Núñez e Martínez (1999)
UASB-FAD	4,0	0,4	90	Manjunath <i>et al.</i> (1999)
(UASB) 3 fases de separação.	2-6,2	0,75-0,9	85	Caixeta <i>et al.</i> (2002)
UASB	1,1-39,5	0,1-0,3	68-83	Torkian <i>et al.</i> (2003)

**Fonte:** Adaptado de NÚÑEZ e MARTÍNEZ, 1999.

\* Carga Orgânica Volumétrica; \*\* Tempo de Detenção Hidráulica.

### 2.7.1 - Tratamento anaeróbio

Para CAMPOS *et al.*, (1999), a digestão anaeróbia se processa biologicamente através da associação de diversos tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promovendo a transformação de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples como metano e gás carbônico. Os microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia são muito especializados e cada grupo atua em reações específicas. Nos reatores anaeróbios, a formação de metano é altamente desejável, uma vez que a matéria orgânica, geralmente medida como demanda química de oxigênio (DQO), é efetivamente removida da fase líquida, pois o metano apresenta baixa solubilidade na água. Assim, a conversão dos compostos orgânicos em metano é eficaz na remoção do material orgânico, apesar de não promover a sua oxidação completa, a exemplo de sistemas bioquímicos aeróbios.

Nos sistemas de tratamento anaeróbio procura-se acelerar o processo de digestão, criando-se condições favoráveis. Essas condições se referem tanto ao próprio projeto do sistema de tratamento, como às condições operacionais nela existentes. Em relação ao projeto do sistema de tratamento, têm-se duas prerrogativas básicas: (a) o sistema de tratamento deve manter grande quantidade de massa de bactérias ativas que atue no processo da digestão anaeróbia e (b) é necessário que haja contato intenso entre o material orgânico presente no afluente e a massa bacteriana no sistema. Quanto às condições operacionais, os fatores mais influentes são a temperatura, o pH, a presença de elementos nutrientes e a ausência de materiais tóxicos no afluente.

O desenvolvimento de reatores fundamentados no processo anaeróbio, ocorrido nas últimas décadas, vem provocando mudanças profundas na concepção dos sistemas de tratamento de águas residuárias. A maior aceitação dos sistemas de tratamento anaeróbio se deve a dois fatores principais: as vantagens (Tabela 2.7) consideradas inerentes ao processo da digestão anaeróbia em comparação com o tratamento aeróbio e a melhoria do desempenho dos sistemas anaeróbios modernos. O resultado foi um aumento muito grande não somente da velocidade de remoção de material orgânico, mas também da porcentagem de material orgânico digerido. O melhor desempenho dos sistemas anaeróbios, por sua vez, foi o resultado da melhor compreensão do processo de digestão anaeróbia, que permitiu o desenvolvimento de sistemas modernos, muito mais eficientes que os sistemas clássicos.

A tendência de uso do reator anaeróbio como principal unidade de tratamento biológico de águas residuárias deve-se, principalmente, à constatação de que fração considerável do material orgânico (em torno de 70%) pode ser removida, nessa unidade, sem que seja desperdiçada energia, ou que seja adicionado substâncias químicas auxiliares.

Unidades de pós-tratamento podem ser usadas para a remoção de parcela da fração remanescente de material orgânico, de forma a permitir a produção de efluente final com qualidade compatível com as necessidades que se impõem pelos padrões legais de emissões de efluentes e preservação do meio ambiente.

As principais vantagens e desvantagens, amplamente reconhecidas dessa concepção de sistema de tratamento, estão descritas na Tabela 2.7.

Uma visualização mais clara de algumas vantagens da digestão anaeróbia em relação ao tratamento aeróbio, é mostrada também na Figura 2.30, notadamente no que se refere à produção de gás metano e à baixíssima produção de lodo de excesso.

Nos sistemas aeróbios, ocorre somente cerca de 40 a 50% (em termos de DQO) da degradação biológica, no consumo de energia para o metabolismo dos microrganismos, com a conseqüente conversão de CO<sub>2</sub>. Verifica-se uma enorme incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 50 a 60%), que vem a se constituir o lodo excedente do sistema. O material orgânico não convertido em gás carbônico ou em biomassa deixa o reator como material não degradado (5 a 10%) junto com o efluente.

Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte de material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), que é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela de material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a se constituir o lodo excedente do sistema. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se via de regra, mais concentrado e com melhores características de desidratação. O material não convertido em biogás ou em biomassa deixa o reator como material não degradado (10 a 30%).

**Tabela 2.7** - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;</li><li>• Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos;</li><li>• Baixa demanda de área;</li><li>• Baixos custos de implantação, da ordem de 20 a 30 dólares per capta;</li><li>• Produção de metano, um gás combustível de elevado poder calorífico;</li><li>• Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;</li><li>• Tolerância a elevadas cargas orgânicas;</li><li>• Aplicabilidade em pequena e grande escala;</li><li>• Baixo consumo de nutrientes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A partida do processo pode ser lenta na ausência de lodo de semeadura adaptado;</li><li>• Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;</li><li>• A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas;</li><li>• Possibilidade de geração de maus odores, embora controláveis;</li><li>• Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;</li><li>• Remoção de nitrogênio, fósforo e patogênicos insatisfatória.</li></ul>

**Fonte:** Adaptado de CHERNICHARO, 1997.

### **2.7.1.1 - Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB)**

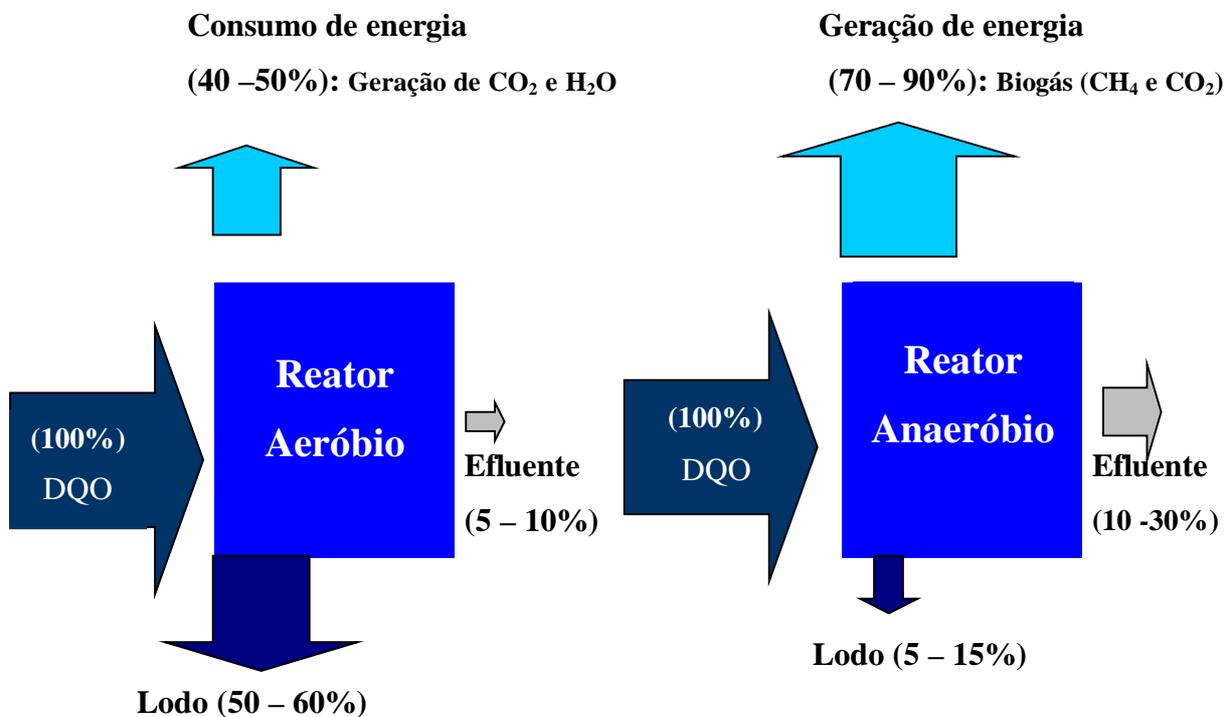
Segundo BERRUETA *et al.*, (1996), os reatores UASB são indubitavelmente o tipo de sistema anaeróbio de alta taxa mais extensamente difundido e aplicado no mundo.

O reator UASB apresenta a vantagem de tratar efluentes diluídos ou concentrados, de material particulado ou dissolvido, e de natureza simples ou complexa, com elevadas eficiências sob condições de operação relativamente simplificadas (KATO *et al.*, 1999).

Este tipo de reator inicialmente foi desenvolvido e aplicado na Holanda a partir de inúmeros trabalhos científicos, em escalas variadas, de diversos pesquisadores dentre os quais pode-se destacar Lettinga e colaboradores.

Apresenta vantagens de não necessitar de material de enchimento para dar suporte físico à biomassa ativa, ficando esta auto-aderida formando grânulos de granulometria variada, e formando um leito de lodo concentrado no fundo do reator.

Outra vantagem a se destacar deste tipo de reator é que o mesmo desempenha funções variadas não necessitando, na maioria dos casos, de unidades acessórias em separado, como decantadores primários, já que o fluxo ascendente favorece que o material particulado fique retido a partir da entrada do reator no leito de lodo, sendo então devidamente digerido nesta região.



**Figura 2.30** - Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios.

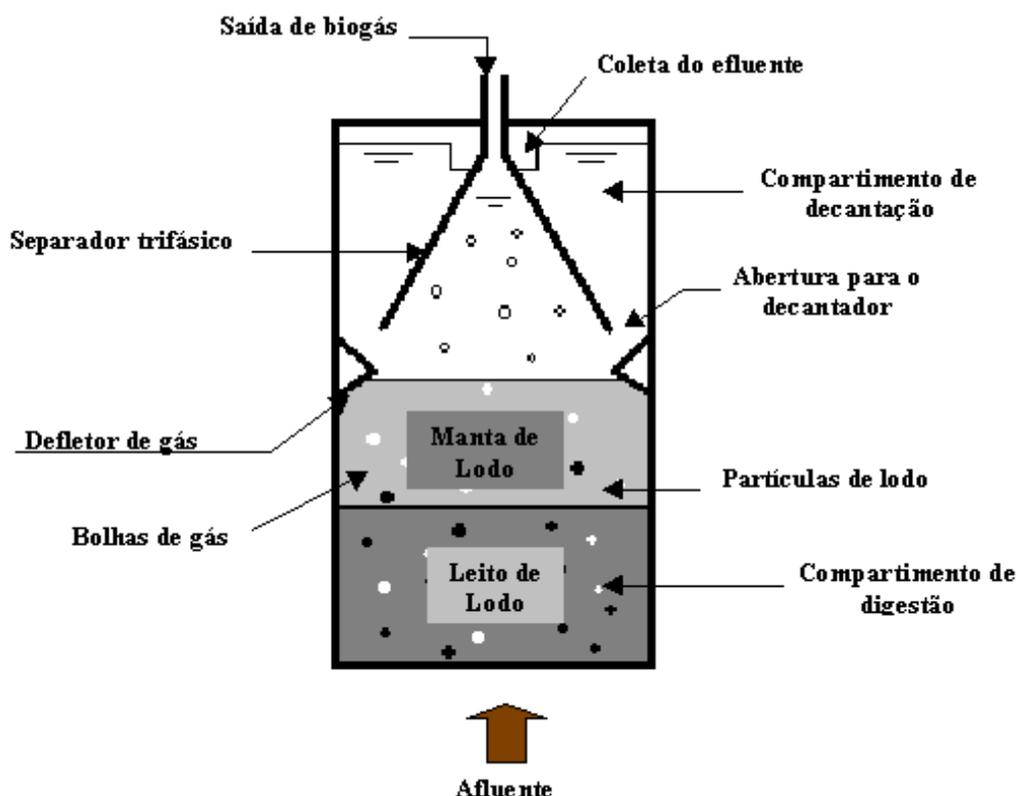
**Fonte:** Adaptado de CHERNICHARO, 1997.

Um separador trifásico instalado na parte superior do reator possibilita a retenção de grande parcela do material biológico e particulado no interior do reator, facilitando

também a separação da parcela do biogás produzido de forma dispersa e daquela aderida a grânulos que por ventura ascendem ao topo do reator (Figura 2.31).

O lodo anaeróbio devido à suas características de alta sedimentabilidade, permanece no fundo do reator, sendo esta região de alta atividade biológica denominada leito de lodo. Acima do leito de lodo encontra-se uma região mais dispersa denominada manta de lodo. Segundo CHERNICHARO *et al.*, (1999), a concentração de bactérias ativas no leito de lodo fica em torno de 4% a 10% (40 a 100 g ST/L) e na manta de lodo cerca de 1,5% a 3% (15 a 30 g ST/L). Segundo VON SPERLING (1996), a esses duas regiões pode-se denominar também zona de digestão. A maior parte dos processos biodegradativos ocorre na região do leito de lodo.

Operacionalmente os reatores UASB apresentam as vantagens dos processos anaeróbios de alta taxa tais como: pequenos períodos de detenção hidráulico (TDH), alta concentração de microrganismos ativos por unidade de volume, capacidade de suportar altas cargas biológicas e volumétricas, simplicidade de operação, baixa geração de lodo e baixos custos (POETSCH e KOETZ, 1998).



**Figura 2.31** - Desenho esquemático de um reator UASB.

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO, 1997.

### 2.7.1.2 - Critérios e parâmetros de projeto de reatores UASB

Na Tabela 2.8 apresentam-se os principais parâmetros de projeto, suas formulações matemáticas e seu significado.

**Tabela 2.8** - Principais parâmetros de projeto de reatores, sua formulação matemática e seu significado.

PARÂMETROS DE PROJETO	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	SIGNIFICADO
Tempo de detenção hidráulico	$TDH = \frac{V}{Q}$	Tempo necessário para que o efluente entre e saia do reator
Carga hidráulica volumétrica	$CHV = \frac{Q}{V}$	Carga hidráulica aplicada por unidade de volume do reator
Carga orgânica volumétrica (aplicada ao reator)	$COV = \frac{Q.S}{V}$	Quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator por unidade de volume.
Carga orgânica (aplicada ao lodo)	$COL = Q.S/M$	Quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator por unidade de biomassa ativa.
Velocidade ascensional de fluxo	$v = \frac{Q}{A} = \frac{H}{TDH}$	Velocidade com a qual o fluido se desloca no reator.

**Fonte:** Adaptado de CHERNICHARO *et al.*, 1999.

**Obs:** V (m<sup>3</sup>); Q (m<sup>3</sup>/d); TDH (d); CHV (m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup>.d); S (kgDQO/ m<sup>3</sup>); COV (kgDQO/ m<sup>3</sup>.d); COL (kgDQO/kgSVT.d); A (m<sup>2</sup>); H (m).

## 2.8 - Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

Os reatores anaeróbios dificilmente produzem efluente que atende aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. O pós-tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios, nesse caso, torna-se de grande importância, como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos dos esgotos (GONÇALVES *et al.*, 2001).

O principal papel do pós-tratamento é o de completar a remoção da matéria orgânica, bem como o de proporcionar a remoção de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como os nutrientes (N e P) e os organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos).

Um dos parâmetros que mais tem merecido a atenção dos órgãos de controle ambiental é a DBO. Vários Estados brasileiros têm imposto um limite de DBO do efluente de 60 mg/L, como é o caso, por exemplo, de São Paulo, Paraná e Minas Gerais. Em outros Estados, se tem utilizado o conceito de eficiência de remoção mínima, e em outros, ainda, como o Rio de Janeiro, a remoção mínima ou a concentração máxima de DBO, em função da carga orgânica bruta. No Rio Grande do Sul, foram estabelecidas concentrações máximas para faixas de vazões efluentes.

Este fato de limitações da DBO, seja qual for a legislação a ser considerada, tem sido, provavelmente, o que mais tem restringido o uso de sistemas anaeróbios (sem pós-tratamento), para o tratamento de esgotos (GONÇALVES *et al.*, 2001).

As principais modalidades de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios são:

- Pós-tratamento no solo (disposição no solo);
- Pós-tratamento em lagoas de estabilização;
- Pós-tratamento em reatores com biofilme;
- Pós-tratamento em reatores de lodos ativados;
- Pós-tratamento em sistemas de flotação;
- Pós-tratamento em sistemas de filtração;
- Pós-tratamento em sistemas de desinfecção;
- Pós-tratamento do biogás.

### **2.8.1 - Pós-tratamento em reator com biofilme (EGSB)**

O reator anaeróbio de leito expandido (EGSB), é considerado para muitos como um melhoramento do reator UASB, tendo em vista que a sua concepção é a mesma, diferenciando apenas as cargas hidráulicas aplicadas ou velocidades ascensionais, que pode atingir até 10 m/h. A geometria do reator EGSB é semelhante ao do reator de leito

expandido, com relação entre altura e diâmetro elevada. Usualmente a recirculação do efluente também é utilizada.

O reator EGSB em escala real tem sido utilizado para o tratamento de efluentes industriais de cervejarias e de processamento de alimentos, que, em muitos casos, se caracterizam pela geração de esgotos mais diluídos e, às vezes, em baixas temperaturas. São para essas condições que se aplicam muito bem os reatores EGSB, pelas suas características hidrodinâmicas, que resultam em alto grau de mistura e contato necessário entre os substratos e os microrganismos. Por esse motivo se indica para o caso de pós-tratamento, para a remoção de DQO remanescente. As experiências para pós-tratamento de efluentes domésticos se encontram ainda em fase de experimentação em escala piloto (GONÇALVES *et al.*, 2001).

## **CAPÍTULO 3.0**

---

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 - Generalidades**

Foram feitas visitas nos 5 matadouros da RMR (Região Metropolitana do Recife), onde foram avaliados seus principais aspectos estruturais e operacionais, para a identificação das condições favoráveis à implantação de uma estação piloto e posterior monitoramento de um reator UASB em um deles.

#### **3.2 - Levantamento dos matadouros na Região Metropolitana do Recife (RMR)**

O levantamento foi realizado em todos os matadouros da RMR e teve início em 26 de abril de 2001, sendo concluído em 24 de janeiro de 2002. Nesse período, além das visitas técnicas as instalações dos matadouros, foram realizadas pesquisas nas instituições que atuam junto a estes estabelecimentos: CPRH, CONSEMA, SPRRA e CRMV.

Foi definido um plano de pesquisa para a determinação dos principais aspectos dos matadouros visitados, tais como: sistemas de tratamento existentes, captação e consumo de água no processo industrial, números de abates semanais, raças e procedências dos animais, aproveitamento de subprodutos e destinação final de seus resíduos. Nesse plano de pesquisa definiu-se uma caracterização dos efluentes de todos os matadouros da RMR. Porém, em virtude da interdição e proibição da realização das coletas em alguns desses matadouros, por parte dos proprietários, foram realizados os trabalhos de caracterização apenas no matadouro do município de Jaboatão dos Guararapes.

### **3.3 - Amostragem no matadouro municipal de Jaboatão dos Guararapes**

O matadouro municipal de Jaboatão dos Guararapes localiza-se na Estrada da Piedade, 1365 – Socorro, Estado de Pernambuco; funciona atualmente em caráter de arrendamento e é administrado pela empresa MARANHÃO COMÉRCIO DE CARNES LTDA. Entre os matadouros visitados, foi o que ofereceu as melhores condições de trabalho, compatíveis com a expectativa inicial do projeto. A receptividade por parte da gerência, o menor percurso entre os matadouros visitados e a existência de uma estrutura disponível para a instalação da estação piloto proposta, favoreceram a tomada da decisão.

#### **3.3.1 - Geração e destinação dos resíduos**

Os resíduos líquidos produzidos nas diversas seções do processamento industrial, descritos no Capítulo 2, item 2.3, eram conduzidos a uma única tubulação de concreto armado, denominada de linha principal, que tinha como destino a ETE, localizada fora da área do setor de operações. Na estação de tratamento existiam três caixas de gordura, que eram limpas uma vez por mês, ou quando a linha principal ficava obstruída. Nessa linha estavam incluídos os resíduos da seção de abate e sangria, da seção de evisceração e manipulação das vísceras.

O matadouro abatia semanalmente entre 300 e 600 bois, das raças Zebuínas e Bubalinas, sendo a primeira mais significativa em termos de produção. O funcionamento era de segunda a sábado, e o horário variava conforme a demanda de abate semanal. Geralmente às sextas-feiras iniciavam-se os abates às 11:00 h e terminavam-se quase sempre depois das 21:00 h; nos outros dias o início se dava por volta das 13:30 h e terminava às 17:30 h. Toda a área de produção era lavada antes do início dos trabalhos; durante os trabalhos periodicamente havia outra lavagem e logo após o término dos trabalhos havia uma mais. Todas as águas de lavagem do expediente normal de operação, em todas as seções do processamento, seguiam para a linha principal. Também existia um sistema hidráulico de tubos suspensos perfurados, que permitia o banho dos bois durante a sua passagem no corredor que ligava os currais e o boxe de atordoamento. A água residuária era encaminhada à caixa de areia da ETE, através de um canal lateral proveniente dos currais, denominado de linha verde.

Foi estimada a vazão média diária, em função do volume de água utilizado por boi abatido nesse matadouro de 1 m<sup>3</sup>/boi, conferindo uma vazão total de 80 m<sup>3</sup>/dia em média. CAIXETA *et al.* (2001), estimaram uma geração de efluentes entre 0,9 e 1,4 m<sup>3</sup> por bovino abatido.

Os subprodutos gerados no processo industrial, tais como: vísceras não-comestíveis, órgãos e pedaços de carne condenados, chifres, unhas e ossos, eram encaminhados à graxaria. Os resíduos líquidos gerados nessa seção eram encaminhados para uma outra tubulação de concreto armado, conectada à linha principal.

