

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO “STRICTO SENSU” EM
ENGENHARIA QUÍMICA – NÍVEL MESTRADO

DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTE DA LIMPEZA DOS CURRAIS DE GADO LEITEIRO

ADRIANA DA SILVA TRONCO JOHANN

TOLEDO – PR

2010

ADRIANA DA SILVA TRONCO JOHANN

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTE DA LIMPEZA DOS CURRAIS DE GADO LEITEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Monitoramento e Controle Ambiental.

Orientador:
Prof. Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon

TOLEDO – PR

2010

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo.
Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

J65d Johann, Adriana da Silva Tronco
Desenvolvimento de tecnologia alternativa para tratamento
de efluente da limpeza dos currais de gado leiteiro / Adriana da
Silva Tronco Johann. -- Toledo, PR : [s. n.], 2010.
108 f.

Orientador: Drº. Camilo Freddy Mendoza Morejon
Dissertação (Mestre em Engenharia Química) -
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Toledo.
Centro de Engenharias e Ciências Exatas.

1. Resíduos – Bovinocultura leiteira 2. Agropecuária –
Tratamento e uso de dejetos 3. Dejetos bovinos – Tratamento
4. Esterco de gado – Tratamento 5. Tratamento de efluentes 5.
Tecnologia ambiental 6. Meio ambiente 7. Recursos hídricos
I. Morejon, Camilo Freddy Mendoza, Or. II. T

CDD 20. ed. 628.1622
660.2844

A todas as pessoas que de maneira direta ou indireta fizeram com que a realização desse trabalho fosse possível. Em especial ao meu esposo pelo apoio incondicional e aos meus pais que são a razão da minha existência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre me guia em todas as caminhadas e me iluminou em mais essa etapa.

Ao meu esposo pelo apoio, compreensão e incentivo durante a realização desse trabalho.

Aos meus pais e aos meus irmãos que sempre estiveram presentes me incentivando e acreditando na minha capacidade.

Ao prof. Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon, por ter me acompanhado durante todo o desenvolvimento desse trabalho. Meu muito obrigado, pela orientação, dedicação, companheirismo e paciência.

Ao representante comercial da Produquímica Ind. Com. Ltda, Marcelo Batalha das Neves, pela prestatividade e doação do agente floculante utilizado no trabalho.

Aos produtores de leite que nos receberam em suas propriedades e forneceram informações que foram fundamentais para a realização desse trabalho, em especial a propriedade onde foram feitas todas as coletas do resíduo que foi utilizado no experimento.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus de Toledo* pela oportunidade de realizar mais essa etapa da minha formação.

Em especial ao Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia – GERPEL, e ao coordenador do laboratório de Limnologia Aplicada, prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien por ceder o espaço para a realização das análises.

O maior erro você o comete quando, por medo de se enganar, erra deixando de se enganar em seu caminho. Não erra o homem que tenta diferentes caminhos para atingir suas metas. Erra aquele que, por medo de se enganar, não caminha. Não erra o homem que procura a verdade e não a encontra; engana-se aquele que por medo de errar, deixa de procurá-la.

(René Trosseró)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	01
I.1 Generalidades.....	02
I.1.1 Objetivos	03
I.2 Justificativa.....	04
I.3 Definição do elemento de análise - Limites do trabalho.....	05
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA	07
II.1 Situação da atividade leiteira no Brasil.....	08
II.2 Situação da atividade leiteira no estado do Paraná.....	10
II.3 Geração de resíduos pela atividade leiteira.....	13
II. 4 Caracterização do efluente.....	15
II.5 Manejo de resíduos de bovinos nos diversos sistemas de produção.....	16
II.6 Principais métodos de tratamento de águas residuárias.....	18
II.6.1 <i>Sistemas anaeróbios</i>	19
II.6.1.1 <i>Filtro anaeróbio</i>	19
II.6.1.2 <i>Reatores anaeróbios</i>	20
II.6.2 <i>Sistemas de lagoas de estabilização</i>	21