### 3.3.2 - Descrição do sistema de tratamento existente

Durante todo o período de trabalho compreendido entre as fases de caracterizações, implantação da estação piloto e monitoramento (janeiro de 2002 a dezembro de 2003), o matadouro utilizava um sistema de tratamento que era composto das seguintes unidades, mostradas nas Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6 e 3.7:

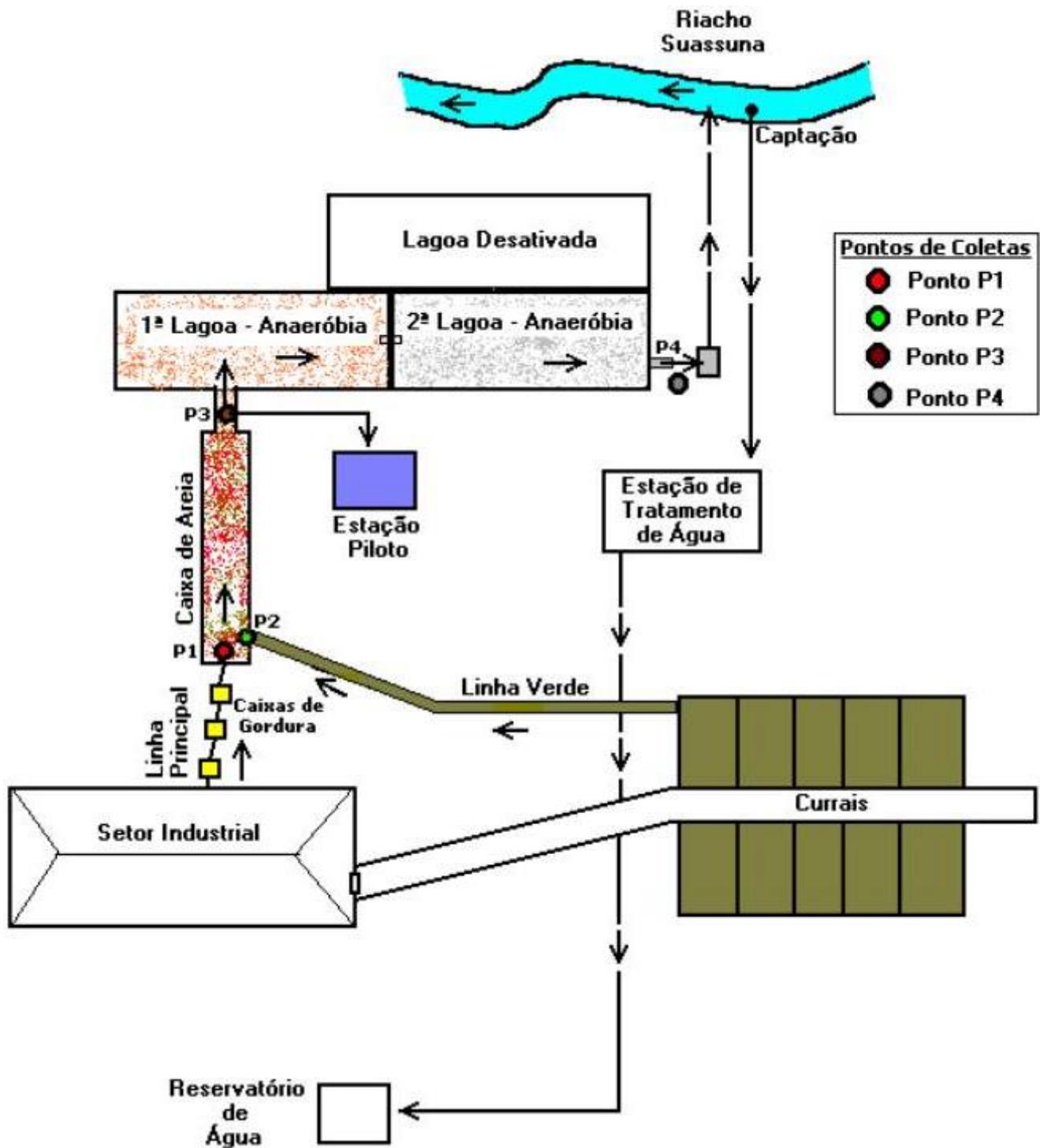
#### I. Tratamento preliminar

- Caixa de gordura, para remoção parcial de material grosseiro e gordura;
- Caixa de areia de seção única, para remoção de areia, parte dos subprodutos, gordura e material flutuante;
- Peneira de tela e/ou chapa perfurada para retenção e remoção dos sólidos grosseiros e restos de materiais particulados e suspensos, não retirados na caixa de areia.

#### II. Tratamento biológico (concepção original)

- Sistema de lagoas de estabilização, com três lagoas em série, sendo a primeira anaeróbia e as demais aeróbias.

Atualmente, a segunda lagoa também funciona com características de uma lagoa anaeróbia, devido sua profundidade (superior a 2 metros) e ao fato de não existirem mais os aeradores; a terceira lagoa encontra-se desativada em função da existência de várias rachaduras.



**Figura 3.1** - Layout da área do sistema de tratamento de efluentes, indicando as unidades de tratamento e os pontos de coletas utilizados para a caracterização e o monitoramento.



**Figura 3.2** - Vista da estação de tratamento de efluentes do matadouro de Jaboatão dos Guararapes.



**Figura 3.3** - Caixa de areia e ponto de coleta P2.



**Figura 3.4** - Sistema de gradeamento e ponto de coleta P3.

A caixa de areia de seção única possuía 1,90 m de largura, 17 m de comprimento e 2 m de profundidade e não possuía “by pass” para limpezas periódicas, dificultando seu funcionamento e reduzindo sua eficiência. A altura da lâmina disponível para passagem de seu afluyente e alcance do operador para as limpezas diárias era de apenas 30 cm. O

efluente da caixa de areia com presença constante de pelancas, pedaços de vísceras, pêlos, conteúdos estomacal e intestinal, era encaminhado a uma peneira de tela que antecedia uma outra peneira de chapa perfurada. Parte do material retido nestas peneiras, era removido manualmente com pás e desprezado ao lado da própria caixa de areia para secagem a céu aberto, até ser encaminhado com carro de mão para o terreno ao lado, como mostra a Figura 3.5, servindo de alimento a urubus e garças .

O afluente da primeira lagoa, quase sempre continha parte do material que não era previamente retido nas peneiras e por conta disso, a lagoa acumulou durante meses de operação imprópria, uma camada muito espessa e resistente de material flotante, que se adensou e compactou na parte superior da lagoa, como pode ser visto na Figura 3.6. Com o processo acelerado de acumulação do material flotante nos últimos meses de trabalho, foi necessário desobstruir a entrada da lagoa, com um desvio pela lateral interna até a segunda lagoa, que passou a receber seu afluente com as mesmas características mencionadas anteriormente, iniciando um lento processo de acumulação de material flotante, também para esta última lagoa.



**Figura 3.5** - Descarte inadequado de material retirado da caixa de areia.



**Figura 3.6** - Primeira lagoa com material flotante, formando uma espessa e densa camada em sua superfície, a segunda lagoa ao fundo seguida da terceira lagoa desativada.

O efluente da segunda lagoa era lançado diretamente em uma caixa de recebimento, que o distribuía diretamente no solo. O efluente percolava pelo solo até alcançar o riacho Suassuna, afluente do Rio Jabotão, situado a 80 m da estação de tratamento de efluentes, como indicado nas Figuras 3.7 e 3.8.



**Figura 3.7** - Detalhe da saída de efluente tratado da segunda lagoa anaeróbia, ponto P4 e da caixa de recebimento com o efluente percolando ao lado.



**Figura 3.8** - Riacho Suassuna, afluente do rio Jaboatão.

### 3.3.3 - Coleta de amostras

Foram efetuadas coletas em alguns pontos das várias unidades de tratamento e em horários vespertinos, obedecendo ao horário de funcionamento do matadouro. Como a jornada semanal tinha apenas a sexta-feira com produção de até 230 bois abatidos, bem superior aos demais dias que apresentavam uma média de 70 bois abatidos, inicialmente na primeira fase, optou-se por efetuar as coletas entre a segunda-feira e a quinta-feira, representando com isso, o volume de produção característico do matadouro, em seguida as coletas foram realizadas diariamente. Os resíduos provenientes da linha de produção, geralmente alcançavam a entrada da caixa de areia em um período mínimo de 30 minutos; em consequência disso, as coletas eram realizadas a partir das 14:00 h, para que a amostra representasse a produção do dia. Logo após as coletas as amostras eram encaminhadas diretamente ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-CTG-UFPE), onde as determinações eram realizadas em geral de imediato. Em caso de impossibilidade de realizar as análises no mesmo dia, as amostras eram acondicionadas em refrigerador a 5 °C, obedecendo aos prazos máximos previstos para cada parâmetro, segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1995).

### **3.3.4 - Caracterizações**

As caracterizações físico-químicas e bacteriológicas dos efluentes do matadouro objetivaram avaliar os valores dos principais parâmetros. A metodologia das análises seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1995). Foram adotados os parâmetros de: pH, temperatura, a série de sólidos totais e sólidos suspensos (membrana de filtração de  $47 \pm 0,5$  mm e  $1,2 \mu\text{m}$ , GF 52-C ME-28 da Scheucher e Schuell), óleos e graxas, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, ácidos graxos voláteis (AGV), cloretos, coliformes totais e fecais.

A primeira caracterização foi realizada com a coleta em apenas um ponto, tendo como referência a saída da caixa de areia (P3), já que este ponto apresentava um resíduo mais homogêneo. Pretendia-se com isso, obter valores mais representativos da característica do efluente desse matadouro, e comparar com os valores mencionados em bibliografias consultadas.

A segunda caracterização obedeceu a idéia, de se obter informações sobre a eficiência da ETE e avaliar as características de outros pontos representativos. Para isso foram realizadas coletas na entrada da caixa de areia (P1), na saída do canal proveniente dos currais (linha verde), conectado a entrada da caixa de areia (P2), na saída da caixa de areia, onde se processava a mistura dos resíduos dos currais e do processo industrial (P3), e na saída da segunda lagoa (P4), como destacado anteriormente na Figura 3.1.

A terceira caracterização foi realizada com amostragem composta, sendo as amostras coletadas no ponto P3, local determinado para as coletas de alimentação do reator piloto. Foram realizadas 5 coletas em intervalos de 1 hora, com início às 14:00 horas, término às 18:00 horas (30 minutos antes do final dos abates).

## **3.4 - Estação Piloto**

Um dos fatores determinantes para a seleção do matadouro foi a estrutura física do local. O matadouro municipal de Jaboatão dos Guararapes possuía próximo à ETE, um

abrigo destinado ao painel de controle dos aeradores superficiais, da configuração original da lagoa aeróbia (hoje anaeróbia) que estavam desativados, como mostra a Figura 3.2.

Nesse abrigo foi instalada a estação piloto, que era composta das seguintes unidades de tratamento:

- Pré-tratamento - peneira estática;
- Etapa biológica - reator UASB;
- Pós-tratamento - reator EGSB.

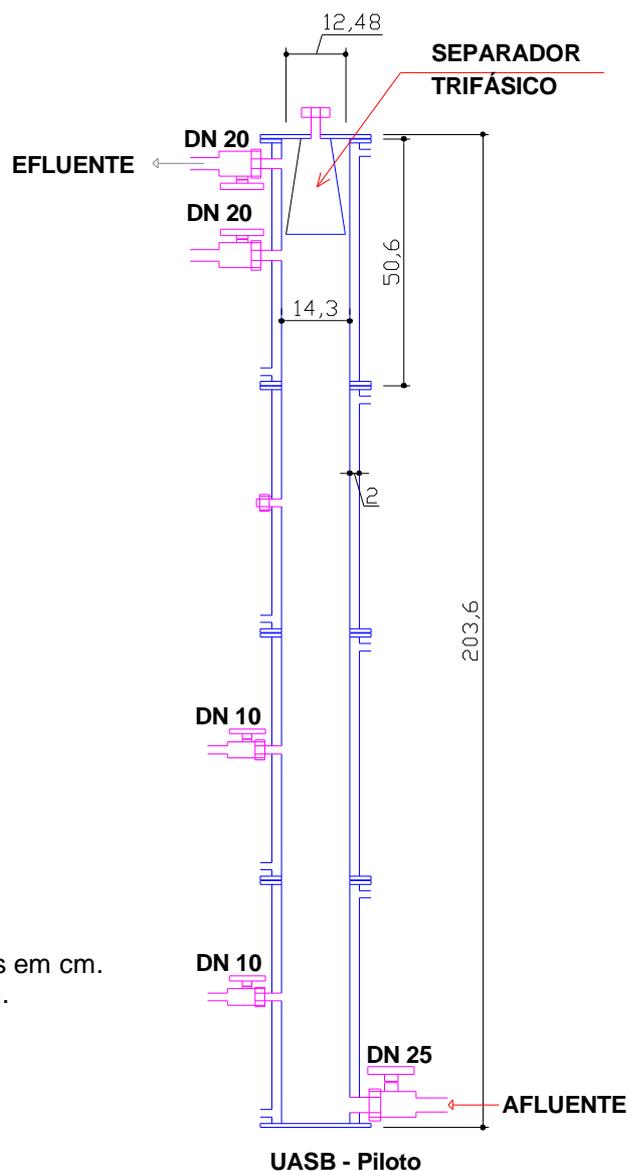
O abrigo existente foi adaptado para atender as necessidades da pesquisa e comportava os seguintes equipamentos: 2 reatores em acrílico, 1 reservatório de 200 L, 1 reservatório de 50 L, 1 reservatório de 20 L, 3 bombas dosadoras (Jesco DL-LIS/E - 5 L/h), 1 bomba dosadora digital (Jesco DL-LIS/E - 20 L/h), 2 bombas centrífugas (Schneider - 3,2 m<sup>3</sup>/h), sendo uma de reserva.

Antes de iniciar a operação da estação piloto, houve a preocupação com possíveis entupimentos da bomba dosadora; neste sentido foi projetada para a retenção de sólidos sedimentáveis (pré-tratamento), uma peneira estática com volume de 16 L, com peneira de tela metálica de malha com abertura de 0,81 mm, montada em estrutura de madeira, localizada na parte exterior da estação piloto, como mostra a Figura 3.9.



**Figura 3.9** - Peneira estática para remoção de sólidos suspensos do afluente do reator UASB (A), e detalhe da peneira em operação (B).

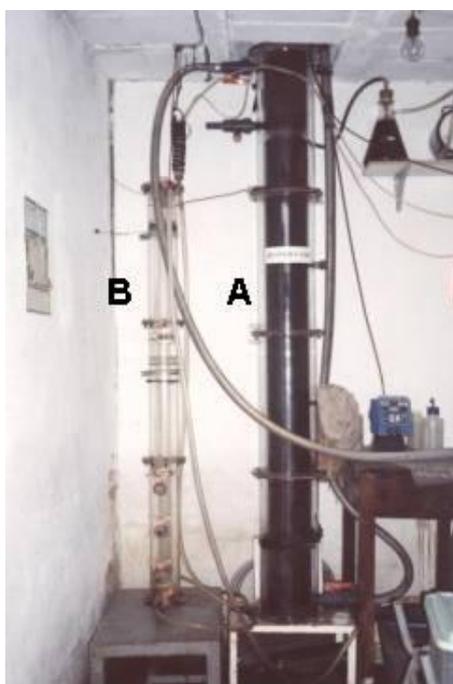
O tratamento secundário utilizado na pesquisa foi feito através do uso de um reator UASB, confeccionado em acrílico, possuindo 4 módulos de 50,6 centímetros totalizando 203,6 centímetros de altura e diâmetro de 14,3 centímetros, com volume total de 32,67 L. No desenho esquemático da Figura 3.10 apresentam-se os detalhes construtivos do reator UASB.



OBS: Todas as medidas em cm.  
DN = Diâmetro Nominal.

**Figura 3.10** - Desenho esquemático do reator UASB em escala piloto utilizado na pesquisa.

Durante o monitoramento foi proposto um estudo de pós-tratamento do efluente do reator UASB (piloto), como complemento dos estudos de tratabilidade. Para o pós-tratamento, foi utilizado um reator com alimentação contínua em escala de laboratório, com altura de 1,5 metro, diâmetro de 10 centímetros e volume total de 11,78 L, confeccionado em acrílico, e dividido em três módulos flangeados, com duas entradas inferiores. O regime para sua operação foi definido de forma a ser característico de um reator EGSB. Na Figura 3.11 apresenta-se a configuração do sistema de tratamento (reator UASB) e pós-tratamento (reator EGSB).



**Figura 3.11** - Sistema de tratamento e pós-tratamento de efluente de matadouro. Reator UASB (A) e reator EGSB (B).

### **3.4.1 - Partida e operação do sistema de tratamento**

A partida do reator UASB, em escala piloto foi dada, utilizando como inóculo, um lodo anaeróbio granular obtido de um reator UASB, em escala real, utilizado para o tratamento de efluentes de uma usina de açúcar, e alimentado com o resíduo bruto. A operação do reator piloto durou 460 dias, e foi dividida em cinco fases distintas, destacadas na Tabela 3.1.

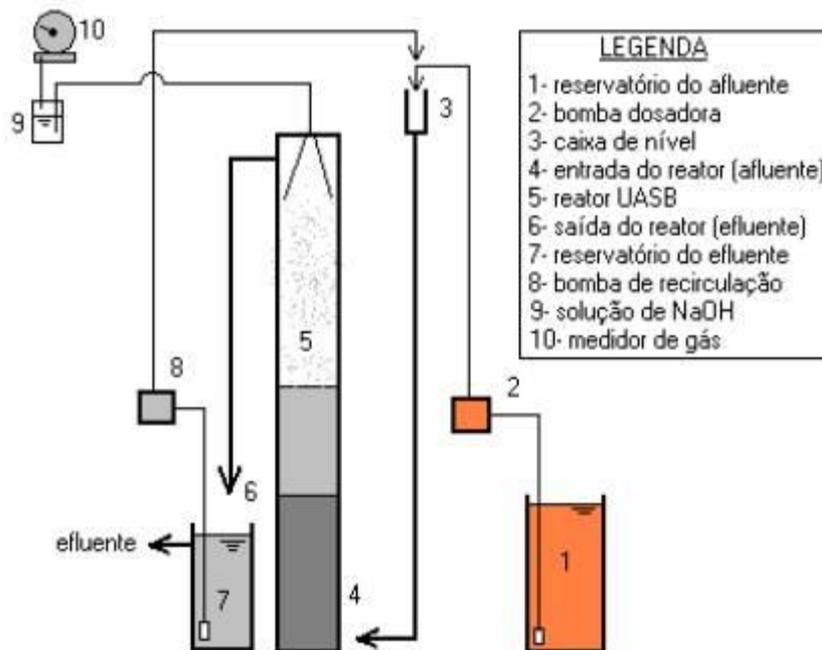
**Tabela 3.1** - Fases propostas de operação e monitoramento do reator UASB.

Fases de operação	Condições de Operação	Velocidade Ascensional	TDH	Duração das fases	Monitoramento reator UASB coletas/semana
I	Alimentação do reator com efluente bruto.	0,07 m/h em média	25 h	69 dias	3
II	Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente.	Entre 0,07 e 0,30 m/h	25 h	125 dias	2
III	a Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente.	Entre 0,30 e 0,70 m/h	20 h	58 dias	3
	b Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente.	1,00 m/h	20 h	36 dias	3
IV	a Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente.	0,50 m/h	12 h	35 dias	3
	b Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente.	1,00 m/h	12 h	49 dias	2
V	a Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente. Uso do pós-tratamento do efluente.	1,00 m/h	6 h	42 dias	2
	b Alimentação do reator com efluente bruto e recirculação do efluente.	0,50 m/h	6-21 h	46 dias	2

Na primeira fase, o armazenamento do efluente industrial foi feito em um reservatório de 200 L, que foi utilizado para alimentar o reator; o mesmo reservatório era preenchido com o efluente do matadouro 3 vezes semanais até a 6<sup>a</sup> semana, depois o preenchimento era feito 2 vezes por semana.

O reator era alimentado continuamente com o mesmo resíduo até a próxima coleta, através de uma bomba que fazia a dosagem em uma caixa de nível adaptada com uma garrafa PET, na parte superior do reator.

Na segunda fase, foi montado um sistema de recirculação do efluente do reator, utilizando outra bomba dosadora (Jesco DL-LIS/E – 5L/h) e um reservatório de 50 litros para armazenamento do efluente, aumentando com isso, a velocidade ascensional. O esquema de alimentação do reator e a recirculação do efluente encontram-se ilustrados na Figura 3.12. Nesta fase, o preenchimento do reservatório com o efluente do matadouro, para alimentação do reator, passou a ser efetuado diariamente durante todos os dias de funcionamento do matadouro.



**Figura 3.12** - Configuração do sistema de medição de gás, alimentação e recirculação de efluente do reator UASB.

Com a velocidade ascensional inicial de 0,30 m/h, a terceira fase manteve as coletas para a alimentação diárias; o mesmo procedimento de coleta ocorreu com a quarta fase que iniciou com velocidade ascensional de 0,50 m/h.

O biogás gerado no reator piloto e encaminhado para o separador trifásico, era coletado através de uma mangueira trançada envolvida com fita isolante (para evitar reações fotoquímicas com o  $\text{CH}_4$ ) e introduzido em um kitassato com uma solução de NaOH (30 g/L), de forma que o  $\text{CO}_2$  gerado conjuntamente no processo anaeróbio fosse retido, proporcionando apenas a medição do  $\text{CH}_4$ , visto na Figura 3.12.

### 3.4.2 - Partida e operação do sistema de pós-tratamento

Para o reator EGSB a sua partida foi dada apenas no começo da quinta fase de operação do reator UASB, onde permaneceu em operação até o fim do monitoramento. Na Tabela 3.2 apresentam-se as condições de operação e monitoramento do reator EGSB.

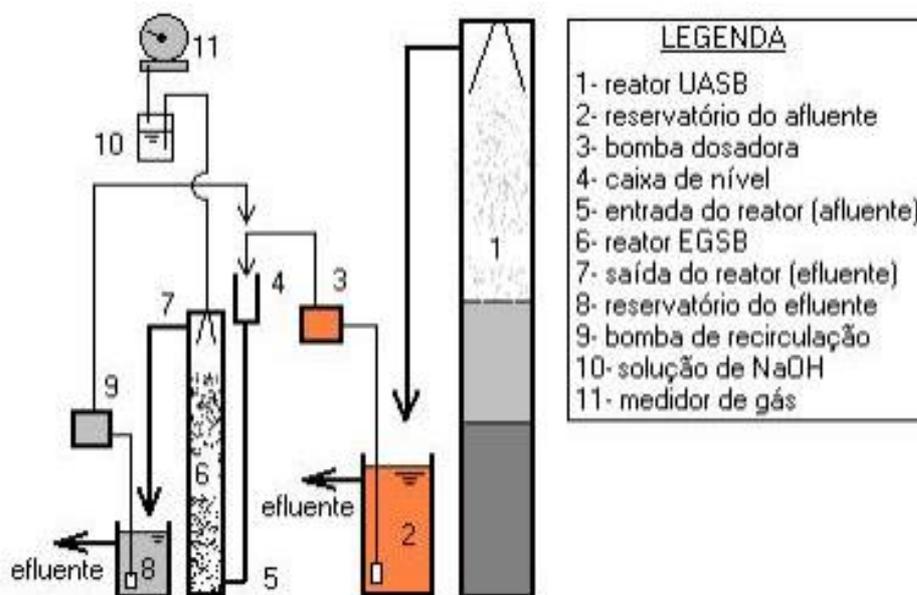
**Tabela 3.2** - Operação e monitoramento do reator EGSB.

Início da operação (*)	Condições de Operação	Velocidade Ascensional	TDH	Duração das fases	Monitoramento reator EGSB coletas/semana
V	Alimentação do reator com efluente do reator UASB e com recirculação.	2,5 m/h	6h	81 dias	2

(\*) Relativa às fases discriminadas para o reator UASB (Tabela 3.1)

O regime definido para sua operação era característico de um reator EGSB, com o tempo de detenção hidráulica de cerca de 6 horas e velocidade ascensional da ordem de 2,50 m/h, utilizando-se para isso, um sistema de recirculação de seu efluente. Foi utilizado como inóculo em sua partida, um lodo granular anaeróbico de indústria alimentícia.

O reator EGSB foi alimentado com o efluente do reator UASB, através do bombeamento desse efluente previamente recolhido em um reservatório, utilizando também uma caixa de nível para a regularização e distribuição da vazão afluyente ao reator EGSB, como mostra na Figura 3.13.



**Figura 3.13** - Configuração do sistema tratamento e pós-tratamento de efluente de matadouro durante a quinta fase (V).

### 3.4.3 - Coletas e procedimentos analíticos

Com a implantação da estação piloto, foi instalado um sistema hidráulico utilizando bomba centrífuga, que proporcionou a coleta do resíduo diretamente do ponto P3, para a estação piloto e armazenando-o em uma bombona de 200 L. Os procedimentos de coleta relativos aos horários obedeceram aos mesmos do item 3.3.3.

Durante as fases de monitoramento, as coletas referentes ao monitoramento do reator UASB foram realizadas na bombona de armazenamento (afluente ao reator) e na saída do reator (efluente ao reator), em três coletas semanais. O procedimento de coleta para o monitoramento da primeira fase (I), obedeceu aos mesmos dias de coleta para o preenchimento da bombona. Na segunda fase as coletas para o monitoramento passaram a ser feitas duas vezes na semana, apenas no final da mesma fase as coletas voltaram a serem feitas 3 vezes por semana, permanecendo assim durante o período restante do monitoramento.

As coletas para o monitoramento do reator EGSB, foram feitas obedecendo aos mesmos dias de coletas do reator UASB. Foram realizadas coletas do afluente do reator EGSB (saída do reator UASB) e do efluente na saída do reator EGSB.

Para as coletas foram utilizadas garrafas de 2 litros. A temperatura e o pH do afluente e efluente foram medidos *in-loco*; os demais parâmetros: série de sólidos totais e sólidos suspensos (membrana de filtração, GF 52-C ME-28 da Scheucher e Schuell), alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO), ácidos graxos voláteis (titulométrico), cor e turbidez, eram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-CTG-UFPE), obedecendo as condições de preservação das amostras. Os métodos de coleta e procedimentos analíticos seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1995). Na Tabela 3.3 segue a lista de equipamentos utilizados nas análises dos parâmetros físico-químicos em laboratório.

**Tabela 3.3** - Lista de equipamentos utilizados nas análises físico-químicas.

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>MARCA/MODELO</b>
pHmetro digital	LT LUTRON, pH-206
Centrífuga	FANEM, 204-N
Agitador magnético	FANEM, 258
Espectrofotômetro	HACH, DR 210
Chapa de aquecimento	QUIMIS
Balança analítica (sensibilidade 0,0001g e capacidade 200g)	BOSCH, S 2000
Balança analítica (sensibilidade 0,0001g e capacidade 200g)	FARTORIUS, BL 210-L
Balança semianalítica (sensibilidade 0,1g e capacidade 5000g)	MARTE, A 5000
Turbidímetro	HACH, 2100 P
Colorímetro	NESSLER, Quanti 200
Estufa a 60-65 °C	FANEM, S15 SE
Estufa a 105 ±5 °C	FANEM, S15 SE
Muflas	QUIMIS, ALTRÔNIC
Bloco para digestão de nitrogênio (15 e 40 provas)	TECNAL
Destilador de nitrogênio	TECNAL, TE-036/1
Digestor de DQO	HACH, COD Reactor
Autoclave	PHOENIX
Capela de fluxo laminar vertical	PACHANE, 064/02
Kit destilador para óleos e graxas	FANEM
Sistema de microfiltração a vácuo	MPS
Agitador de tubos	FANEM, 251

### **3.5 - Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente**

Em virtude das características dos efluentes provenientes de matadouros, fez-se necessário a determinação prévia da sua tratabilidade anaeróbia. Os seguintes testes foram realizados:

- Testes de atividade metanogênica específica estáticos (AME), para os lodos anaeróbios granulares que seriam utilizados como inóculos do reator UASB e do reator EGSB;
- Testes de biodegradabilidade anaeróbia (BIO), estático e agitado, do efluente bruto do matadouro, com dois tipos de lodos anaeróbios granulares.

#### **3.5.1 - Atividade metanogênica específica (AME)**

O teste de atividade metanogênica objetiva a determinação da capacidade degradativa máxima de um determinado lodo anaeróbio em condições ambientais ótimas (temperatura, nutrientes disponibilidade de substrato pronto para ser degradado).

Os testes de atividade metanogênica específica (AME) foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental seguindo a metodologia proposta por FLORENCIO (1994) e FIELD *et al.* (1988). Foram realizados os seguintes testes de AME:

- Teste de AME do lodo anaeróbico de usina de açúcar, utilizado como inóculo do reator UASB piloto (AME 1);
- Teste de AME do lodo anaeróbico de indústria alimentícia, utilizado como inóculo do reator EGSB para pós-tratamento (AME 2);
- Teste de AME do lodo do reator UASB piloto após a operação de 460 dias, denominado lodo de matadouro (AME 3).

O teste estático de AME foi realizado em reatores batelada de volume total de 600 mL (preenchidos até 500ml) e em duplicata em uma sala devidamente climatizada a  $30^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . O volume de metano produzido foi medido indiretamente através do deslocamento de solução de NaOH (30 g/L) de uma garrafa de soro de 1000 ml invertida; o peso do líquido deslocado era determinado diariamente. Na Tabela 3.4 apresenta-se um resumo das condições experimentais utilizadas em cada teste de AME descrito.

**Tabela 3.4** - Detalhes operacionais dos testes de AME realizados.

Condições	AME 1	AME 2	AME 3
Massa de lodo (g)	20,0	20,0	10,6
Concentração do substrato - Acetato (g DQO/L)	4,0	4,0	3,0
Volume do reator experimental (L)	0,5	0,5	0,5
Concentração do lodo no reator (gSSV/L)	1,4	3,71	2,0
Porcentagem de SSV do lodo (%)	9,2	8,0	9,9

A partir desses dados foi traçada a curva de metano acumulada no tempo do experimento, cuja maior tangente fornece o valor da máxima atividade metanogênica específica ( $\text{ml CH}_4/\text{g SVT. d}$  ou  $\text{DQO-CH}_4/\text{g SVT.d}$ ) daquele inóculo e naquelas condições experimentais. Na Figura 3.14 apresenta-se a montagem do aparato experimental do teste de AME.



**Figura 3.14** - Montagem do aparato experimental do teste de AME e BIO 1.

### 3.5.2 - Biodegradabilidade anaeróbia

Os testes de biodegradabilidade anaeróbios foram realizados segundo metodologia proposta por FIELD *et al.*, (1988). Foram realizados dois testes de biodegradabilidade diferentes:

- Teste 1 - biodegradabilidade estática do efluente de matadouro, utilizando o lodo de inóculo do reator UASB piloto (BIO 1);
- Teste 2 - biodegradabilidade agitada do efluente de matadouro, utilizando o lodo retirado do reator UASB piloto após o monitoramento (BIO 2).

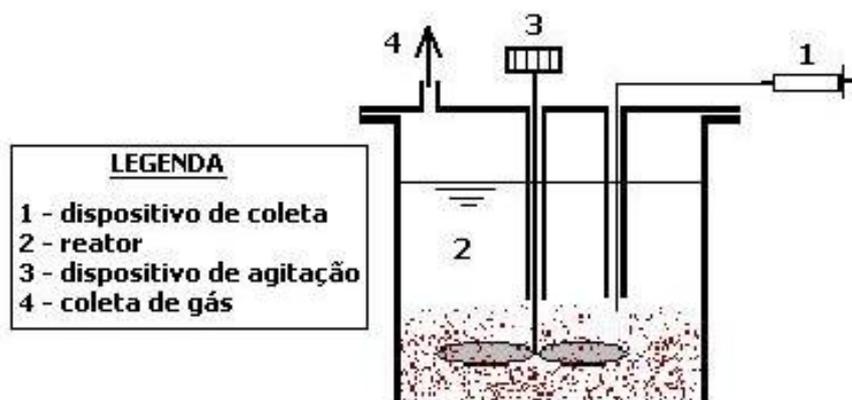
Foram utilizados no primeiro teste (BIO 1), reatores de 1 litro (garrafas de soro rosqueadas e dotadas de septos de borracha vedantes) nos quais foram introduzidos 29 g de lodo anaeróbico granular (8,9 % de SSV), de um reator UASB em escala real, para o tratamento de efluente de usina de açúcar. O restante do reator foi preenchido com efluente do matadouro até se alcançar a massa de 1kg, obtendo com isso, uma concentração de SSV no reator de 4,7 g SSV/L. Na Figura 3.14 apresenta-se a montagem do aparato experimental do teste BIO 1.

No segundo teste (BIO 2), foi utilizado o próprio lodo do reator UASB piloto, que operou continuamente por 460 dias. O objetivo desse teste foi avaliar a biodegradabilidade do efluente de matadouro, utilizando um lodo já adaptado. Para este teste foi utilizado um conjunto experimental que permitia o controle, através de timer pré-programado, da agitação da massa líquida (biomassa e efluente) nos reatores. Os reatores em formato cilíndrico possuíam 20 cm de diâmetro e 20 cm de altura, foram confeccionados em

acrílico e seu volume útil era de 5 L; também possuíam fechamento em sua parte superior, através de uma tampa flangeada com três orifícios: um para a medição do metano produzido, um segundo para amostragem do efluente e um terceiro, no qual ficava introduzida a haste dotada com pás em sua extremidade inferior, fazendo parte do sistema de agitação. Os orifícios destinados à amostragem e introdução do dispositivo de agitação, possuíam condutos afogados. Nas Figuras 3.15 e 3.16 apresenta-se o aparato experimental e o esquema construtivo do reator.



**Figura 3.15** - Equipamento utilizado para o teste de biodegradabilidade anaeróbia (BIO 2).



**Figura 3.16** - Esquema de funcionamento do reator utilizado no teste de biodegradabilidade (BIO 2).

Neste segundo teste (BIO 2), foi utilizado cerca de 108,54 g do lodo de matadouro (9,95% de SSV), sendo o restante do reator experimental preenchido com efluente bruto

até alcançar o volume de 5 L. Neste caso a concentração de SSV no reator foi de 2,15 g SSV/L. O dispositivo de agitação com rotação de 27 rpm, homogeneizava a massa líquida e a biomassa durante 15 minutos, após esse período o sistema permanecia em repouso durante 120 minutos, em uma proporção periódica de 1/8. Na Tabela 3.5 apresenta-se um resumo das condições operacionais para os testes de biodegradabilidade realizados.

**Tabela 3.5** - Detalhes operacionais dos testes de biodegradabilidade realizados.

<b>Condições</b>	<b>BIO 1</b>	<b>BIO 2</b>
Massa de lodo (g)	29	108,5
Volume do reator experimental (L)	0,5	5,0
Concentração do lodo no reator (gSSV/L)	4,7	2,1
Porcentagem de SSV do lodo (%)	8,9	9,9
DQO inicial do efluente (g DQO/L)	3,4	2,6

Os testes também foram realizados em duplicata em temperatura controlada a 30 °C  $\pm$  2 °C. A DQO centrifugada e filtrada foi medida diariamente, assim como o pH do sistema. Especificamente para o teste 2 (BIO 2) foram realizadas coletas intermediárias nas primeiras 24 horas. Através dos dados acumulados de decaimento da DQO no tempo, pode-se avaliar a biodegradabilidade anaeróbia do efluente de matadouro, para as condições experimentais dos dois testes realizados.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 - Matadouros da Região Metropolitana do Recife (RMR)

O resultado do levantamento das características operacionais dos matadouros da RMR, está apresentado na Tabela 4.1.

Os principais aspectos abordados nas visitas destacam características baseadas nas condutas de funcionamento em cada estabelecimento. Todos os matadouros apresentaram características físicas e operacionais bastante semelhantes, que revelam a manutenção de hábitos notadamente antigos e ultrapassados. Todos estabelecimentos operam de maneira precária tanto no aspecto tecnológico, como nos aspectos sanitário e ambiental, apesar de possuírem uma concepção de indústrias, com exceção do matadouro público de Ipojuca, que possui a finalidade de atender ao público local de modo geral. Os principais aspectos observados são discutidos a seguir.

O *número de funcionários* nos matadouros mostrou uma relação com suas capacidades produtivas. As pessoas que trabalhavam nos matadouros geralmente moravam próximo desses estabelecimentos, e possuíam uma baixa capacitação profissional, estando ainda sujeitas a condições inadequadas de trabalho e saúde. Foi observado também pessoas que não eram funcionárias circulando livremente por todo estabelecimento, inclusive na sala de matança, comprometendo a sanidade do local. No matadouro de Ipojuca, além das condições precárias de higiene a que eram submetidas as pessoas que trabalhavam, muitas vezes sem vínculo empregatício, havia inclusive a presença de crianças trabalhando no local, como mostram as Figuras 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.1** - Principais características operacionais dos matadouros da Região Metropolitana do Recife.

<b>MATADOURO</b>	<b>Jaboatão dos Guararapes</b>	<b>Igarassu</b>	<b>Ipojuca</b>	<b>Paulista</b>	<b>São Lourenço da Mata</b>
<b>ASPECTOS</b>					
N.º de funcionários	70	40	-	51	60
Origem da água utilizada no processo	Poço	Poço	COMPESA	Poço	Poço
Consumo de água no processo	1000 litros por bovino	1000 litros por bovino	<1000 litros por bovino	1000 litros por bovino	1000 litros por bovino
Tipo de tratamento de efluentes existentes	Primário e secundário	Primário	Nenhum	Primário	Primário e secundário
Corpos receptores	Riacho Suassuna	Rio Tabatinga	Rio Ipojuca	Rio Paratibe e Timbó	Riacho Caramelo
Origem dos bois abatidos	Minas Gerais, Goiás e Pará	Minas Gerais, Goiás, Pernambuco e Pará	Própria região de Ipojuca	Pernambuco, Maranhão e Pará.	Minas Gerais, Goiás, Pernambuco, Bahia e Pará
Raças predominantes	Mestiço*, Zebú**, Búfalo.	Mestiço*, Zebú**.	Zebú**	Mestiço*, Zebú**, Búfalo.	Mestiço*, Zebu**.
Capacidade de abate (instalada)	200 bois por dia	100 bois por dia	Não estimada	240 bois por dia	500 bois por dia
Capacidade de abate atual	300 bois por semana	230 bois por semana	50 bois por semana	300 bois e 200 porcos por semana	420 bois por semana
Subprodutos aproveitados	Couro, ossos e produtos não comestíveis (graxaria).	Couro, ossos e produtos não comestíveis.	Apenas o couro	Couro, ossos e produtos não comestíveis.	Sangue, couro, ossos e produtos não comestíveis (graxaria).
Destino da carne	Região Metropolitana do Recife	Região Metropolitana do Recife	Ipojuca	Região Metropolitana do Recife	Região Metropolitana do Recife

\* Mestiço: compreende as principais raças provenientes de cruzamentos (Indubrasil e Tabapuã).

\*\* Zebú: compreende todas as raças de origem zebuínas.



**Figura 4.1** - Condições impróprias de trabalho (matadouro de Ipojuca).



**Figura 4.2** - Presença de crianças trabalhando (matadouro de Ipojuca).

*A origem da água utilizada no processo, na grande maioria dos matadouros visitados, é de poços tubulares e semi-artesianos localizados próximos aos setores industriais e geralmente, sem tratamento ou controle de qualidade. Os matadouros de Jaboatão do Guararapes, Igarassú e São Lourenço da Mata, afirmaram realizar cloração na água desses poços antes da sua utilização, prática que não ocorria no matadouro de*

Paulista. Não foram realizados testes comprobatórios e confirmatórios dessas afirmações. Apenas o matadouro público de Ipojuca era abastecido pela rede de distribuição da COMPESA. Também foi observado no matadouro de Jaboaão dos Guararapes, a utilização da água do riacho Suassuna, que por sua vez recebia os efluentes da estação de tratamento do próprio matadouro, em pontos próximos da captação. A água captada no riacho (Figura 4.3), era encaminhada para uma pequena estação de tratamento de água que se encontrava desativada (Figura 4.4), e bombeada em seguida sem nenhum tratamento, para um reservatório na parte mais elevada da área externa do matadouro. Essa água também era utilizada nas atividades de lavagem do setor industrial, currais e dos animais durante o processo de abate do matadouro, e podia com isso, comprometer a qualidade dos produtos. Entretanto, posteriormente o matadouro passou a utilizar a água de um novo poço semi-artesiano com profundidade de 100 m, que não apresentou coliformes totais e fecais em uma única análise realizada.



**Figura 4.3** - Captação de água do riacho Suassuna (matadouro de Jaboaão dos Guararapes).



**Figura 4.4** - Estação de tratamento de água desativada (matadouro de Jabotão dos Guararapes).

O *consumo de água no processo* dos matadouros apresentou-se uniforme, em uma faixa média de 1000 L por boi abatido, considerando ainda que essa água atendia tanto o setor industrial, como os setores externos para lavagem de currais e caminhões. BRAILE (1993), afirma que esse consumo pode chegar a até 2.500 litros por animal abatido, apresentando-se portanto, bastante razoável a faixa de 1000 L/boi.

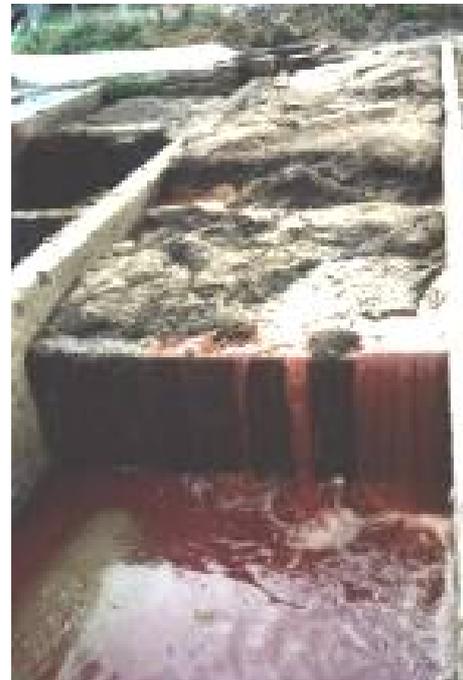
O *tipo de tratamento de efluentes existente* possuía a mesma concepção na maioria dos matadouros visitados. Era comum a existência de dispositivos rudimentares de retenção de sólidos sedimentáveis e material grosseiro flotante, como pré-tratamento apenas. A remoção desses resíduos era feita manualmente por operadores, sem condições adequadas de proteção individual. Nos matadouros de Jabotão dos Guararapes e São Lourenço da Mata haviam lagoas de estabilização como tratamento biológico. Apenas o matadouro de Ipojuca descartava todos seus resíduos em seu entorno, incluindo efluentes brutos diretamente no rio Ipojuca. As configurações de tratamento de efluentes mais comuns observadas nos matadouros visitados, assim como a forma de descarte dos resíduos, em Ipojuca, são apresentados nas Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.



**Figura 4.5** - Dispositivo simplificado de retenção de sólidos e material flotante danificado (matadouro de São Lourenço).



**Figura 4.6** - Vala de coleta e destinação de efluentes da sala de manipulação de vísceras, diretamente para o rio Ipojuca (matadouro de Ipojuca).



**Figura 4.7** - Dispositivo para retenção de sólidos e materiais flotantes (matadouro de Paulista).



**Figura 4.8** - Dispositivo de retenção de sólidos e materiais flotantes (matadouro de Igarassú).



**Figura 4.9** - Lagoas de estabilização (matadouro de Jaboatão).

Os *corpos receptores* dos efluentes brutos ou parcialmente tratados, localizavam-se sempre próximos aos matadouros, estando submetidos a elevadas cargas orgânicas, apresentavam-se bastantes degradados, assoreados com formação de bancos de lodo e apresentavam maus odores próximos aos matadouros. É importante destacar que esses matadouros estavam geralmente localizados em regiões bastante pobres e populares, onde uma parcela da população vivia próxima aos rios e por vezes faziam uso dessa água.

O matadouro de Jaboatão também foi denunciado em 4 de setembro de 2000 pelo Ministério Público, por descartar efluentes líquidos sem tratamento no afluente do Rio Jaboatão, (JC, 2000).

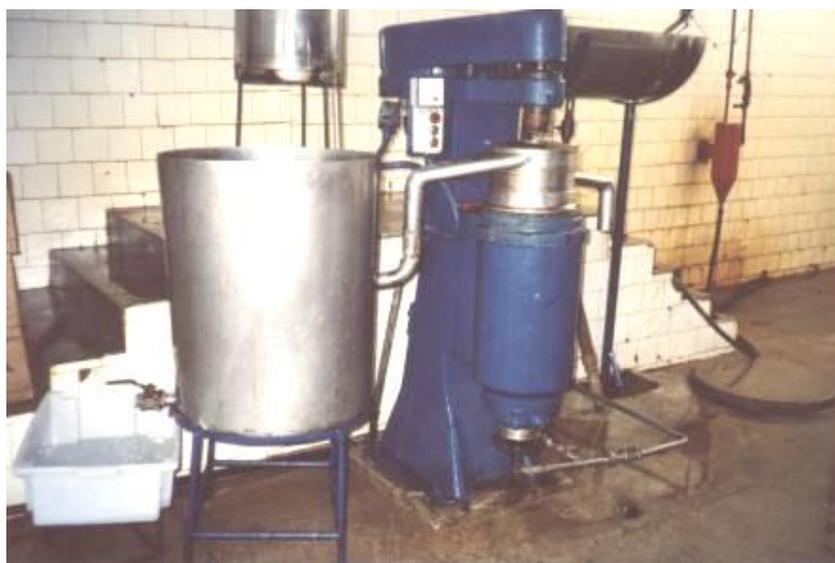
A *origem dos bois abatidos* na grande maioria dos matadouros era dos estados do Pará, Maranhão, Bahia, Minas Gerais e Goiás; os bois provenientes de Pernambuco eram em menor número, podendo chegar em alguns períodos a 5% do total dos bois abatidos. A produção de carne bovina em Pernambuco mostrou-se insuficiente, apesar de possuir mais de 1,6 milhões de cabeças em 2001 (IBGE, 2003). As *raças predominantes* advindas dos estados citados, eram representadas pelo grupo dos zebuínos, sendo o nelore e as raças mestiças como as mais comuns, em seguida os bubalinos em menor número. Particularmente em Jaboatão dos Guararapes, a chegada dos animais se dava praticamente todos os dias da semana, apresentando uma maior frequência nos dias de quinta-feira.