II.6.2.1 Lagoas facultativas.....	21
II.6.2.2 Lagoas anaeróbias – Lagoas facultativas.....	23
II.6.2.3 Lagoas aeradas.....	24
II.6.3 Sistemas de lodos ativados.....	26
II.6.4 Sistemas de tratamento por disposição no solo.....	27
II.6.4.1 Infiltração – Percolação.....	27
II.6.4.2 Escoamento superficial.....	28
II.6.4.3 Fertirrigação.....	30
II.6.5 Sistemas de áreas alagadas (“Wetlands”).....	31
II.6.6 Tecnologias alternativas SIMOCOD e SIMOCOF.....	33
II.7 Desinfecção de organismos patogênicos por meio do uso de radiação solar.....	33
II.8 Uso de agentes floclulantes no tratamento de efluentes pecuários.....	36
CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
III.1 Identificação de etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite.....	39
III.2 Realização de diagnóstico em torno da atividade de bovinocultura leiteira no estado do Paraná	39
III.3 Identificação do potencial de consumo de água e de geração de efluentes da atividade leiteira.....	40
III.4 Caracterização do efluente por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos.....	40
III.5 Proposição de método diferenciado para gestão de efluentes da atividade leiteira.....	41
III.6 Proposição de tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira.....	41
III.7 Determinação da eficiência da tecnologia alternativa e análise de concordância do efluente tratado com a legislação ambiental vigente.....	42

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
IV.1 Etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite.....	47
IV.2 Diagnóstico (econômico, ambiental e social) em torno da atividade de bovinocultura leiteira no estado do Paraná.....	49
IV.3 Caracterização do efluente por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos.....	59
IV.4 Método diferenciado para gestão de efluentes da atividade leiteira.....	60
IV.5 Tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira.....	62
IV.6 Eficiência da tecnologia alternativa e análise de concordância do efluente tratado com a legislação ambiental vigente.....	64
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS	91

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1 Esquema do elemento de análise.....	06
Figura II.1 Poluição potencial sobre os solos, água e ar a partir da atividade agrícola relacionada com a produção animal.....	15
Figura II.2 Esquema de sistema de tratamento com filtro anaeróbio.....	20
Figura II.3 Esquema de sistema que inclui Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA).....	21
Figura II.4 Esquema de um sistema de tratamento com lagoas facultativas.....	22
Figura II.5 Esquema do sistema de tratamento com lagoa anaeróbia-facultativa.....	24
Figura II.6 Esquema do sistema com lagoa aerada de mistura completa-lagoa de decantação.....	25
Figura II.7 Esquema de sistema de tratamento com lodo ativado.....	27
Figura II.8 Esquema de sistema de tratamento de águas residuárias, por infiltração-percolação, em canais de infiltração.....	28
Figura II.9 Esquema de sistema de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial.....	29
Figura II.10 Esquema ilustrativo da disposição de águas residuárias como fertirrigação de culturas agrícolas (método da infiltração lenta).....	31
Figura II.11 Esquema ilustrativo da disposição de águas residuárias como fertirrigação de culturas agrícolas (método da infiltração lenta).....	32
Figura II.12 Esquema de um sistema construído de área alagada (<i>wetland</i>)-escoamento sub-superficial com filtragem horizontal.....	33
Figura IV.1 Fluxograma geral da atividade de bovinocultura leiteira.....	48
Figura IV.2 Distribuição do gado leiteiro no estado do Paraná	50
Figura IV.3 Distribuição do gado leiteiro na região Oeste do estado do Paraná/Brasil.....	52
Figura IV.4 Estimativa do consumo de água para dessedentação do gado leiteiro no estado do Paraná/Brasil.....	53

Figura IV.5 Estimativa do consumo de água para dessedentação do gado leiteiro na região Oeste do estado do Paraná/Brasil.....	54
Figura IV.6 Estimativa do consumo de água para a limpeza de locais de ordenha e utensílios utilizados no processo de ordenha, no estado do Paraná/Brasil.....	55
Figura IV.7 Estimativa do consumo de água para a limpeza de locais de ordenha e utensílios utilizados no processo de ordenha, na região oeste do estado do Paraná/Brasil.....	56
Figura IV.8 Estimativa da geração de efluente líquido na atividade de bovinocultura leiteira, no estado do Paraná/Brasil.....	57
Figura IV.9 Estimativa da geração de efluente líquido na atividade de bovinocultura leiteira, na região Oeste do estado do Paraná/Brasil.....	58
Figura IV.10 (a)Método convencional de limpeza de locais de ordenha (retirada do resíduo com água), (b)Método diferenciado de limpeza de locais de ordenha (retirada da parte sólida por meio de raspagem).....	61
Figura IV.11 Teste de decantação com resíduo líquido de bovinocultura leiteira em diferentes concentrações.....	63
Figura IV.12 Protótipo para tratamento de efluentes da atividade leiteira.....	65
Figura IV.13 Coleta do resíduo sólido.....	66
Figura IV.14 Pesagem das amostras (a), diluição na caixa d'água (b), aspecto da amostra após diluição (c).....	67
Figura IV.15 Aspecto das amostras antes e depois do tratamento para as concentrações 3kg/300L (a), 6kg/300L (b) e 9kg/300L (c).....	68
Figura IV.16 Comparação entre os valores de turbidez para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	70
Figura IV.17 Comparação entre os valores de DQO e DBO para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	71
Figura IV.18 Comparação entre os valores de N-Total e P-Total para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	72
Figura IV.19 Comparação entre os valores de Nitrato para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	73
Figura IV.20 Comparação entre os valores de Nitrito e Amônia para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	73