A *capacidade de abate (instalada)* refere-se ao potencial máximo de abate diário projetado para cada estabelecimento. Entretanto, o quadro da situação real para a *capacidade de abate atual*, mostrou-se bastante inferior. De acordo com FNP (1997) e MORICOCCHI *et al.*, (1995), uma mudança estrutural que possibilitou um deslocamento da produção primária e à modernização da bovinocultura nos estados do centro-oeste. Aumentou-se a oferta de boi gordo e possibilitou a criação de uma logística mais eficiente e o aproveitamento de incentivos fiscais nessa região, possibilitou a vinda de produtos de melhor qualidade e com preços mais atraentes ao mercado consumidor em Pernambuco, o que provocou uma queda significativa na procura dos produtos produzidos nos matadouros da RMR, que por sua vez apresentavam quase sempre, produtos de qualidade sanitária duvidosa.

O aproveitamento de subprodutos (*subprodutos aproveitáveis*) mostrou-se mais abrangente nos matadouros de São Lourenço da Mata, Jaboatão dos Guararapes e Paulista\*. Todos possuíam graxaria dotada de dispositivos básicos para o beneficiamento dos subprodutos gerados durante o processo industrial. Os subprodutos comumente recuperados dentre os matadouros citados eram: couro, vísceras não comestíveis, pedaços condenados, ossos, chifres e parte do esterco. O sangue era recuperado apenas em São Lourenço da Mata através de equipamento próprio para separação do plasma (Figura 4.10), para posterior comercialização. Com essa separação, a carga orgânica era reduzida nesses efluentes. NEMEROW (1977), afirmou que a recuperação do sangue reduz em até 42% a

\* Em 10 de dezembro de 2001, o matadouro de Paulista passou por processo de interdição pela vigilância sanitária, em consequência de precariedades nas condições básicas de higiene (JC, 2001).

carga orgânica total dos despejos de matadouros. O matadouro de Igarassú fazia a separação do sangue em um tanque. O recolhimento do sangue era feito semanalmente por caminhões pipa e destinado ao lixão do município. Quando não havia o recolhimento, o sangue excedente era descartado na área próxima através de um extravasor na parte superior desse tanque.



**Figura 4.10** - Equipamento utilizado para o beneficiamento do sangue (matadouro de São Lourenço).

Apesar de geralmente haver o aproveitamento dos subprodutos gerados, era comum se observar em alguns momentos, o descarte impróprio desse material nas proximidades dos matadouros. Esse descarte inadequado ocasionava a presença excessiva de urubus, ratos e inclusive de pessoas em busca de restos de vísceras e pelancas, como mostram as Figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14. Devido a esses problemas, o Ministério Público entrou em 4 de setembro de 2000, com uma Denúncia-Crime na Comarca de Jaboatão dos Guararapes contra a empresa Maranhão Comércio de Carne Ltda. O Ministério Público acusou a empresa arrendatária do matadouro do município de Jaboatão dos Guararapes, de dispor o lixo industrial a céu aberto e descartar efluentes sem tratamento no riacho Suassuna. De acordo com o promotor, essa foi a primeira ação para incriminar uma pessoa jurídica por danos ao meio ambiente com base na Lei 9.605/98 de Crimes Ambientais, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente, (JC, 2000 e ANTUNES, 2001).



**Figura 4.11** - Descarte de vísceras e esterco a céu aberto na área do matadouro de Ipojuca.



**Figura 4.12** - Descarte a céu aberto de ossos e chifres, próximo ao setor industrial do matadouro de Jaboatão dos Guararapes.



**Figura 4.13** - Presença constante de urubus em locais de descarte de resíduos.



**Figura 4.14** - Pessoas coletando restos de vísceras e pelancas no efluente do matadouro de Jabotão dos Guararapes.

O *destino da carne* desses matadouros era geralmente o mercado local, basicamente em feiras livres, açougues e pequenos mercados mais populares, que eram abastecidos principalmente nas sextas-feiras.

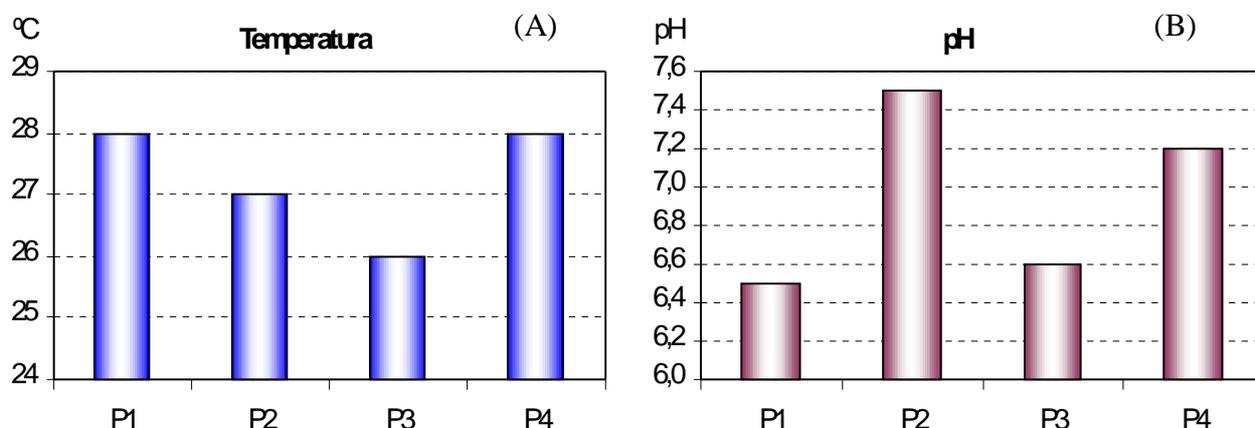
## 4.2 - Caracterização dos efluentes do matadouro de Jabotão dos Guararapes

Na Tabela 4.2, apresenta-se a caracterização físico-química dos pontos existentes no sistema de tratamento de efluentes do matadouro de Jabotão dos Guararapes (Figura 3.1).

**Tabela 4.2** - Caracterização dos principais pontos do sistema de tratamento de efluentes existente no matadouro de Jabotão dos Guararapes.

PARÂMETRO	UNIDADE	AMOSTRAGEM SIMPLES			
		01/04/02			
		P1	P2	P3	P4
Temperatura	°C	28	27	26	28
pH	-	6,5	7,5	6,6	7,2
D.Q.O	mg/L O <sub>2</sub>	1638	1655	1148	625
D.B.O	mg/L O <sub>2</sub>	1300	1100	900	430
Sólidos Totais	mg/L	1703	3358	1322	2898
S. T. Fixos	mg/L	589	1950	606	2495
S. T. Voláteis	mg/L	1110	1449	723	352
S. Suspensos Totais	mg/L	613	2187	567	231
S. S. Fixos	mg/L	208	1275	235	104
S. S. Voláteis	mg/L	369	912	332	127

Os valores apresentados na Tabela 4.2, estão relacionados às mesmas condições da segunda coleta da caracterização descrito no Capítulo 3, item 3.3.4. Todos os valores relacionados com as caracterizações, estão na mesma faixa dos valores encontrados para as caracterizações desse tipo de efluente estudado por SAYED (1987), BORJA *et al.* (1994), MANJUNATH *et al.* (1999), NÚÑEZ (1999), POZO *et al.* (1999), CAIXETA *et al.* (2001), TORKIAN *et al.* (2003). Os valores são apresentados nas Figuras 4.15 e 4.16. Onde os gráficos da Figura 4.15, mostram o comportamento da temperatura e do pH do efluente no decorrer do sistema de tratamento.



**Figura 4.15** - Comportamento da temperatura (A) e do pH (B) nos pontos de coleta.

O ponto P1 apresentou uma temperatura relativamente alta, em função do recebimento de efluentes da sala de matança e beneficiamento de vísceras, que conferem uma temperatura mais elevada, devido a temperatura do próprio sangue, bem como da água quente utilizada nos processos de limpeza de vísceras e de utensílios. Pelo mesmo motivo o pH apresentou-se ligeiramente mais ácido (6,5), estando de acordo com NEMEROW (1977), que destaca que os resíduos produzidos na sala de matança e manipulação de vísceras, apresentam pH um pouco abaixo da neutralidade.

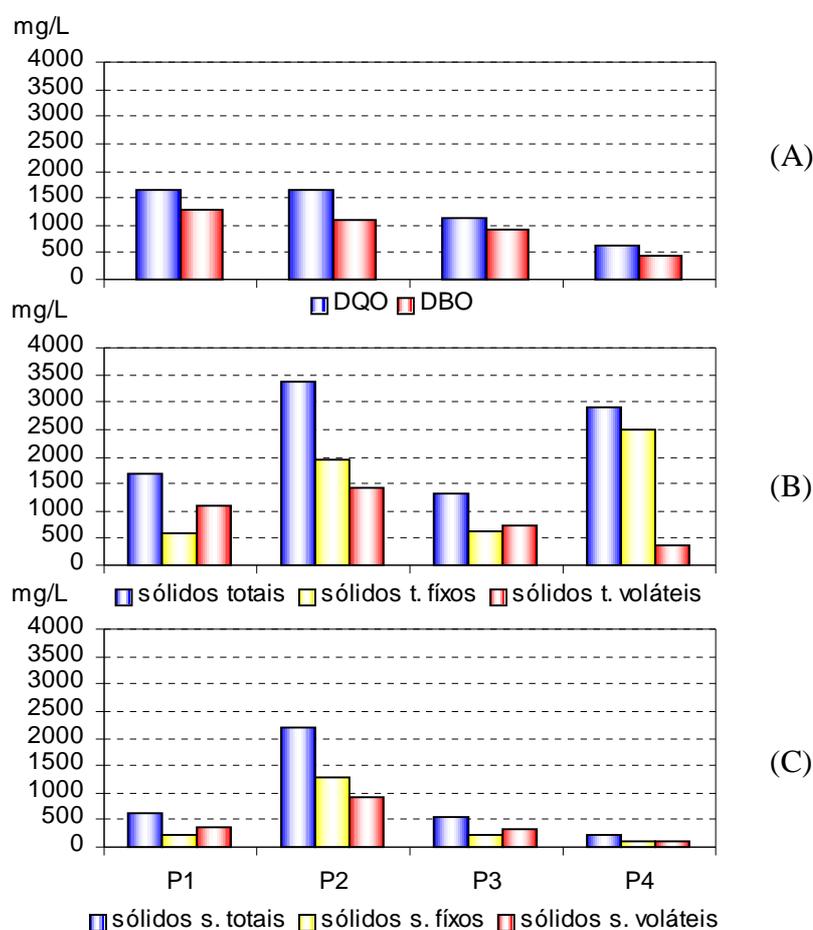
No ponto P2, existia apenas a influência dos despejos provenientes dos currais, apresentando-se porém, com temperatura ligeiramente inferior se comparada com a temperatura do ponto P1. O pH nesse ponto P2, se mostrou ligeiramente mais alcalino próximo da neutralidade. Em estudos realizados por CAMPOS *et. al.* (2002), em efluentes de currais de confinamento, foi encontrado um valor médio de pH em torno de 7,4.

Em conseqüência de haver mistura efetiva durante o percurso na caixa de areia, de ocorrer turbulências no posterior gradeamento e da ação dos ventos, o ponto P3 recebia um efluente com concentrações características, justificando a temperatura ser brevemente reduzida em relação aos pontos anteriores, o mesmo ocorrendo com o pH compatível ao do ponto P1, de onde sofre maior influência. SAYED (1987) e TORKIAN *et. al.*, (2003), encontraram valores muito próximos para temperatura e pH, em efluentes da mesma natureza, mostrados na Tabela 2.6.

A temperatura no ponto P4, que recebe o efluente da segunda lagoa anaeróbia, retoma a temperatura inicial, possivelmente devido a intensa exposição da lagoa ao ambiente. O aumento do pH observado no mesmo segmento do gráfico da Figura 4.15,

pode ser atribuído ao provável aumento da alcalinidade, devido a atividade microbológica na digestão anaeróbia. De acordo com CHERNICHARO (1997), a conversão de ácidos graxos voláteis intermediários, proteínas e aminoácidos, pode levar à formação de bicarbonato de sódio e bicarbonato de amônia, promovendo um aumento na alcalinidade. BERNARDINO (1998) e IDE *et. al.*, (2000), também observaram o aumento gradativo do pH em lagoas de estabilização em série, tratando efluentes de indústria frigorífica de bovinos.

O comportamento dos demais parâmetros, é mostrado na Figura 4.16.



**Figura 4.16** - Principais parâmetros da caracterização realizada nos pontos de coleta: DQO e DBO (A), série de sólidos totais (B) e série de sólidos suspensos (C).

A Figura 4.16 A, mostra as concentrações de DQO e DBO muito próximas, entre os efluentes da indústria (P1) e dos currais (P2), que neste caso se apresentou ligeiramente inferior ao do ponto P1, provavelmente devido a uma elevada concentração de sólidos totais fixos, visto no gráfico B da mesma figura, demonstrando que a presença de material inerte não produz demanda bioquímica de oxigênio. O ponto P2 apresenta uma característica muito comum relacionada com a presença constante e elevada de concentrações de sólidos (CAMPOS *et. al.*, 2002). É possível também observar a influência da caixa de areia na redução da DQO e DBO do ponto P3 (Figura 4.16 A), considerando a retenção principalmente de sólidos suspensos, apresentado no ponto P3 da Figura 4.16 C. Na seqüência do sistema de tratamento, foi visto que as lagoas anaeróbias que antecedem o ponto P4, promoveram a degradação de boa parte da carga orgânica presente no efluente do matadouro, como mostra a Figura 4.16 A, a concentrações mais reduzidas de DQO e DBO, com valores de 625 mg/L e 430 mg/L respectivamente. Os sólidos suspensos também apresentaram concentrações mais inferiores (Figura 4.16 C), entretanto, houve um aumento nas concentrações de sólidos totais, provavelmente devido ao arraste de material dissolvido presente na primeira lagoa, já que a mesma possui uma espessa camada de material flotante solidificado.

O sistema de tratamento de efluentes do matadouro de Jaboatão dos Guararapes, apresentou uma eficiência de remoção de DBO em torno de 67%, em uma carga diária estimada em 240 kg de DBO. Essa remoção mostrando-se insuficiente em relação a exigência de controle regida pela Norma Técnica da CPRH (2001), que atribui as fontes poluidoras com cargas superiores a 100 kg/dia, um remoção de no mínimo 90% de DBO.

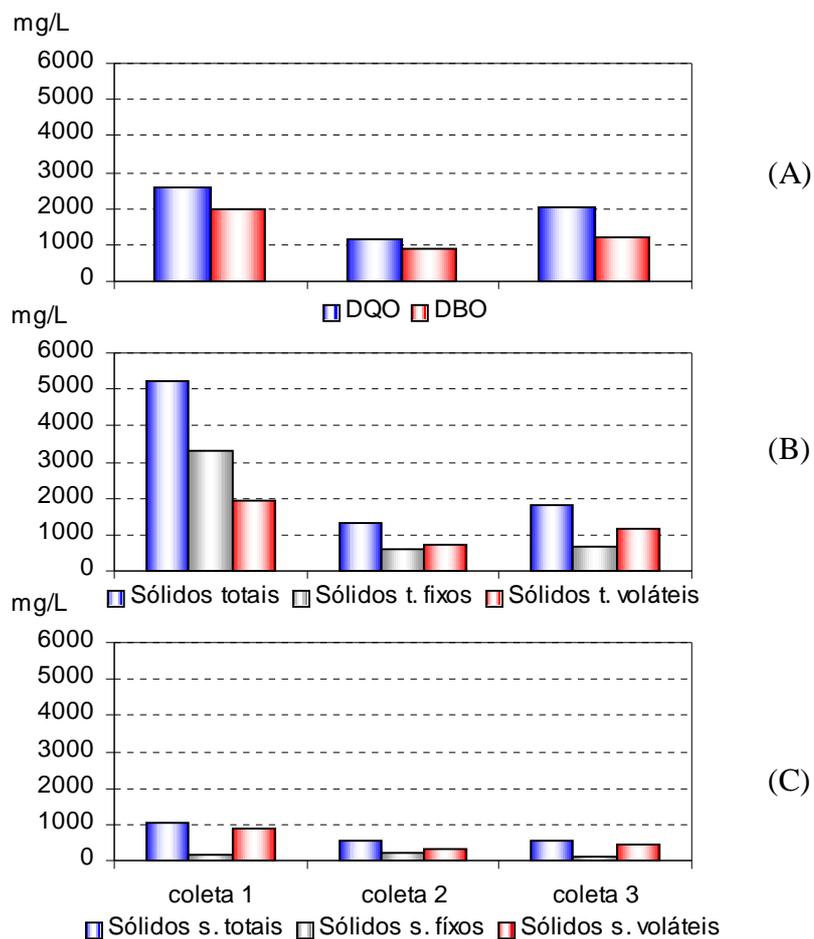
Na Tabela 4.3 apresenta-se a caracterização dos efluentes do matadouro de Jaboatão dos Guararapes, destacando o ponto P3 (ponto destinado as coletas para a alimentação do reator UASB). Esses dados foram levantados através de coletas e determinações analíticas ocorridas nos meses de janeiro, abril e maio de 2002, em amostragens simples e composta.

**Tabela 4.3** - Caracterização dos efluentes do ponto P3 em amostragens simples e composta.

PARÂMETRO	UNIDADE	AMOSTRAS SIMPLES		AMOSTRA COMPOSTA
		07/01/02	01/04/02	16/05/02
Temperatura	°C	28	26	-
pH	-	7,1	6,6	7,4
Cloretos	mg/l de Cl <sup>-</sup>	1800	-	-
D.Q.O	mg/L O <sub>2</sub>	2612	1148	2044
D.B.O	mg/L O <sub>2</sub>	2000	900	1200
Sólidos Totais	mg/L	5234	1322	1837
S. T. Fixos	mg/L	3293	606	656
S. T. Voláteis	mg/L	1941	723	1181
S. Suspensos Totais	mg/L	1050	567	555
S. S. Fixos	mg/L	150	235	115
S. S. Voláteis	mg/L	900	332	440
Óleos e Graxas	mg/l	98	-	139
AGV	mg/L	-	-	245
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	-	-	220
Nitrogênio (N) Kjeldahl	mg/L	-	-	158
Fósforo (P) Total	mg/L	-	-	16
Coliformes Totais	NMP/100mL	2,4x10 <sup>6</sup>	-	-
Coliformes Fecais	NMP/100mL	2,4x10 <sup>7</sup>	-	-

A caracterização dos efluentes gerados no processamento industrial, coletados no ponto P3, como pode ser observado na Tabela 4.3, apresenta valores bastante diferentes para o mesmo ponto P3 em datas diferentes. Essas diferenças podem ter ocorrido devido aos diferentes horários das coletas (que são passíveis de variações na vazão e contribuições das separadas etapas do processo industrial), exercendo assim, influência nas características das amostras dos efluentes.

Destacam-se nos gráficos da Figura 4.17, as oscilações dos valores para os parâmetros principais (DQO, DBO, série de sólidos totais e série de sólidos suspensos totais), segundo dados da Tabela 4.3.



**Figura 4.17** - Principais parâmetros destacados nas caracterizações realizadas para o ponto P3: DQO e DBO (A), série de sólidos totais (B) e série de sólidos suspensos (C).

A Figura 4.17 evidencia a influência que exerceram os diferentes períodos e etapas do processo industrial, nos parâmetros de DQO, DBO, série de sólidos totais e sólidos suspensos.

A primeira coleta realizada no mês de janeiro de 2002, no horário das 16:00 horas, apresentou valores mais elevados que as demais coletas. Esses resultados podem ser atribuídos, a uma maior intensidade das atividades do matadouro nesse horário, onde geralmente ocorrem os descartes de sangue, conteúdos estomacais e intestinais, associados às lavagens de equipamentos e currais, que contribuíam para o aumento das concentrações de sólidos. É notável também, a elevada concentração de sólidos totais fixos em relação

aos sólidos totais voláteis. Esse fato pode ser justificando pela interferência da lavagem dos currais com a presença de material inerte, que pode chegar a 30% da produção diária de dejetos por animal confinado, como afirmam FONTENOT *et. al.*, (1983) citados por ALVIM (1999). Também na mesma época, a tubulação que conduzia os despejos dos currais estava obstruída, fazendo com que o fluxo desse efluente fosse desviado pelo solo carreando areia até a caixa de areia (P3).

A segunda coleta foi realizada em abril de 2002 as 14:30 horas, e possuiu menores concentrações de matéria orgânica em relação as demais coletas. Essa coleta teve como objetivo, observar o comportamento dos principais pontos do sistema de tratamento de efluentes do matadouro. A Tabela 4.3 mostra os valores da caracterização desses pontos.

Esse resultado pode ser atribuído ao horário da coleta ter ocorrido no início das atividades do matadouro, onde o efluente inicial apresentava-se mais diluído, contendo sangue e água de lavagem, não recebendo portanto, contribuições consideráveis dos currais e demais etapas do processo industrial, justificando a DBO ser muito próxima da DQO (Figura 4.17 A).

A terceira coleta realizada em amostragem composta em maio de 2002, teve início as 13:30 horas e finalizou as 17:30 horas, apresentando portanto uma representatividade maior, abrangendo todas as fases de geração de águas residuárias do matadouro. Os parâmetros analisados, mostraram-se em uma faixa intermediária em relação a primeira e segunda coleta. Tais valores apresentaram-se muito próximos aos encontrados por NÚÑEZ E MARTÍNEZ (1999) e MANJUNATH *et. al.* (1999).

### **4.3 - Monitoramento da estação piloto**

#### **4.3.1 - Pré-tratamento**

No início do monitoramento foi realizado o teste com a peneira estática, para a verificação de sua viabilidade de aplicação na retenção de sólidos sedimentáveis, que eram em torno de 10 ml/L. Apesar de se mostrar eficiente na retenção de sólidos sedimentáveis, na ordem de 60%, durante seu funcionamento verificou-se que ocorria o acréscimo nas concentrações de sólidos totais e suspensos, no efluente da peneira estática em relação ao seu afluente. Esse fato pode ter ocorrido, devido ao processo de desfragmentação imposto

ao material particulado, quando houve a mudança abrupta do regime de fluxo hidráulico (laminar para turbulento), durante sua passagem pela bomba centrífuga. Nesse sentido, a peneira se mostrou desnecessária, tendo em vista que a bomba dosadora era dotada de um dispositivo de filtração desse tipo de sólidos, e o sistema se tornou problemático com constantes entupimentos, e dificuldades de limpezas e manutenção, obrigando a desativação da peneira estática ainda no início da fase (I). Foi necessário porém, instalar um sistema de retenção de sólidos sedimentáveis, através de telas plásticas, na válvula de pé com crivo instalada no ponto P3. A captação, através de uma bomba centrífuga, do efluente deste ponto para a estação piloto, reduziu consideravelmente a presença de sólidos particulados.

#### **4.3.2 - Etapa biológica**

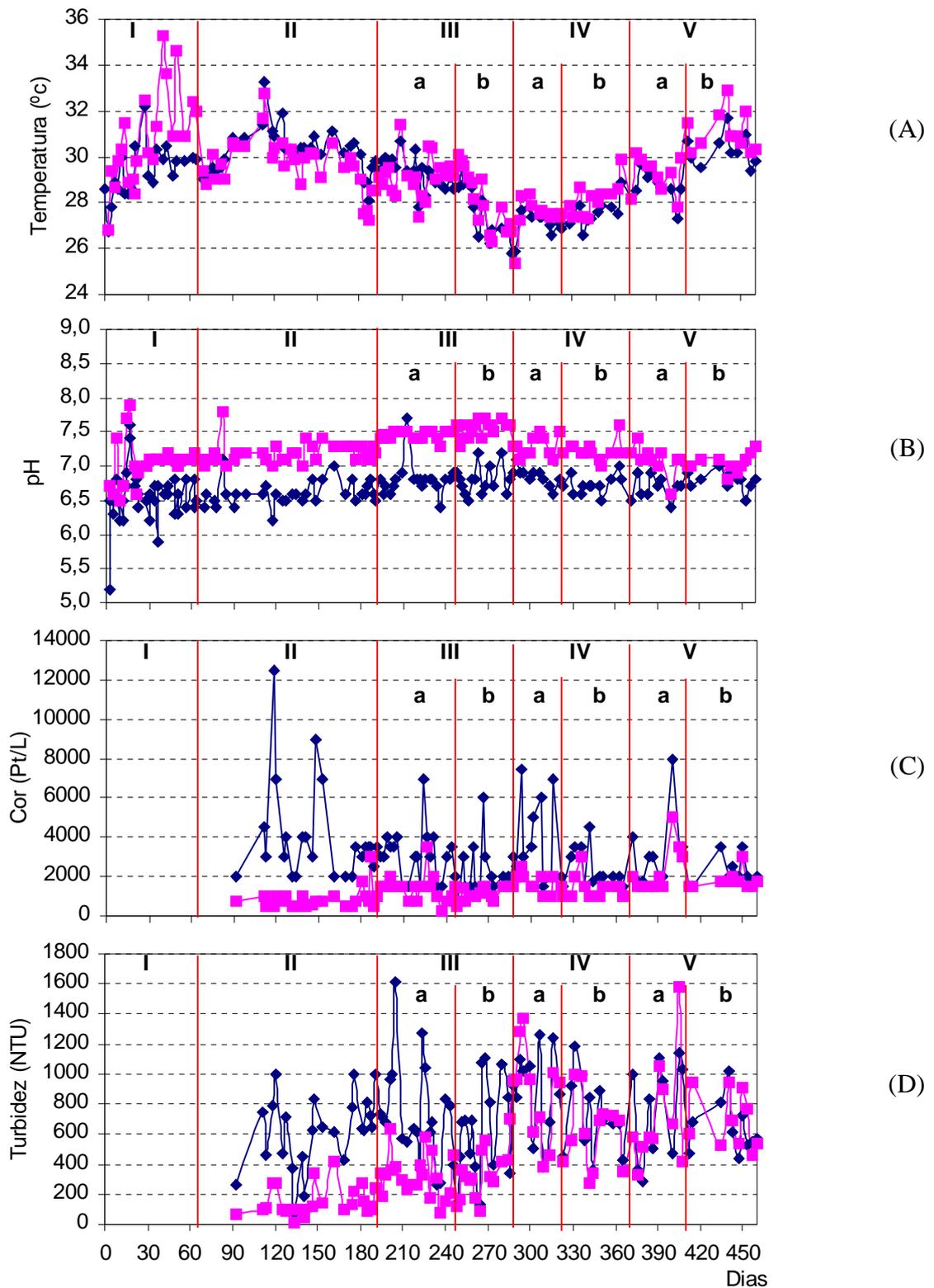
O monitoramento da estação piloto teve como objetivo principal, observar o desempenho do reator UASB, para o tratamento de efluentes de matadouros. Durante 460 dias de operação, foram realizados monitoramento da temperatura, do pH, da DQO bruta e filtrada, da alcalinidade, do AGV, da série de sólidos, da cor e da turbidez do afluente e efluente ao reator.

A Tabela 4.4 mostra as médias dos principais parâmetros de importância operacional, observados durante as 5 fases de operação do reator UASB.

**Tabela 4.4** - Médias dos principais parâmetros de importância operacional no decorrer das cinco fases de operação do reator UASB.

Fases	TDH horas	COV kgDQO/m <sup>3</sup> .d	COL kgDQO/kgSVT.d	Vas m/h	Eficiência DQO bruta %	Eficiência DQO filtrada %	Produção de gás L/d	Período dias	
<b>I</b>	31	2,08	0,06	0,07	74	86	-	0 - 68	
<b>II</b>	25	3,64	0,11	0,18	76	88	218	69 - 193	
<b>III</b>	<b>a</b>	<b>21</b>	5,18	0,15	0,61	59	83	193	194 - 251
	<b>b</b>	<b>22</b>	4,26	0,13	0,94	63	84	140	252 - 287
<b>IV</b>	<b>a</b>	<b>11</b>	6,54	0,19	0,52	51	82	354	288 - 322
	<b>b</b>	<b>12</b>	4,74	0,14	1,03	52	76	258	323 - 371
<b>V</b>	<b>a</b>	<b>6</b>	11,95	0,35	1,02	40	70	114	372 - 413
	<b>b</b>	<b>10</b>	7,45	0,22	0,52	33	58	149	414 - 460

Nas Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 apresentam-se os gráficos de todos os parâmetros monitorados em cada fase de operação do reator UASB.



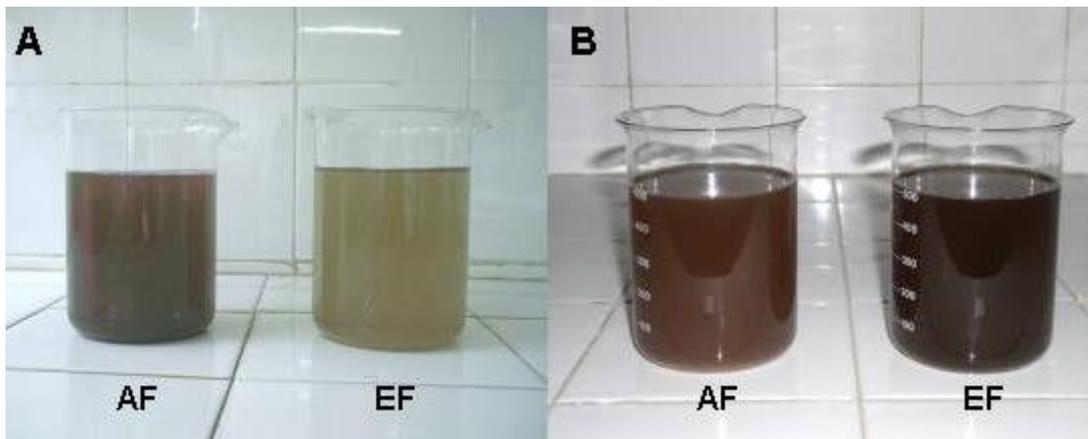
**Figura 4.18** - Parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação. Temperatura (A), pH (B), cor (C) e turbidez (D). Afluente (azul) e efluente (rosa).

A Figura 4.18 A, mostra o resultado das medidas de temperatura do afluente e do efluente do reator UASB. Observa-se uma correspondência direta, entre as duas medidas, sendo a de saída ligeiramente superior em quase todas as fases de operação. As temperaturas médias, observadas na Tabela 9.1, no apêndice, mostram a manutenção de uma faixa mesofílica entre as fases, com valores variando entre 25 e 35 °C, considerada uma faixa adequada para a atividade de microrganismos metanogênicos, (LETTINGA *et. al.* 1996). Observa-se entretanto, que as variações observadas na Figura 4.18 A, sofreram influência basicamente da temperatura ambiente.

O pH como se pode observar na Figura 4.18 B, apresentou-se praticamente constante em todas as fases do monitoramento, mantendo-se no efluente (entre 6,5 e 7,8) um pouco acima do afluente (6,2 e 6,8) em todas as fases.

Geralmente, com as fases de hidrólise e fermentação em equilíbrio, o pH no interior do reator se mantém próximo ou levemente superior a 7, (CAMPOS, 1999). CHERNICHARO (1997) afirma que para o crescimento ótimo de bactérias produtoras de metano, o pH deve se manter em uma faixa entre 6,6 e 7,4.

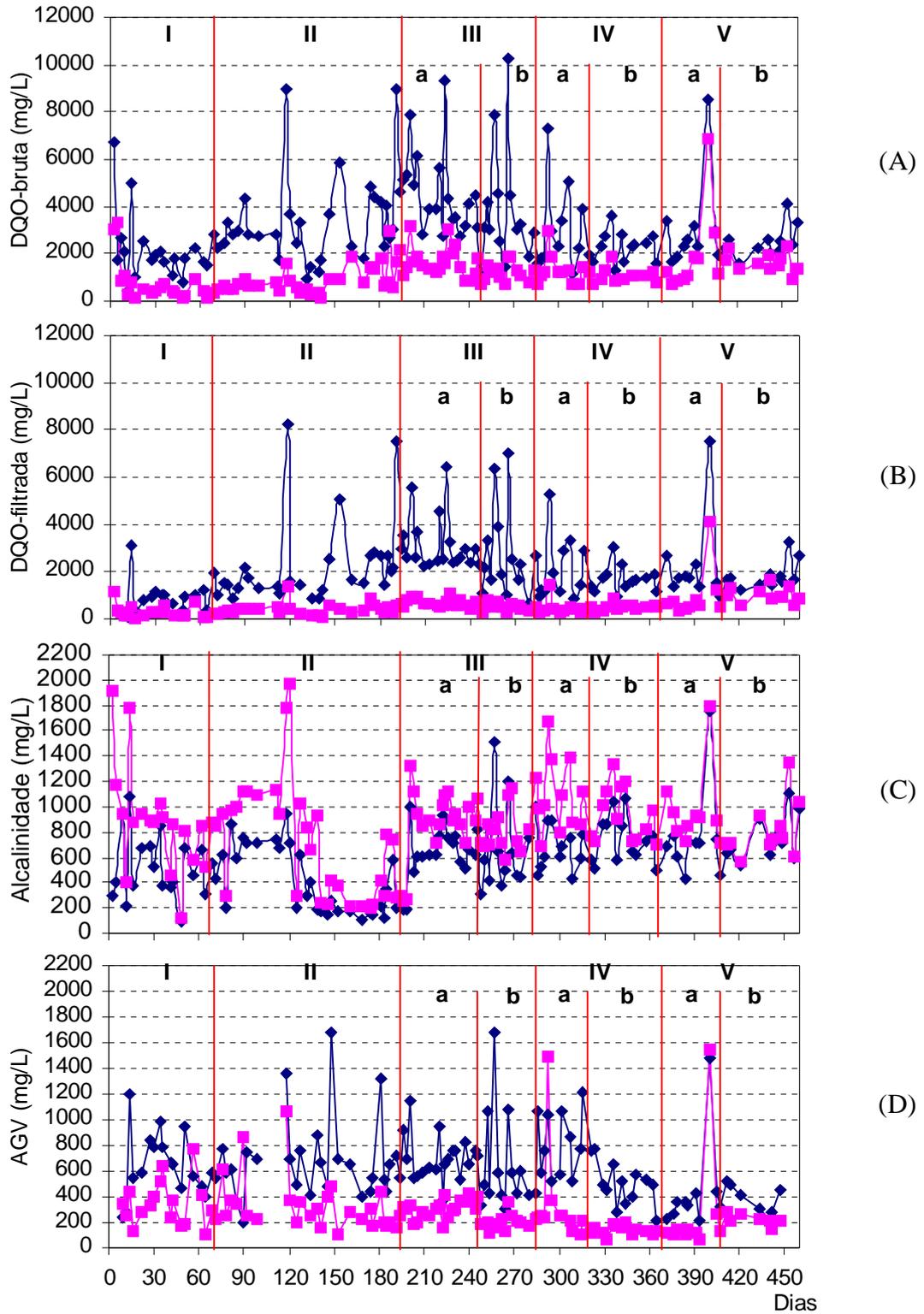
Podemos observar na Figura 4.18 C, o resultado da cor, do afluente e efluente do reator que apresentou na fase (II), uma eficiência média de remoção em torno de 74%. No decorrer das fases subseqüentes, a eficiência obteve reduções sucessivas até alcançar, na ultima fase, uma eficiência média de apenas 18%. Esse resultado geral foi em conseqüência das mudanças de regimes operacionais impostas ao reator, tornando-o menos eficiente na remoção de cor. A Figura 4.19 mostra o aspecto físico do afluente e do efluente ao reator, durante a segunda fase e quinta fase (última fase de operação).



**Figura 4.19** - Aspecto do resíduo na entrada e na saída do reator UASB, durante a segunda fase (A) e quinta fase (B).

A turbidez de saída, Figura 4.18 D, manteve-se inferior a de entrada, durante a fase (II) conferindo ao reator, uma eficiência de remoção média de 75% para um TDH médio de 25 horas. CAIXETA (2002) em estudo semelhante, utilizou um TDH de 22 horas, e obteve eficiência de 85%. A partir do início da fase (III), o comportamento da turbidez de saída se aproximou ao de entrada, que por sua vez, se manteve muito variável durante todo monitoramento, em função basicamente das características de geração de efluentes do setor industrial e da linha verde. Podemos considerar também, o provável arraste de material particulado mais fino do lodo, pela quebra de compostos de maior cadeia a outros de menor cadeia e mais solúveis. O aumento da velocidade ascensional, associado à intensa produção de gás, também pode ter favorecido o revolvimento da biomassa no leito e na manta de lodo, ocasionando a suspensão de material particulado elevando a turbidez de saída, podendo ser observado na Figura 4.19 (B), onde o aspecto do efluente apresenta-se mais escuro que o afluente.

Na Figura 4.20 são citados os parâmetros de monitoramento do reator UASB (DQO bruta, DQO filtrada, alcalinidade e AGV).



**Figura 4.20** - Parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação. DQO bruta (A), DQO filtrada (B), alcalinidade (C) e AGV (D). Afluente (azul) e efluente (rosa).

Os valores da DQO bruta observados na Figura 4.20 A, demonstra a nítida tendência que o reator UASB apresentou, em absorver picos de DQO afluente, devido oscilações freqüentes durante o processo produtivo. Este fato foi mais evidente durante a fase (III), caracterizada por apresentar maiores concentrações de DQO afluente, em função das coletas terem sido realizadas geralmente em horários de geração intensa de efluentes. A DQO bruta efluente, manteve sua concentração em uma faixa quase que constante, apenas sofrendo suaves elevações regidas pela modificação súbita das características do afluente, sendo capaz de rapidamente retornar às condições de eficiência anteriores. Esse fato é ainda melhor observado, quando comparamos com os valores da DQO filtrada mostrados no gráfico B da mesma figura, onde se obteve a DQO efluente quase constante e em uma faixa de 570 mg/L, durante quase todas as fases.

Foi percebido também, que pelo menos 50% em média da DQO efluente em quase todas as fases, era particulada, chegando a 64% apenas na fase (IV a).

Os efluentes de matadouro mostraram-se pouco alcalinos, na ordem de 600 mg/L em média, e bastante variáveis, tendo em vista o comportamento da alcalinidade afluente, vista na Figura 4.20 C. Houve também, uma correspondência por parte da alcalinidade efluente, que se mostrou superior ao da entrada. Esse fato pode estar relacionado com a conversão de ácidos graxos voláteis intermediários, e de proteínas e aminoácidos, que pode levar a formação de bicarbonato de sódio e bicarbonato de amônia (CHERNICHARO, 1997).

Houve uma redução da alcalinidade afluente durante a fase (II), que se estendeu até o início da fase (III a). Para essa mudança atípica, não foi detectada nenhuma mudança no processo que pudesse justificar tal variação.

Segundo METCALF e EDDY (1991), a faixa de variação da alcalinidade para um funcionamento satisfatório de sistemas anaeróbios deve estar entre 1000 e 5000 mg/L. Entretanto, as médias de alcalinidade de entrada durante o monitoramento, se mantiveram inferiores a faixa recomendada, não havendo porém, a necessidade de correção do pH.

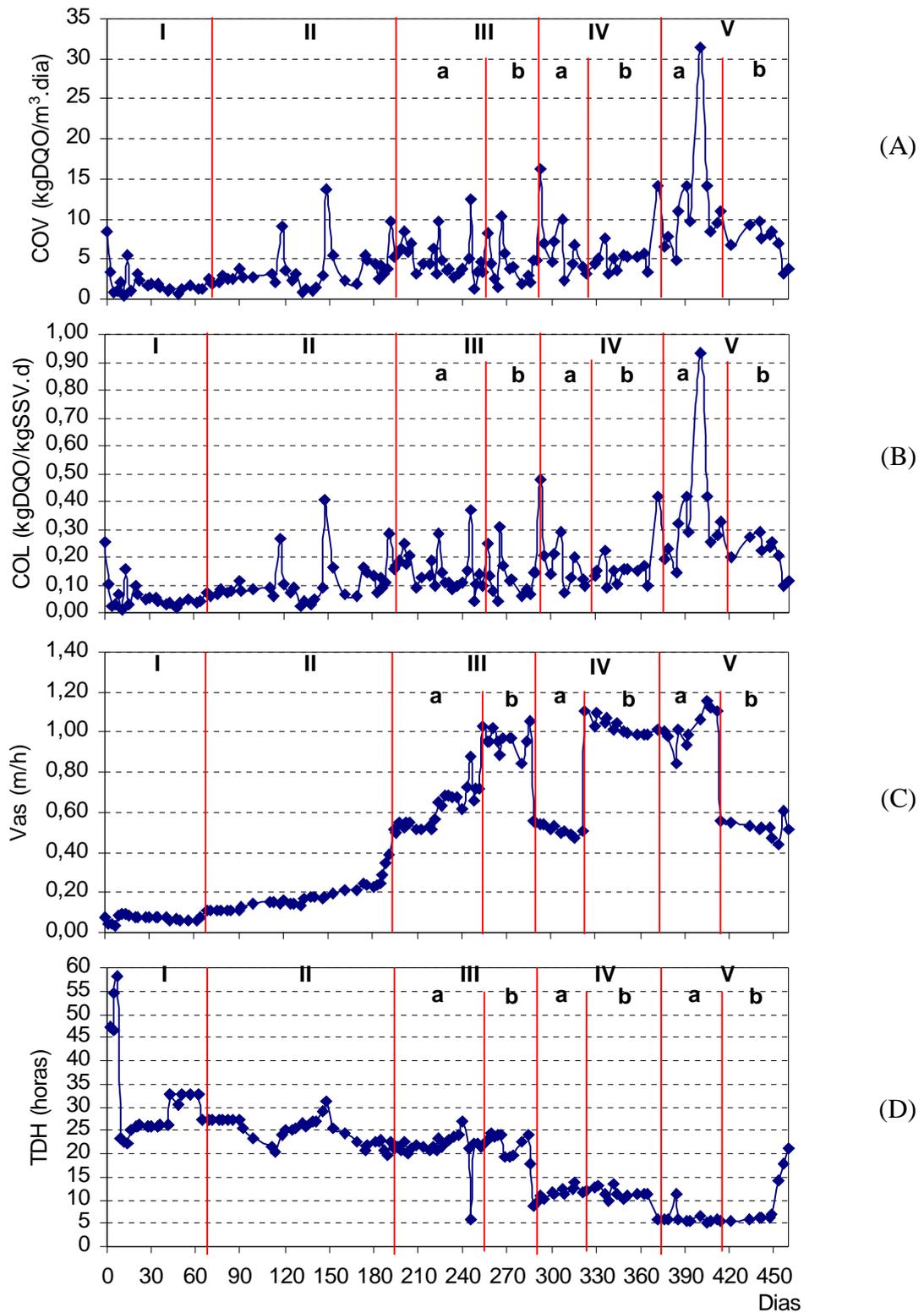
O AGV, da Figura 4.20 D, como a maioria dos parâmetros, apresentou variabilidade dos valores de entrada e saída durante a fase (I), até o final da fase (II). Todavia, em todas as fases o AGV de saída se manteve inferior ao de entrada, se tornando mais estável a partir do final da fase (II), onde se registraram variações apenas nos pontos

de transição de regimes e com adaptações posteriores (essa redução pode ter tido relação com o aumento da alcalinidade efluente, registrado no gráfico anterior).

Os valores do AGV obtidos permaneceram em uma larga faixa de 202 a 1680 mg/L, e 62 a 1550 mg/L, para o afluente e efluente respectivamente. Segundo METCALF e EDDY (1991), a faixa de variação para o funcionamento satisfatório de sistemas anaeróbios deve estar compreendido entre 1000 e 5000 mg/L para o afluente. Entretanto, apesar dos valores encontrarem-se, para o AGV afluente, abaixo do recomendado, as eficiências obtidas em relação a DQO, não foram aparentemente afetadas.

O alto valor de AGV efluente entretanto, pode indicar que ainda existiam ácidos voláteis de fácil degradação por rotas anaeróbias disponíveis no meio. Este fato, pode estar associado a uma maior fração de *archeas* metanogênicas possivelmente presentes, e mais aptas a degradarem o acetato a  $\text{CH}_4$ . Dessa forma os demais ácidos voláteis (propiónico, butírico, valérico e hexanóico) sendo menos degradados, seriam ainda detectados no efluente.

Na Figura 4.21 são vistos os parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação (carga orgânica volumétrica aplicada ao reator, carga orgânica aplicada ao lodo, velocidade ascensional e tempo de detenção hidráulica).



**Figura 4.21** - Parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação. Carga orgânica volumétrica (A), carga orgânica aplicada ao lodo (B), velocidade ascensional (C) e tempo de detenção hidráulica (D).

As cargas orgânicas volumétricas aplicadas ao reator e as cargas orgânicas aplicadas ao lodo, apresentadas nos gráficos A e B da Figura 4.21, mostram comportamentos correspondentes.

Para a partida do reator optou-se por utilizar o efluente bruto, já que o lodo apresentava afinidade com elevadas concentrações de DQO. Excepcionalmente no dia da partida, a DQO do afluente do reator foi de 9614 mg/L, o que conferiu uma carga orgânica volumétrica de partida de 8,5 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, voltando ao seu patamar característico médio para esse regime, em torno de 2,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, no decorrer da fase (I). Esse fato entretanto, não parece ter interferido na fase de partida do reator, em termos de eficiência, mesmo porque, as bactérias ainda estavam em fase adaptativa. É possível observar o aumento gradativo das cargas em resposta às mudanças de regime hidráulico, com ocorrências de picos no decorrer do monitoramento, atribuídos ao comportamento instável da DQO afluente, observado anteriormente na Figura 4.20 A.

SAYED (1987) recomenda, que para reatores UASB utilizados no tratamento de efluentes de matadouro utilizando lodo granular, a carga orgânica volumétrica máxima deveria ser de até 11,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.d. Entretanto, podemos observar na Figura 4.20 A, que em função basicamente dos valores de pico da DQO afluente, a carga orgânica volumétrica foi muitas vezes superior aos valores médios máximos, apresentados na Tabela 4.4. Os valores de pico 8,5, 13,7, 12,5, 16,1 e até 31,3 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, foram verificados nas fases I, II, III, IV e V respectivamente. Essas cargas de choque provocaram geralmente, quedas abruptas da eficiência de remoção de DQO do reator, provavelmente por sobrecarga orgânica. Entretanto, o reator mostrou-se capaz de retornar às condições de eficiências anteriores rapidamente, uma vez cessada a condição de estresse bacteriano.

Na Figura 4.21 B, apresenta-se a carga aplicada ao lodo, onde pode-se observar que apenas na fase (V a), o valor médio (apresentado na Tabela 4.4) ficou acima da atividade metanogênica específica do lodo anaeróbico utilizado no reator, que foi cerca de 0,29 kgDQO/kgSSV.d. No entanto CHERNICHARO (1997) recomenda, que a carga biológica não ultrapasse a atividade metanogênica máxima específica do lodo de inóculo.

Os valores de pico 0,25, 0,41, 0,37, 0,48 e 0,93 kgDQO/kgSSV.d, foram verificados respectivamente nas fases I, II, III, IV e V. Esses picos, em virtude de cargas de choque de DQO afluente, assim como já foram discutidos para a carga orgânica volumétrica, podem ter contribuído com efeito bacteriostático, promovendo a queda de

eficiência. Entretanto CHERNICHARO (1997) destaca que durante um regime permanente, dependendo do efluente, valores em torno de 2,0 kgDQO/kgSSV.d, podem ser alcançados. Já NDON e DAGUE (1997) citado por TORKIAN (2003), recomendam a manutenção da carga orgânica aplicada ao lodo em uma faixa entre 0,1 e 1,0 kgDQO/kgSSV.d, para esse mesmo tipo de efluente.

Durante a partida do reator UASB, o valor da carga orgânica aplicada ao lodo foi de 0,25 kgDQO/kgSSV.d. Para esse tipo de procedimento é recomendado cargas biológicas iniciais, da ordem de 0,05 a 0,15 kgDQO/kgSSV.d (CHERNICHARO, 1997). Entretanto, o reator foi capaz de absorver esse choque de carga inicial, respondendo com condições, em termos de eficiência de remoção de DQO filtrada, elevadas na ordem de 83% para a fase (I), com apenas 14 dias de operação. Esse fato pode ser justificado, se considerarmos que essa carga orgânica aplicada ao lodo inicial, não superou o valor máximo da atividade metanogênica específica do lodo de inóculo.

A velocidade ascensional, Figura 4.20 C, teve um comportamento que representa bem, as determinações das fases. Suas médias podem ser vistas na Tabela 4.4.

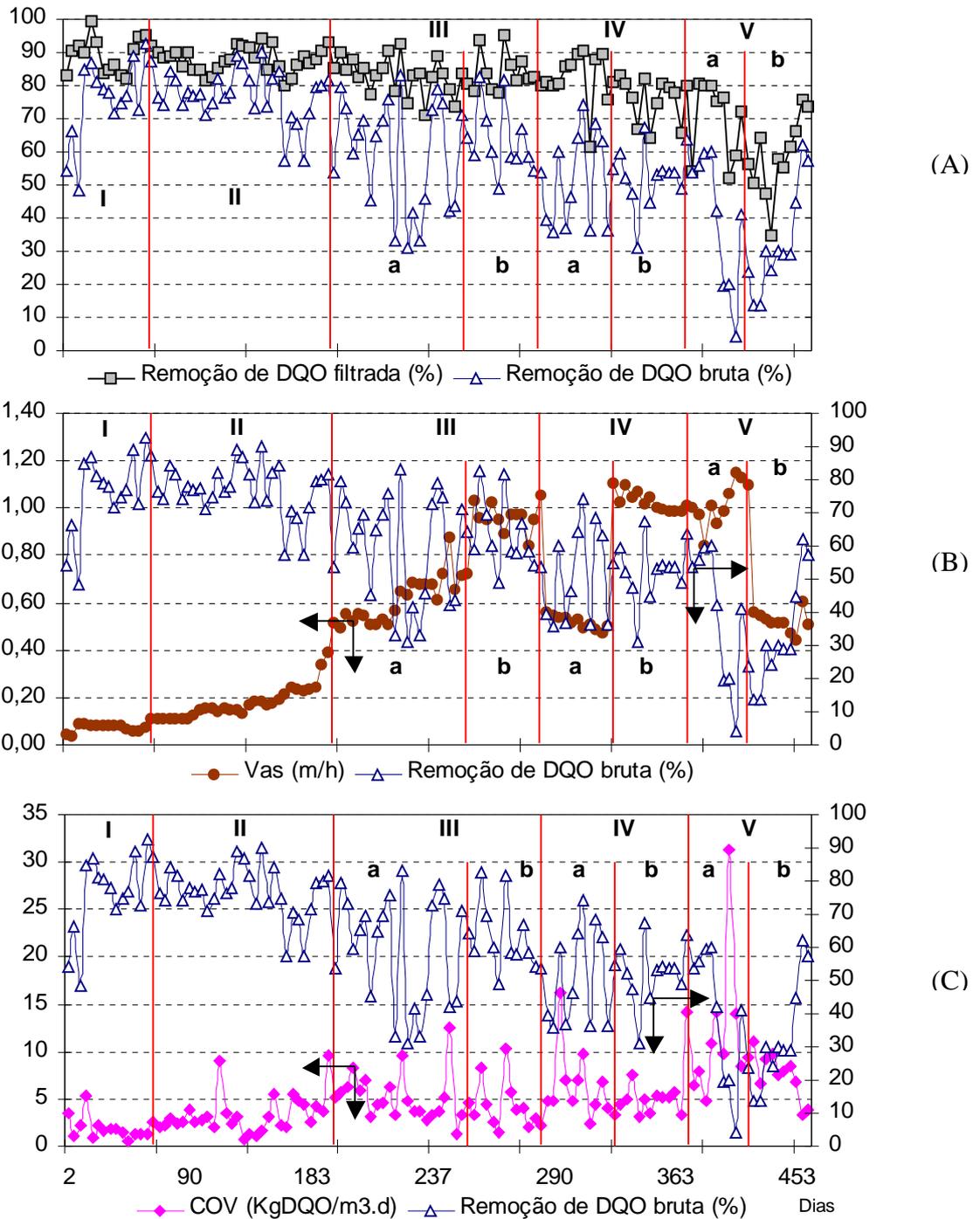
Para a fase (I), não foram previstas alterações na velocidade ascensional, que se mostrou constante com valor médio de 0,07 m/h. Com a implantação da recirculação, a segunda fase caracterizou-se por um comportamento de crescimento gradativo e suave, até alcançar a velocidade ascensional de 0,5 m/h, obtendo com isso, um valor médio de 0,18 m/h. Na fase (III a) pretendia-se, com um aumento mais acentuado, alcançar a velocidade ascensional de 1,0 m/h, que se manteve no decorrer da fase (III b). As fases subsequentes, ocorreram mudanças abruptas e constantes da velocidade ascensional, ou seja, fazia-se a mudança imediata da velocidade ascensional, e o valor imposto era mantido constante até a próxima mudança.

O comportamento do tempo de detenção hidráulica (TDH), gráfico (D) da Figura 4.20, também apresenta fases bem definidas, seus valores médios são mostrados na Tabela 3.1.

Para a partida do reator UASB, o TDH foi ajustado para valores superiores a 30 h, com o objetivo de se ter cargas orgânicas mais brandas, e conseqüentemente obter uma melhor adaptação do sistema. Esse comportamento se manteve durante uma semana, sendo ajustado em seguida para um valor entorno de 25 h. Entretanto, a bomba dosadora mostrou-se imprecisa no ajuste das vazões, afetando diretamente o TDH, o que justifica os

pontos que se apresentaram fora da faixa estabelecida pelos regimes de monitoramento. No final da fase (III a), ocorreu uma mudança acidental no dispositivo de ajuste de vazão da bomba dosadora, que permitiu a redução brusca do TDH para 6 h; esse imprevisto também exerceu influência nos demais parâmetros, sendo possível observar nos gráficos da Figura 4.21. A fase (V), se caracterizou por apresentar o menor TDH (6 h), e por promover variações do TDH em um curto espaço de tempo no final dessa fase, partindo de 6 h até 21 h na última coleta.

Na Figura 4.22, apresentam-se os gráficos das correlações dos principais parâmetros monitorados em cada fase de operação do reator UASB.



**Figura 4.22** - Correlações dos principais parâmetros de monitoramento do reator UASB, durante as fases de operação. Eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada (A), eficiência de remoção de DQO bruta e velocidade ascensional (B), e eficiência de remoção de DQO bruta e carga orgânica volumétrica (C).

Os gráficos da Figura 4.22, apresentam o comportamento da eficiência de remoção de DQO do reator UASB, correlacionando-o com os parâmetros de velocidade ascensional e carga orgânica volumétrica simultaneamente.

A eficiência de remoção de DQO bruta (azul) mostrada nos gráficos da Figura 4.21, indicou ser o parâmetro de maior sensibilidade, devido ao seu comportamento quando submetido à variações diretas dos demais parâmetros correlacionados. Observamos que após a partida do reator, sua eficiência bruta se manteve inferior a 70% durante 14 dias, período este, onde a biomassa permaneceu em adaptação com o efluente do matadouro, após ter recebido uma carga orgânica volumétrica inicial de 8,5 kgDQO/m<sup>3</sup>.d. Após o período de adaptação, a eficiência bruta obteve valores médios acima de 70%, com picos de eficiência da ordem de 92% no final da fase (I).

Com a finalidade de promover um processo seletivo microbiológico, melhorando com isso, a atividade da biomassa (CAMPOS e ANDERSON, 1992 citado por TORKIAN *et. al.* 2003), foi aumentada a velocidade ascensional (marrom) a partir da fase (II), visto na Figura 4.22 B. A velocidade ascensional média que era de 0,07 m/h na fase (I), passou a ser aumentada gradativamente, promovendo um ligeiro aumento da eficiência bruta (por esse motivo, essa fase apresentou o maior período entre as demais fases). Entretanto, quando a velocidade ascensional atingiu o valor de 0,19 m/h nessa mesma fase, a eficiência bruta passou por um processo de decaimento irregular, atingindo quedas na ordem de 57%. Porém, a fase (II) obteve a melhor média do monitoramento, com valor de 76% em relação às demais fases. Podemos também observar, que no mesmo período, o comportamento da carga orgânica volumétrica apresentou-se em constante crescimento gradativo, atingindo picos da ordem de 9,6 kgDQO/m<sup>3</sup>.d e média de 3,6 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, justificando a tendência de queda da eficiência em termos de remoção de DQO bruta.

Na fase (III a), a velocidade ascensional obteve um aumento considerável em relação à fase anterior (II), alcançando um valor médio de 0,61 m/h, e a carga orgânica volumétrica obteve um acréscimo médio da ordem de 42%, em relação a média anterior que era em torno de 3,6 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, sendo visto nos gráficos (B) e (C) da Figura 4.22. Essas mudanças influenciaram diretamente no sistema, forçando a redução da eficiência média de DQO bruta para 59%. O aumento da velocidade ascensional também pode ter aumentado o arraste de sólidos para o efluente, tendo em vista que em torno de 57% da DQO efluente, era particulada.

Com menores variações da DQO bruta, conferindo uma ligeira redução da carga orgânica volumétrica média, e a velocidade ascensional próxima de 1,0 m/h, a fase (III b) obteve uma melhora na eficiência média da DQO bruta com valor de 63%. Provavelmente a velocidade mais elevada, proporcionou um melhor contato entre a biomassa e o substrato (efluente do matadouro). Entretanto, LETTINGA *et. al.* (1996) citado por CAIXETA *et. al.* (2002), afirmou que a velocidade ascensional mais adequada para o reator UASB, deve está em torno de 0,5 e 0,7 m/h. Podemos considerar também, que a carga orgânica volumétrica obteve uma redução média de 18% com valor de 4,6 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, e o tempo de detenção hidráulica era um pouco superior a 22 horas até esta fase.

A partir da fase (IV a), os regimes de velocidade ascensional passaram a ter mudanças abruptas, com oscilações médias entre 0,5 e 1,0 m/h, podendo ser visto no gráfico (B) da mesma figura. Nessa mesma fase, a velocidade média obteve um decréscimo de 45% e alcançou o valor de 0,52 m/h. A carga orgânica volumétrica registrou um aumento de 53% com o valor de 6,5 kgDQO/m<sup>3</sup>.d e o tempo de detenção hidráulica passou a ser de 12 horas. A partir dessas mudanças impostas, a eficiência de DQO bruta reduziu-se para uma média de 51%. Essa queda na eficiência pode ter ocorrido também, em virtude da redução da velocidade ascensional, já que a condição anterior de mistura e contato da massa líquida (biomassa e efluente do matadouro), era aparentemente mais efetiva. Se compararmos com a fase (IV b), onde observou-se um ligeiro aumento da eficiência média para 52%, com a retomada da velocidade ascensional para 1,0 m/h e redução da carga orgânica volumétrica em 27%, percebeu-se que esses dois parâmetros possuem relação direta (gráficos B e C da Figura 4.22).

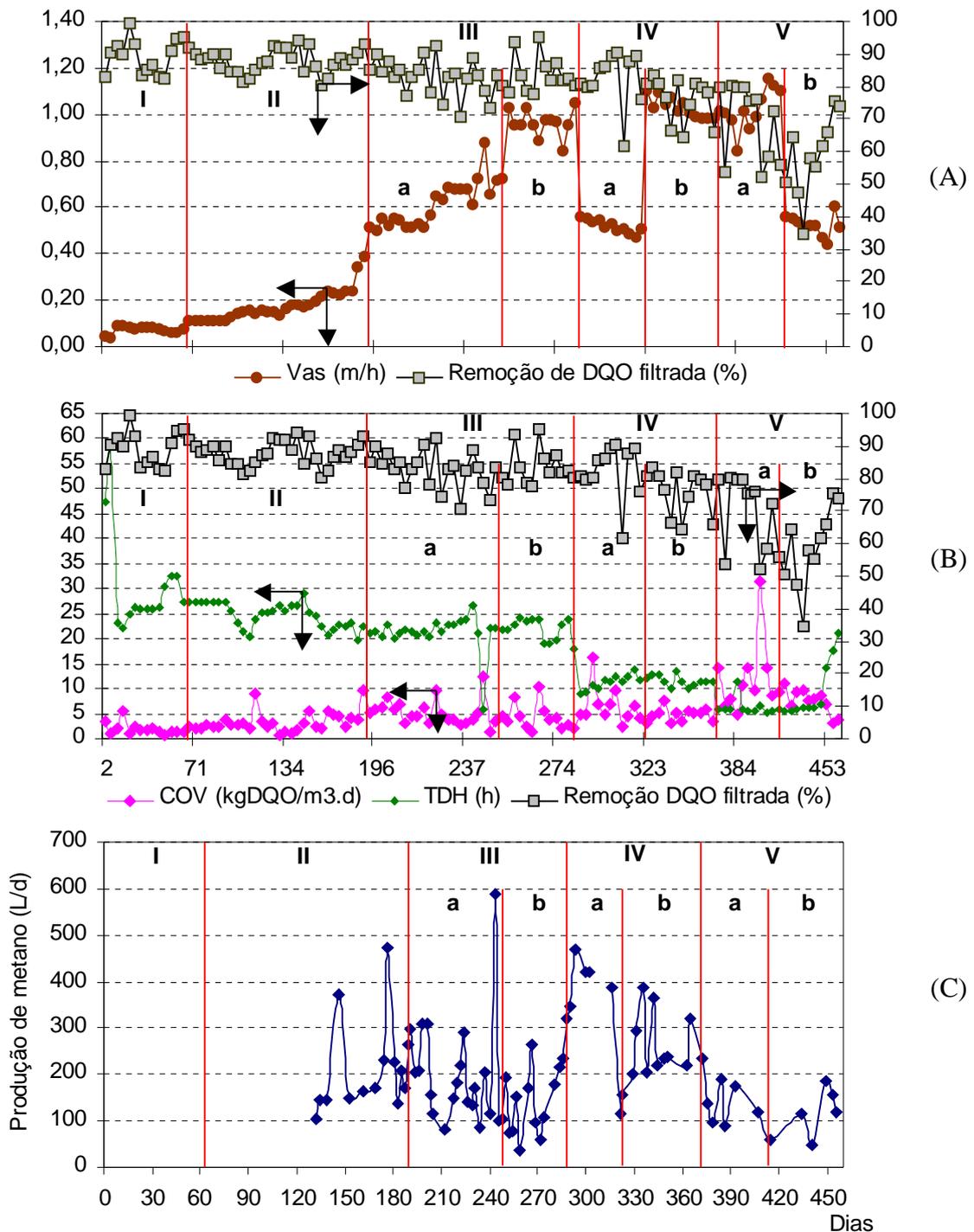
A fase (V a), caracterizou-se por apresentar a maiores cargas orgânicas volumétricas, em média 11,95 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, em virtude da redução do TDH para 6 horas. A velocidade ascensional nesta fase, foi mantida em torno de 1,0 m/h. Entretanto, a eficiência obteve uma queda drástica alcançando o valor mínimo de 4%, em termos de remoção de DQO bruta, recuperando após esta carga de choque, a um valor médio de 40%. Esse comportamento pode estar relacionado com o TDH que se mostrou insuficiente, para a degradação da fração menos biodegradável, já que 40% a 50% dos compostos dos efluentes de matadouros, são insolúveis e de degradabilidade lenta (SAYED, 1987). Associado a isso, houve uma perda acidental de lodo de aproximadamente 4 litros, que

pode ter contribuído também, para essa queda da eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada.

Com a redução da velocidade ascensional em torno de 1,0 m/h, para uma média de 0,52 m/h na última fase (V b), o reator respondeu com outra queda de eficiência, após uma modesta recuperação, alcançando o valor em torno de 13%. Novamente, a redução da velocidade ascensional pode ter interferido no mecanismo de mistura e contato da biomassa com substrato (efluente de matadouro). Em seguida o sistema retomou a tendência de crescimento de eficiência de DQO bruta, com valores médios em torno de 33%, inferior à média da fase anterior (V a), quando a velocidade ascensional era em torno de 1,0 m/h e a média da carga orgânica volumétrica, era superior a média desta fase (V b), com um valor de 7,45 kgDQO/m<sup>3</sup>.d.

Observou-se também, que o aumento progressivo do TDH no final desta fase, atingindo o valor de 21 horas, conseqüentemente proporcionando a redução da carga orgânica volumétrica para 3,7 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, elevou a eficiência de DQO bruta para 62%. Provavelmente, com a melhor adaptação desse novo regime, a eficiência de remoção de DQO bruta poderia atingir valores semelhantes à fase inicial.

A Figura 4.23, mostra o comportamento da eficiência de remoção da DQO filtrada, correlacionando com os parâmetros de TDH, carga orgânica volumétrica e velocidade ascensional, assim como a produção de metano, cujos valores médios encontram-se na Tabela 4.4.



**Figura 4.23** - Correlações dos principais parâmetros de monitoramento e produção de metano do reator UASB, durante as fases de operação. Eficiência de remoção de DQO filtrada e velocidade ascensional (A), eficiência de remoção de DQO filtrada com os parâmetros de TDH e carga orgânica volumétrica (B), e produção de metano (C).

A eficiência de remoção de DQO filtrada, apresentou um comportamento bastante estável em relação ao observado no caso da eficiência de remoção de DQO bruta. Podemos observar nos gráficos (A) e (B) da Figura 4.23, que a tendência de decaimento da eficiência filtrada, se processa de forma mais suave em relação ao comportamento da eficiência bruta. Os choques de carga são absorvidos e redistribuídos no decorrer do período. Durante as duas primeiras fases (I e II), é visível também, uma íntima ligação entre a eficiência filtrada e o TDH, presente no comportamento desses parâmetros, mostrado na Figura 4.23 B.

Logo após a partida na fase (I) (primeiros 7 dias de monitoramento), observa-se uma eficiência inicial de 83%. Nesse período o TDH era relativamente elevado, alcançando valores da ordem de 58 horas. Essa etapa permitiu uma boa adaptação do lodo, conseqüentemente proporcionou um pico de 99% de eficiência filtrada, entretanto a média de eficiência para essa fase inicial foi de 86%. Após o período inicial de adaptação, o TDH foi ajustado para 25 horas, provocando uma ligeira queda da eficiência.

Na fase (II), o comportamento da eficiência filtrada apresentou-se muito semelhante ao da fase (I), entretanto a média de eficiência obtida apresentou-se ligeiramente superior alcançando o valor de 88%. Com esse resultado, teve-se a fase de melhor desempenho do reator, tanto para a eficiência bruta quanto para a eficiência filtrada. Esse comportamento é atribuído provavelmente, pelo processo de recirculação do efluente e conseqüente aumento da velocidade ascensional.

A influência exercida pelos parâmetros correlacionados, na eficiência de remoção de DQO filtrada, mostrou-se semelhante aos aspectos discutidos para a eficiência de remoção de DQO bruta. Entretanto, as respostas de eficiência filtrada, aos regimes exercidos, apresentaram-se mais discretos. É percebido que o parâmetro que impôs maior influência para a eficiência filtrada, foi o TDH, em todas as fases.

As fases que se mostraram mais críticas, foram a fase (IV b) e toda fase (V). Aparentemente na fase (IV b), o aumento da velocidade ascensional para 1,0 m/h, interferiu na eficiência filtrada com valor médio de 76%, já que a fase (IV a) com velocidade de 0,5 m/h, a eficiência média foi de 82%, ambas com TDH médio de 12 horas.

A fase (V a) manteve a velocidade ascensional de 1,0 m/h, mas o TDH foi reduzido pela metade, com o valor de 6 horas; também nessa fase, os valores de carga orgânica volumétrica e carga orgânica aplicada ao lodo, mostraram-se mais interferentes em relação

às demais fases. Devido a essas condições, a eficiência filtrada apresentou uma projeção declinante, estendendo-se a fase (V b), provavelmente em virtude do efeito bacteriostático ao qual a biomassa foi condicionada. Entretanto, a queda da eficiência filtrada mostrou-se mais expressiva na última fase (V b), apesar das cargas orgânicas terem reduzido seus valores e o TDH ter permanecido em 6 horas. Provavelmente, o efeito da velocidade ascensional nesta fase foi representativo, considerando que houve uma redução abrupta de 50% da velocidade anterior, podendo ter proporcionado a redução da capacidade de mistura.

Foi observado no entanto, que após a provável adaptação da velocidade ascensional de 0,5 m/h, a eficiência de remoção de DQO filtrada voltou a aumentar, logo após o TDH ter aumentado, alcançando o valor de 21 horas, e paralelo a isso, a redução da carga orgânica volumétrica para 3,7 kgDQO/m<sup>3</sup>.d.

Ambas as eficiências (bruta e filtrada), mostraram-se sensíveis aos principais parâmetros de monitoramento e capazes de retomadas à valores de eficiências ótimas, quando favorecidas com condições adequadas de tempo de detenção hidráulica, cargas orgânicas.

A produção diária de metano só foi medida a partir da metade da fase (II), devido a problemas na instalação do equipamento de medição de gás (ALEXANDER WRIGHT mod. DM 3A). Nota-se uma intensa variação da produção de gás, visto na Figura 4.23 C, sendo esse comportamento, semelhante ao da DQO bruta, (gráfico A da Figura 4.19), principalmente durante a fase (III), caracterizada por apresentar muitas oscilações. Em alguns momentos no decorrer das fases, os picos de produção de metano surgem imediatamente após os picos de DQO, provavelmente em função da retenção de bolhas de gás no leito de lodo e posterior liberação súbita das mesmas. Observou-se também, que a fase (IV a) apresentou a maior média de produção com o valor de 354 L/d, entretanto, a eficiência dessa fase foi de 51%, mostrando-se incompatível. Essa mesma fase no entanto, não apresentou representatividade devido a problemas consecutivos no equipamento, que dificultou a medição de gás por quase toda a fase.

Os choques de cargas observados na fase (III) e fase (V), promoveram a redução da produção de gás, justificando o possível efeito bacteriostático atribuído as bactérias com cargas excessivas.

Velocidades até 0,5 m/h, mostraram-se mais favoráveis para a produção de gás, provavelmente por permitir uma condição mais adequada aos microrganismos de contato com o substrato.

#### 4.3.3 - Pós-tratamento

O monitoramento do reator EGSB teve o objetivo de avaliar o seu comportamento como alternativa de pós-tratamento, do efluente do reator UASB utilizado nessa pesquisa.

Durante 81 dias de operação, foi realizado o monitoramento da temperatura, do pH, da DQO bruta e filtrada, da alcalinidade, do AGV, da série de sólidos, da cor e da turbidez. Todos os parâmetros foram analisados no afluente e no efluente ao reator EGSB. Os valores médio desses parâmetros estão apresentados na Tabela 9.2, no apêndice.

O reator EGSB entrou em operação apenas no início da quinta fase de operação do reator UASB.

A Tabela 4.5 mostra as médias dos principais parâmetros de importância operacional, observados durante uma única fase de operação do reator EGSB.

**Tabela 4.5** - Médias dos principais parâmetros de importância operacional no decorrer da fase de operação do reator EGSB.

Fase (*)	TDH horas	COV kgDQO/m <sup>3</sup> .d	COL kgDQO/kgSVT.d	Vas m/h	Eficiência DQO bruta %	Eficiência DQO filtrada %	Produção de gás L/d	Período dias
V	6,5	7,15	0,37	2,5	34	61	-	0 - 81

(\*) Relativo à fase já descrita para o reator UASB (tratamento secundário).

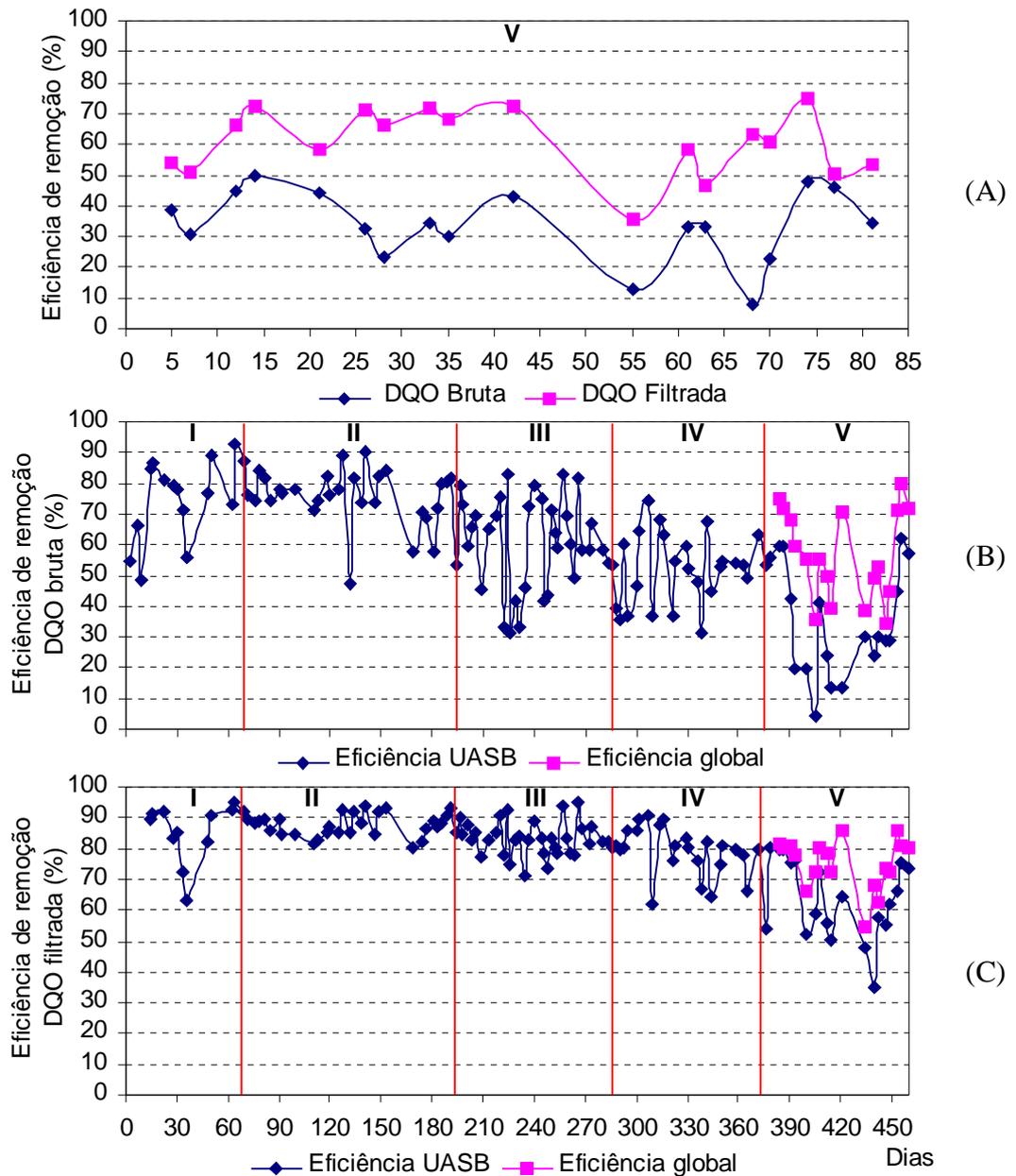
A Tabela 4.6 mostra as médias de eficiências do reator UASB, comparadas com as eficiências do sistema global (UASB + EGSB).

**Tabela 4.6** - Comparação das médias de eficiências do reator UASB e sistema de tratamento global (UASB + EGSB).

<b>Sistema</b>	<b>Eficiência de remoção DQO bruta (%)</b>	<b>Eficiência de remoção DQO filtrada (%)</b>
<b>UASB (*)</b>	34	61
<b>Global (UASB + EGSB)</b>	57	75

(\*) Relativo a quinta fase (a + b) de operação do reator UASB (tratamento secundário).

Na Figura 4.23 apresentam-se os gráficos de eficiências, considerando o reator EGSB e o sistema global com o tratamento e o pós-tratamento, durante as principais fases de operação da estação piloto.



**Figura 4.24** - Parâmetros de eficiências do monitoramento do sistema tratamento e pós-tratamento, durante as principais fases de operação da estação piloto. Remoção de DQO do reator EGSB (A), remoção de DQO bruta do reator UASB e sistema global (B), remoção de DQO filtrada do reator UASB e sistema global (C).

O gráfico (A) da Figura 4.24, mostra o comportamento da eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada, do reator EGSB durante a sua única fase de monitoramento (referente a quinta fase do monitoramento do reator UASB). Observa-se que no reator

EGSB, obteve-se uma eficiência de remoção de DQO bruta média, em torno de 34%. Essa eficiência é relativamente baixa para esse tipo de reator. Este fato pode estar relacionado à presença de DQO remanescente bruta no efluente do reator UASB, durante toda fase (V), que apresentou valor médio da ordem de 1787 mg/L, indicando com isso, a presença de grande parte dos compostos de biodegradabilidade mais lenta, não removidos pelo reator UASB.

Observou-se também, que o TDH do reator EGSB de 6 horas era igual ao TDH do reator UASB durante a fase (V), totalizando assim, um TDH global de 12 horas, que se mostrou insuficiente para a degradação desses compostos mais recalcitrantes.

As cargas orgânica aplicadas ao reator e ao lodo, apresentaram valores médios da ordem de 7,17 kgDQO/m<sup>3</sup>.d e 0,37 kgDQO/kgSSV.d respectivamente (Tabela 4.5), provavelmente esses valores tiveram um efeito inibitório na atividade bacteriológica no reator EGSB.

A eficiência de remoção de DQO filtrada com o valor médio de 61%, mostra que as condições operacionais de TDH e velocidade ascensional impostas ao reator EGSB, podem ter favorecido também o arraste de material insolúvel remanescente do afluente, já que a concentração de sólido totais foi praticamente a mesma entre afluente e o efluente ao reator; também pode ter ocorrido o arraste de material particulado mais fino, proveniente do leito de lodo, tendo em vista que uma grande parcela da concentração de sólidos suspensos totais (77%), era de sólidos suspensos voláteis, podendo ter favorecido a perda de material celular não imobilizado.

Os gráficos (B e C) da Figura 4.24, mostram o acréscimo de eficiência atribuído ao sistema global, quando comparamos com a eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada do reator UASB. Observamos que a eficiência global proporcionou uma ganho de 20% na eficiência bruta, em relação à média obtida pelo reator UASB durante toda a fase (V), tornando-o compatível com as condições de eficiência impostas durante a fase (III) de monitoramento do reator UASB. A eficiência filtrada do reator UASB durante a fase (V), registrou um valor médio de 64%, mas quando consideramos o sistema global, a eficiência média alcançou valores da ordem de 75%, sendo visto na Tabela 4.6. Esse fato vem contribuir com a idéia que o TDH do sistema UASB na fase (V) de operação, proporcionou uma condição metabólica inadequada à manutenção da taxa degradativa alta, provavelmente pelo curto tempo de contato lodo-substrato. Nesse caso esses compostos,

não degradados totalmente na fase (V) do reator UASB, poderiam ser degradados no reator EGSB. Possivelmente a eficiência baixa de remoção de DQO filtrada, indique que a DQO remanescente seja mais recalcitrante, e de mais difícil tratamento por via anaeróbia. Nesse caso o uso de sistema aeróbio de pós-tratamento, apesar dos fatores limitantes (custos e operacionais), possa ser mais viável.

Outra alternativa, não estudada, seria o uso de outro reator UASB em série, com manutenção de TDH na faixa ótima (24 horas). Um maior TDH poderia favorecer o aumento da biodegradabilidade anaeróbia, com o aumento do tempo de contato do lodo com o substrato e favorecer rotas de cinéticas mais lentas.

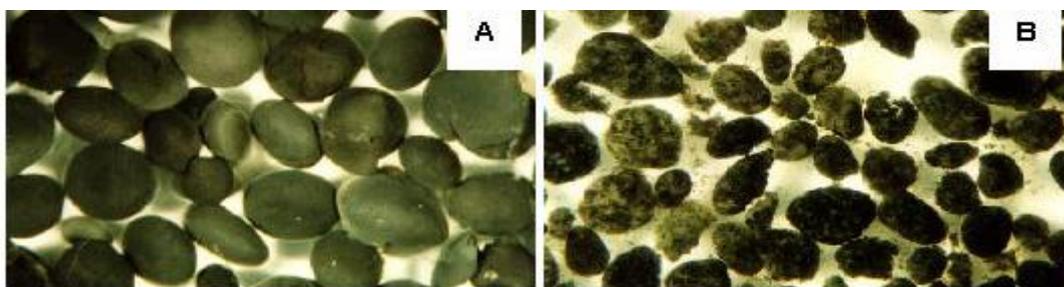
Não foi possível promover a medição da produção de metano do reator EGSB, em consequência das constantes interrupções de funcionamento do equipamento de medição.

#### **4.4 - Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente**

##### **4.4.1 - Atividade metanogênica**

Segundo MONTEGGIA (1997), o teste de AME pode ser usado como análise de rotina para determinar a atividade metanogênica do lodo, e para detectar algum tipo de inibição depois de um longo período de operação do reator.

Na Figura 4.25 apresentam-se as fotografias obtidas em um microscópio estereoscópico da marca WILD, modelo MPS-51, realizadas no Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães- UFPE, dos lodos anaeróbios utilizados nos testes de AME 1 e AME 2.



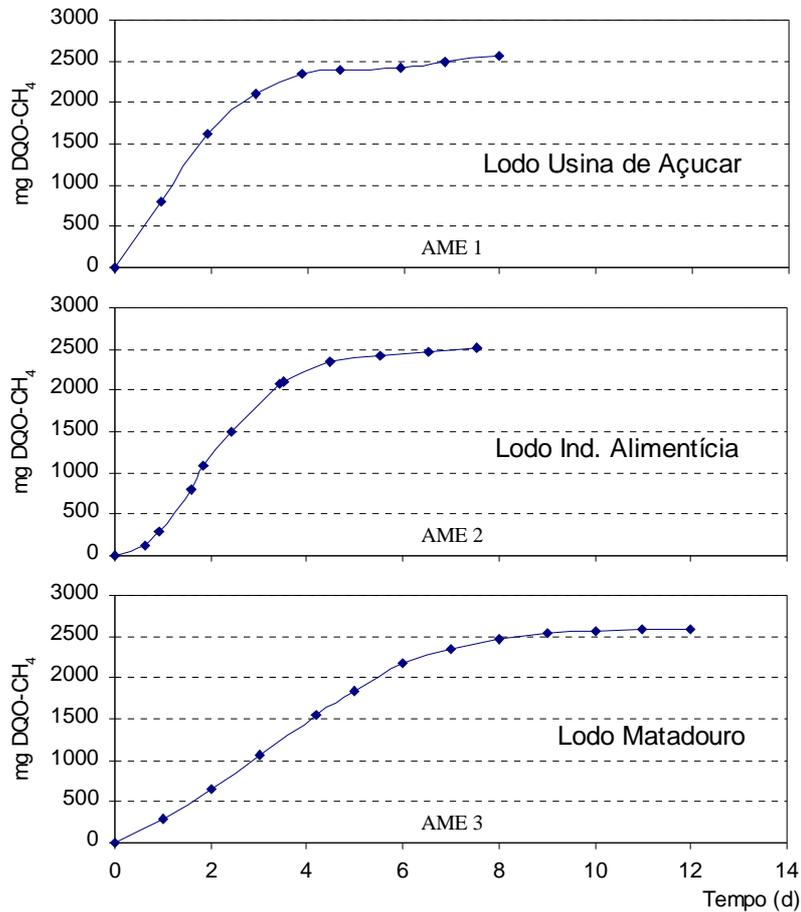
**Figura 4.25** - Fotografias realizadas em microscópio estereoscópico dos lodos anaeróbios de indústria alimentícia de amido de milho (A) e de usina de açúcar (B) utilizados no experimento de AME 1 e AME 2.

Os testes de AME foram realizados segundo a metodologia explicitada no Capítulo 3 (item 3.5.1) obtendo-se os seguintes resultados apresentados na Figura 4.26 e Tabela 4.7.

Nos gráficos da Figura 4.26, apresentam-se as curvas de conversão de DQO a metano acumulado, para os lodos utilizados nos testes AME 1, AME 2 e AME 3. A DQO inicial para os lodos AME 1 e AME 2 foi de 4 g DQO/L (em acetato), segundo metodologia descrita por FLORENCIO (1994) (Apêndice 1). Para o lodo utilizado no teste AME 3 a concentração de DQO inicial foi de 3 g DQO/L (em acetato) (Tabela 3.3). Na Tabela 4.7 apresentam-se os resultados dos testes de atividade AME 1, AME 2 e AME 3, dos lodos anaeróbios obtidos a partir da tangente de maior inclinação, das curvas de conversão de DQO a metano acumulado.

**Tabela 4.7** - Resultados dos testes de atividade AME 1, AME 2 e AME 3 .

Resultados obtidos	AME 1	AME 2	AME 3
g SSV/ L	2,8	3,71	2,0
mL CH <sub>4</sub> / d	166,23	156,77	154,76
gDQO-CH <sub>4</sub> /g SSV.d	0,293	0,210	0,196



**Figura 4.26** - Curvas de conversão de DQO a metano acumulada durante os testes de Atividade Metanogênica.

Nos gráficos da Figura 4.26 apresentam-se apenas as médias aritméticas das duplicatas realizadas em cada experimento.

Nos dois primeiros experimentos (AME 1 e AME 2), observou-se que apesar das características físicas aparentemente se mostrarem mais favoráveis em termos de definição de grânulos, tamanho e granulometria, ao lodo anaeróbio de indústria alimentícia, em relação à atividade metanogênica, apresentou uma atividade (0,210 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d) um pouco inferior ao lodo de usina de açúcar (0,293 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d).

Destaca-se ainda na Tabela 4.7 que o lodo de matadouro utilizado no teste AME 3, após o período de monitoramento do reator UASB apresentou uma redução no valor de sua capacidade máxima degradativa, sob condições anaeróbias (0,196 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d), provavelmente pelas características do próprio substrato (resíduos de matadouro) e da

presença de compostos menos favoráveis ao metabolismo bacteriano, sob as condições ambientais a que o lodo no reator estava submetido.

As características físicas desse último lodo (AME 3), apresentaram aspectos muito parecidos com o lodo escolhido para inóculo do reator UASB (lodo de usina de açúcar-teste AME 2), que apresentou uma melhor atividade metanogênica (0,29 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d), em relação aos demais testes, AME 1 (0,21 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d) e AME 2 (0,19 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d). Para o reator EGSB foi escolhido o lodo de indústria alimentícia (AME 1) que apesar de possuir uma menor atividade metanogênica, apresentava condições de sedimentabilidade e granulometria mais adequados para a fluidização do leito de lodo.

Os valores de AME 1, AME 2 e AME 3, apresentam-se em uma faixa de valores próximos aos encontrados por ROCHA *et. al.* (2001), utilizando lodo granular (0,24 a 1,26 g DQO-CH<sub>4</sub> /g SSV.d).

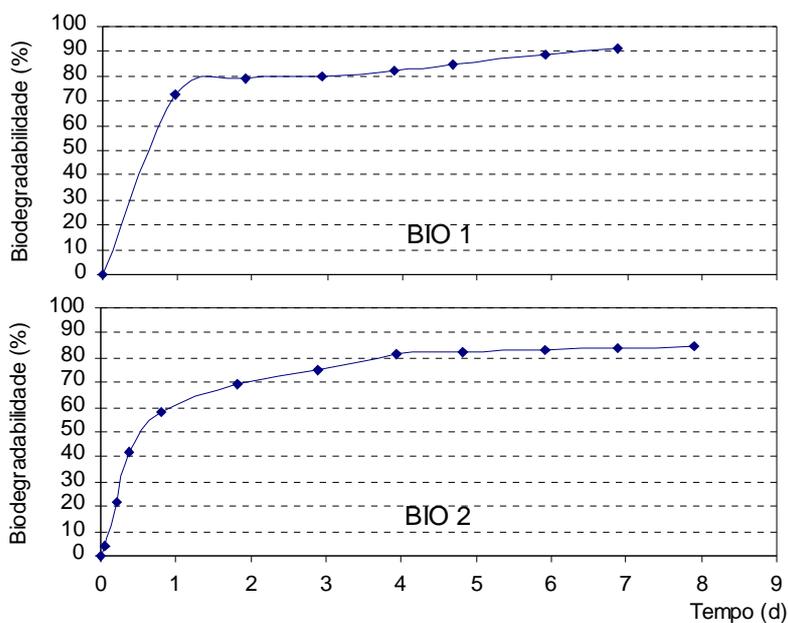
#### **4.4.2. Biodegradabilidade anaeróbia**

Nos gráficos da Figura 4.27 apresentam-se respectivamente as curvas de decaimento de DQO em meio anaeróbio, para os teste de biodegradabilidade BIO 1 (teste estático utilizando o lodo anaeróbio escolhido como inóculo do reator UASB), e BIO 2 (teste agitado utilizando o lodo anaeróbio retirado do reator UASB após os 460 dias do monitoramento). As condições experimentais a que estavam submetidos os instrumentos já foram descritas no item 3.5.2 do Capítulo 3.

Na Tabela 4.8 apresentam-se os resultados obtidos nos testes de biodegradabilidade anaeróbia BIO 1 e BIO 2.

**Tabela 4.8** - Aspectos observados entre os testes de biodegradabilidade anaeróbia BIO 1 e BIO 2.

Observações comuns aos experimentos	BIO 1	BIO 2
Tempo necessário para degradar 50% da DQO inicial	15,8 horas	13,9 horas
Percentagem de biodegradação máxima observada	90,9 % (165 horas)	84,7 % (190 horas)
Problemas operacionais observados	Vazamento de biogás nas mangueiras do sistema de coleta de gás.	Vazamento de biogás em uma das duplicatas. Entrada de O <sub>2</sub> em função da pressão negativa formada pela retirada da amostra.



**Figura 4.27** - Percentagem de remoção de DQO em função do tempo, nos testes de biodegradabilidade anaeróbia estático (BIO 1) e agitado (BIO 2).

Podemos observar nos gráficos da Figura 4.27, que a inclinação da reta apresenta um comportamento inicial parecido em ambas as figuras, independente da realização das coletas intermediárias no decorrer das primeiras 24 horas.

Na Tabela 4.8 observamos que no teste BIO 1, apesar deste ter se mostrado um pouco mais lento (15,8 horas) que o teste BIO 2 (13,9 horas) para degradar 50% da DQO bruta inicial, o mesmo alcançou uma maior remoção máxima de DQO de 90,9% em um tempo de 165 horas. O teste BIO 2 apresentou uma remoção máxima de 84,7 %, sendo mais baixa que o teste BIO 1, em um tempo um pouco maior 190 horas. Neste sentido o teste estático (BIO 1) funcionou mais eficientemente que o teste agitado (BIO 2), apesar da expectativa inicial que a agitação traria uma melhoria, para a taxa degradativa em função de um maior contato lodo-substrato.

Segundo ROCHA (2003), em testes agitados de biodegradabilidade, a remoção de DQO não se mostrou significativa. Entretanto, o comportamento inicial mostrou que a agitação pode interferir na velocidade de remoção de DQO.

Neste caso seriam necessários mais estudos no sistema agitado, utilizando-se concentrações variadas de biomassa ativa no reator, para verificar seu efeito na evolução da taxa degradativa total de DQO.

## **CAPÍTULO 5.0**

---

### **CONCLUSÕES GERAIS**

As conclusões gerais da pesquisa são resumidas a seguir, de acordo com os resultados discutidos.

#### **5.1 - Matadouros da Região Metropolitana do Recife (RMR)**

- Os matadouros da RMR apresentam graves problemas de caráter ambiental;
- Os responsáveis pela administração desses matadouros, demonstram pouco interesse na adoção de medidas estruturais no controle da poluição ambiental;
- Sob o aspecto sanitário, as mesmas características são observadas o que se constituem também, em riscos para a saúde humana;
- Em alguns casos a operação das atividades, é feita por pessoal despreparado e fora das condições de higiene exigidas;
- A presença constante de pessoas sem o devido uso de equipamentos de segurança e a falta de utilização de mecanismos de importância sanitária, conferem sérios riscos aos funcionários e visitantes, bem como aos produtos destinados ao mercado consumidor;
- Os estabelecimentos da RMR, não atendem as especificações da Lei Federal 1.283/50, que dispõe sobre a Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal;

- A utilização da água no processo, geralmente não passa por processo de tratamento ou controle de qualidade, agravando ainda mais, os problemas de ordem sanitária;
- Esses estabelecimentos não adotam nenhuma medida de controle da destinação de resíduos sólidos, promovendo com isso, o aumento dos impactos ambientais e a proliferação de vetores;
- As etapas de tratamento (preliminar, biológico e pós-tratamento) quando existentes, não são estabelecidas com critérios de engenharia, não havendo a visão de um tratamento global que obtenha um efluente com baixas cargas poluidoras;
- A operação dos sistemas de tratamento existentes, geralmente não possuem operador responsável ou quando há, a limpeza e manutenção não ocorrem de maneira constante e periódica.

## **5.2 - Caracterização dos efluentes do matadouro de Jaboaão dos Guararapes**

- Os efluentes do matadouro apresentaram oscilações nas concentrações dos principais parâmetros analisados, no decorrer do horário de funcionamento do matadouro;
- A configuração da ETE do matadouro de Jaboaão dos Guararapes apresentou, através da caracterização de seus principais pontos, uma eficiência de remoção de DBO da ordem de 67%. Entretanto, essa eficiência mostrou-se insuficiente em relação a exigência de controle da Norma Técnica da Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH.

## **5.3 - Monitoramento da estação piloto**

### **5.3.1 - Pré-tratamento**

- Mesmo não apresentando resultados satisfatórios, a peneira estática apresenta-se como um importante mecanismo de redução das concentrações de sólidos sedimentáveis presentes nesse tipo de efluente.

### **5.3.2 - Etapa biológica**

- O reator UASB se mostrou mais eficiente em termos de remoção de DQO bruta e filtrada, durante a segunda fase (II), com os valores médios em torno de 76% e 88% respectivamente;
- As melhores condições de operação para essa configuração de reator, convergiram para um TDH de 25 horas e velocidade ascensional de até 0,5 m/h;
- O reator UASB demonstrou uma aptidão considerável, em absorver picos de cargas orgânicas volumétricas, retomando ao seu patamar de eficiência, logo após os choque de cargas;
- Valores de TDH inferiores a 12 horas, mostraram-se insuficientes para remoção de compostos de degradabilidade mais lenta;
- O reator UASB utilizando lodo granular, apresenta-se como uma alternativa viável para o tratamento desse tipo de efluente, devido ao seu funcionamento em uma larga faixa de carga orgânica volumétrica;
- Faz-se necessário a utilização de um pós-tratamento, em virtude da existência de um elevado valor de DQO remanescente, mesmo em condições ótimas de funcionamento.

### **5.3.3 - Pós-tratamento**

- O reator EGSB não se mostrou eficiente para as condições impostas de sua operação, apesar de ter conferido uma adicional eficiência global na remoção de DQO;
- Essa configuração de tratamento, se torna pouco viável como alternativa de utilização para esse tipo de matadouro, em virtude da complexidade da operação do reator EGSB, considerando o aumento da escala operacional;
- Como alternativa de pós-tratamento, poderia ser utilizado outro reator UASB em série com TDH superior a 20 horas, para aumentar a degradabilidade dos compostos recalcitrantes remanescentes.

## **5.4 - Avaliação da tratabilidade anaeróbia do efluente**

### **5.4.1 - Atividade metanogênica**

- Os lodos de usina de açúcar (AME 1 = 0,293 g DQO-CH<sub>4</sub>/g SSV.d), de indústria alimentícia (AME 2 = 0,210 g DQO-CH<sub>4</sub>/g SSV.d) e de matadouro (AME 3 = 0,196 g DQO-CH<sub>4</sub>/g SSV.d), apresentam valores de atividades metanogênicas máximas específicas, semelhante aos da literatura pesquisada;
- Os lodos apresentam excelentes condições de granulação e sedimentabilidade, sendo eficientes como inóculos para reatores anaeróbios;
- O teste AME 3, obteve uma redução na atividade metanogênica máxima específica em torno de 34,4%, em relação ao lodo usado inicialmente como inóculo do reator UASB (lodo de usina de açúcar), condicionando as prováveis características do substrato (efluente de matadouro), pouco favoráveis à microbiota anaeróbia original.

#### **5.4.2. Biodegradabilidade anaeróbia**

- Os efluentes do matadouro de Jabotão dos Guararapes, mostraram-se de fácil biodegradabilidade, favorecendo a aplicação de tecnologias anaeróbias;
- O teste agitado (BIO 2), mostrou-se satisfatório em relação a biodegradabilidade inicial, quando comparado ao teste estático (BIO 1). Entretanto, torna-se necessário, verificar a aplicação de outras concentrações de biomassa, e melhor adequar o aparato experimental, no sentido de se minimizar problemas operacionais.

## CAPÍTULO 6.0

---

### SUGESTÕES

Em vista da possível maior aplicação do uso do reator UASB, para o tratamento de efluentes de matadouros, sugere-se:

- Aumento de escala operacional até escala real;
- Promover um estudo mais detalhado, envolvendo a separação efetiva dos resíduos gerados nos diversos setores industriais;
- Avaliação do efeito de um tratamento preliminar da linha vermelha (flotação) e da linha verde (peneira estática);
- Avaliar alternativas de reaproveitamento de subprodutos separados no setor industrial e no tratamento preliminar;
- Verificar o efeito da eficiência de remoção de DQO, utilizando reatores UASB em série;
- Avaliação de um pós-tratamento por processos aeróbios;
- Avaliar custos envolvidos na utilização do reator UASB em escala real, em comparação com os processos utilizados no Estado;

## CAPÍTULO 7.0

---

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVIM, L. A. C. *Potencialidades de Aproveitamento de Resíduos da Bovinocultura*. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES set. 1999. CD.
2. ANTUNES, P. B. *Direito Ambiental*. 5ª ed, Rio de Janeiro: Lumen Júris, 2001, p. 491-517.
3. AWWA/APHA/WEF. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 19th edition, Washington. DC. 1995.
4. BALKS, M. R., McLAY, C. D. A., HARFOOT, C. G. *Determination of the Progression in Soil Microbial Response, and Changes in Soil Permeability, Following Application of Meat Processing Effluent to Soil*. 1996, In: APPLIED SOIL ECOLOGY. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em maio 2001.
5. BERNARDINO L. *Relatório de análises de efluente, Indústria Frigoagra*. Cuiabá – MT. out.1998.
6. BERRUETA, J.; GUTÉRREZ, A.; FUEYO, G. *Anaerobic treatment of leachates in pilot scale UASB: strategy of start up*. Journal of Chemical Technology. V. 67, n. 3, p. 302-3014, 1996.
7. BEZERRA, J. A. *Boi com marca de qualidade*. Revista Globo Rural. novembro 2001. p. 42-49.
8. BORJA, R.; BANKS, C. J.; WANG, Z. *Performance of a hybrid anaerobic reactor, combining a sludge blanket and filter, treating slaughterhouse*. Microbiol Biotechnol. n. 43, p. 351-357, 1995.
9. BORJA, R.; BANKS, C. J.; WANG, Z.; MANCHA, A. *Anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater using a combination of sludge blanket and filter arrangement in a single reactor*. Bioresource Technology. n. 65, p. 125-133, 1998.
10. BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*. 18ª ed, São Paulo: CETESB, 1993, p. 155-174.

11. BRANCO, S. M. *Hidrobiologia Aplicada a Engenharia Sanitária*. 3 ed, São Paulo: CETESB, 1986, p. 323-346.
12. CAIXETA, C. E. T., CAMMAROTA, M. C., XAVIER, A. M. F. *Slougherhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor*. *Bioresource Technology*. n. 81, p. 61-69, 2002.
13. CAMPOS, J. R. (coord). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 435 p.
14. CAMPOS, A. T.; FERREIRA, W. A.; PACCOLA, A. A.; JÚNIOR, J. L.; ULBANERE, R. C.; CARDOSO, R. M.; CAMPOS, A. T. *Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite*. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 26, n.2, p. 426-438, mar/abr., 2002.
15. CHERNICHARO C. A. L.; VAN HAANDEL, A.; AISSSE, M. M.; CAVALCANTE, F. F. *Reatores anaeróbios de manta de lodo*. In: *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. JOSÉ ROBERTO CAMPOS (coordenador). Rio de Janeiro; ABES, 1999.
16. CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte-MG, 1997. DESA-UFGM/CNPq, 245 p.
17. CRIAR E PLANTAR - *Produção de carne*. Equipe de bubalinocultura/FZEA-USP. Disponível em: <<http://www.criareplantar.com.br/pecuaria/bubalino>>. Acesso em: agosto 2003.
18. DIAS, M. C. O. *Manual de Impactos Ambientais*. Fortaleza: BANCO DO NORDESTE, 1999, P. 49-67.
19. FEALQ - Fundação de Estudos Agrários Luiz Queiroz. *Tecnologia de carne bovina e produtos derivados*. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Fundação tropical de pesquisas e tecnologia (FTPT). São Paulo, 1989.
20. FELÍCIO, P. E.; SILVA, J. J. *Manual de procedimentos do projeto “carne bovina com certificado de origem”*. São Paulo, Parceria NN, 2000, p. 1-10.
21. FIELD, J.; ALVAREZ, R. S.; LETTINGA, G. *Ensayos anaerobios*. In: *DEPURACION ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES*. Actas del 4º seminário D.A.A.R. Valladolid, Espana, p. 53-75, 1988.

22. FLORENCIO, M. L. *The fate of methanol in anaerobic bioreactors*. Tese (Ph.D) - Wageningen Agricultural University - Wageningen, The Netherlands, 1994. 137 p.
23. FNP consultoria. *Anualpec 97 – Anuário da Pecuária Brasileira*. São Paulo: Argos, 1997. Disponível em: <http://www.fnp.com.br/prodserv/anuarios/index.php>. Acesso em: agosto de 2003.
24. FOERSTER P. J. D. PERNAMBUCO. Conselho Regional de Medicina Veterinária. *Levantamento realizado em 48 matadouros do Estado de Pernambuco*. CONSEMA. Reunião, 21 agosto 2001.
25. GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; NETO, C. O. A.; ALEM SOBRINHO, P.; KATO, M. T.; COSTA, R. H. R.; AISSE, M. M.; ZAIAT, M. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme*. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO (coordenador). Belo horizonte; projeto PROSAB, 2001.
26. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Percentual de efetivos da pecuária no Brasil em 1990*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: abril 2003.
27. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa pecuária municipal*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em abril 2003.
28. IDE, C. N., BARBEDO, A. G. A., ROCHE, K. F., IMOLENE, L. M., VAL, L. A. A. *Reuso de efluentes de lagoas de estabilização na produção de biomassa verde*. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, Porto Alegre. *Anais...* Rio Grande do Sul: ABES 2000. CD.
29. IPA - *Plano Diretor 2002 – 2005*. Disponível em: <[http://www.ipa.br/plan.htm#\\_Toc9152211](http://www.ipa.br/plan.htm#_Toc9152211)>. Acesso em: agosto 2003.
30. JARDIM, V. R. *Curso de bovinocultura*. 4ª ed, Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973, p. 19-31.
31. JC - Jornal do Commercio. *Interditado matadouro em Paulista*. Cidades, p. 3. Recife, 11 dez. 2001.
32. JC - Jornal do Commercio. *MP denuncia arrendatário do matadouro de Jaboatão*. Recife, 5 set. 2000.

33. KATO, M. T.; NETO, C.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. *Configurações de reatores anaeróbios*. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. JOSÉ ROBERTO CAMPOS (coordenador). Rio de Janeiro; ABES, 1999.
34. MA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. *Conjunto de leis, normas e decretos sobre a inspeção de produtos de origem animal*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 21 julho 2001.
35. MANJUNATH, N. T., MEHROTRA, I., MATHUR, R. P. *Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system*. Water Resource, 1999. n. 6, p. 1930-1936.
36. METCALF e EDDY. *Wastewater engineering treatment disposal reuse*. 3 ed. New York: McGraw-hill, 1991. 1334p.
37. MONTEGGIA, L. O. *Proposta de metodologia para avaliação do parâmetro "Atividade Metanogênica Específica"*. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Foz do Iguaçu - PR. *Anais...* Foz do Iguaçu, 1997.
38. MORICOCCHI, LUIZ. *Uma reflexão sobre a indústria da carne bovina no Brasil*, Informações Econômicas, São Paulo, v. 25, n. 6, jun. 1995.
39. NAZARETH, C. E. F. *Como se processa o abate de animais no Brasil*. Revista Veja, 18 março 1992.
40. NEMEROW, N. L. *Aguares residuales industriales*. 1º ed, Madrid. H.Blune Ediciones, 1977, p. 348-356
41. NÚÑEZ, L. A.; MARTÍNEZ, B. *Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in na expanded granular sludge bed (EGSB) reactor*. Water Science Technology, 1999, n. 8, p. 99-106.
42. SPRRA- Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária. Pernambuco. Departamento de Inspeção e Fiscalização Agropecuária. *Diagnóstico dos matadouros municipais do Estado de Pernambuco*, 2000. 28 p.
43. PLANETA TERRA – *O que é Zebú*. Disponível em: <<http://www.planeta.terra.com.br/artes/muzeudozebu/>>. Acesso em: agosto 2003.

44. POETSCH, P. B.; KOETZ, P. R. *Sistema de determinação da atividade metanogênica específica de lodos anaeróbios*. Revista Brasileira de Agrociência. v. 4, n. 3, p. 161-165, 1998.
45. POZO, R., DIEZ, V., BELTRÁN, S. *Anaerobic pre-treatment of slaughterhouse wastewater using fixed-film reactors*. *Bioresource Technology*, 1999. n. 71, p. 143-149.
46. PROMATA - PROGRAMA DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/tpd/135.html>>. Acesso em: agosto 2003.
47. ROCHA, M. A. G. *Estudos da atividade metanogênica de lodos e da biodegradabilidade anaeróbia de efluentes de indústrias de bebidas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco -UFPE. 120p. Recife – Pernambuco. 2003.
48. ROCHA, M. A. G.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T.; SILVA, A. M. R. B. Avaliação e comparação entre a atividade metanogênica específica de lodos de esgoto doméstico e industrial. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. João Pessoa – PB, Anais... João Pessoa, setembro, 2001.
49. SAYED, S. K. I.; *Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater using the UASB process*, 1987, PhD. Thesis. Agricultural University Wageningen. The Netherlands.
50. TORKIAN, A., EQBALI, A., HASHEMIAN, S. J. *The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent*. Resources, Conservation and Recycling, 2003, n. 00, p. 1-13.
51. VIVER NO CAMPO – *Bovinos de Corte*. Disponível em: <<http://www.vivernocampo.com.br/pecuaria/bovinoscortera%E7as.htm>>. Acesso em: agosto 2003.
52. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 2 ed, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996, 243 p.

## CAPÍTULO 8.0

### APÊNDICE

**Tabela 8.1** - Valores médios dos principais parâmetros avaliados durante as fases do monitoramento do reator UASB.

Parâmetros	Fases		I	II	III a	III b	IV a	IV b	V a	V b
	AF	EF								
pH	AF	EF	6,5	6,6	6,8	6,8	6,8	6,7	6,7	6,8
			7,1	7,2	7,4	7,6	7,3	7,2	7,1	7,0
Temperatura (°C)	AF	EF	29,3	30,2	29,2	27,7	27,0	27,5	28,9	30,3
			30,9	29,7	29,2	28,0	27,4	28,1	29,4	31,0
DQO bruta (mg/L)	AF	EF	2508	3784	4358	3917	3086	2293	3012	2538
			779	954	1615	1246	1362	1080	1921	1640
DQO filtrada (mg/L)	AF	EF	934	2610	3008	2770	2142	1705	2242	1875
			313	449	671	523	485	524	1001	1029
Alcalinidade (mg/L)	AF	EF	539	421	609	713	689	753	749	763
			886	727	844	866	1060	952	948	827
AGV (mg/L)	AF	EF	673	677	670	699	787	478	452	483
			408	350	293	209	333	140	276	205
Cor (Pt/L)	AF	EF	-	4000	2869	2385	3909	2396	3091	2305
			-	869	1345	1200	1682	1417	2227	1833
Turbidez (NTU)	AF	EF	-	621	689	669	900	721	742	661
			-	154	305	365	880	614	710	705
Sólidos Totais (mg/L)	AF	EF	-	2455	2609	2273	3007	2398	2737	3184
			-	1738	1868	1801	2225	2428	2665	2925
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	AF	EF	-	1184	1645	1338	1392	1492	1876	2357
			-	1286	1421	1363	1494	1861	2104	2238
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	AF	EF	-	1271	964	935	1615	906	861	827
			-	452	447	438	731	568	561	687
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	AF	EF	-	477	391	402	486	413	427	407
			-	304	298	250	471	378	380	364
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	AF	EF	-	87	61	78	78	73	87	84
			-	80	56	44	102	83	79	70
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	AF	EF	-	391	330	323	406	340	340	323
			-	224	242	206	369	295	301	295

**Tabela 8.2** - Valores médios dos principais parâmetros avaliados durante o monitoramento do reator EGSB.

<b>Parâmetros</b>		<b>Valores Médios</b>
<b>pH</b>	AF	7,0
	EF	7,8
<b>Temperatura (°C)</b>	AF	30,3
	EF	30,6
<b>DQO bruta (mg/L)</b>	AF	1897
	EF	1224
<b>DQO filtrada (mg/L)</b>	AF	1083
	EF	727
<b>Alcalinidade (mg/L)</b>	AF	878
	EF	896
<b>AGV (mg/L)</b>	AF	262
	EF	168
<b>Cor (Pt/L)</b>	AF	2083
	EF	1765
<b>Turbidez (NTU)</b>	AF	736
	EF	561
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	AF	2817
	EF	2425
<b>Sólidos Totais Fixos (mg/L)</b>	AF	2237
	EF	1940
<b>Sólidos Totais Voláteis (mg/L)</b>	AF	657
	EF	485
<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>	AF	375
	EF	372
<b>Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)</b>	AF	76
	EF	84
<b>Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)</b>	AF	300
	EF	288

## **CAPÍTULO 9.0**

---

### **CURRICULUM VITAE**

O autor dessa dissertação nasceu em Recife, Pernambuco, Brasil, onde recebeu a educação básica. Obteve o grau de Engenheiro Sanitarista na Universidade de Federal do Mato Grosso no fim do ano de 1998. Em março de 2001 iniciou seus estudos no Mestrado em Engenharia Civil, área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, na UFPE.

#### **Trabalhos gerados pela dissertação**

ARRUDA, V. M.; KATO, M. Tratamento anaeróbio de efluentes de matadouros de bovinos da RMR em um reator UASB. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003. Joinville. **Anais...**Santa Catarina. 2003. CD.

ARRUDA, V. M.; KATO, M.; FLORENCIO, L Tratamento de efluentes de matadouros de bovinos em reator UASB. In: XI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2004, Natal. **Anais...** Rio Grande do Norte, 2004.CD.