Figura IV.21 Comparação entre os valores de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV) e Sólidos Suspensos (SS) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	74
Figura IV.22 Comparação entre os valores de Coliformes Totais (CT) e <i>Escherichia- Coli</i> (<i>E-Coli</i>) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).....	75
Figura IV.23 Aspecto das amostras com tratamento de decantação e flotação sem uso de floculante (a) e com uso de floculante (b) para a concentração de 6kg/300L e sem uso de floculante (c) e com uso de floculante (d), para a concentração 9kg/300L.....	76
Figura IV.24 Comparação entre os valores de turbidez para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).....	78
Figura IV.25 Comparação entre os valores de DQO e DBO para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.),com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).....	79
Figura IV.26 Comparação entre os valores de N-Total e P-Total para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.),com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).....	80
Figura IV.27 Comparação entre os valores de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos (SS) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.),com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).....	81
Figura IV.28 Comparação entre os valores de Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.),com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).....	81
Figura IV.29 Comparação entre os valores de Coliformes Totais (CT) e <i>Escherichia- Coli</i> (<i>E-Coli</i>) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).....	82
Figura IV.30 Sistema de desinfecção de organismos patogênicos por meio de radiação solar.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 Caracterização dos sistemas de produção desenvolvidos no Brasil.....	09
Tabela II.2 Caracterização dos sistemas de produção desenvolvidos no estado do Paraná.....	11
Tabela II.3 Forma de excreção dos nutrientes ingeridos através das pastagens.....	13
Tabela II.4 Valores médios da produção de dejetos, necessidades de água para lavagem das instalações e produção de urina.....	14
Tabela II.5 Composição média dos chorumes brutos de explorações de bovinocultura.....	16
Tabela III.1 Planejamento fatorial completo 2 ³ com triplicata no ponto central estudando o efeito da concentração, velocidade de entrada e concentração do agente floculante.....	43
Tabela IV.1 Resultados das análises físicas, químicas e biológicas do efluente <i>in natura</i>	60
Tabela IV.2 Resultados das análises físicas, químicas e biológicas do resíduo sem tratamento e com o tratamento de decantação e flotação, sem uso de agente floculante, para as concentrações 3kg, 6kg e 9kg/300L.....	69
Tabela IV.3 Resultados das análises físicas, químicas e biológicas do resíduo sem tratamento e com o tratamento de decantação, flotação e uso 100mg/L a partir de uma solução 0,1% de agente floculante (Poliacrilamida).....	77
Tabela IV.4 Resultados das análises de coliformes totais e <i>Escherichia-Coli</i> no efluente <i>in natura</i>	84
Tabela IV.5 Resultados das análises de coliformes totais e <i>Escherichia-Coli</i> no efluente tratado com os processos de decantação e flotação para as três concentrações (3kg, 6kg e 9kg/300L), com floculante nas concentrações 6kg e 9kg/300L e com irradiação solar para todas as concentrações.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

EMATER – Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.

NMP/100mL – Número Mais Provável em 100mL.

NTU – Unidades Nefelométricas de Turbidez.

pH – potencial hidrogeniônico.

RAFA – Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente.

RS – Resíduo Sólido.

RL – Resíduo Líquido.

RG – Resíduo Gasoso.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná.

SEMA – Secretaria de Estado e Meio Ambiente.

SETI – Secretaria do Estado, da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior.

SIMOCOD – Sistema Modular Compacto de Decantação.

SIMOCOF – Sistema Modular Compacto de Flotação.

ST – Sólidos Totais.

STF – Sólidos Totais Fixos.

STV – Sólidos Totais Voláteis.

SS – Sólidos Suspensos.

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactores.

UV – Ultra Violeta.

VBP – Valor Bruto de Produção.

JOHANN, A. S. T. Desenvolvimento de tecnologia alternativa para tratamento de efluente da limpeza dos currais de gado leiteiro. 108 p. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

RESUMO

Como conseqüência da crescente demanda de produtos lácteos, a atividade de bovinocultura leiteira vem passando por uma série de transformações tecnológicas. Porém, junto com o aumento da produção de leite vem o aumento da geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, fazendo com que a produção intensiva de bovinocultura leiteira seja apontada como uma das maiores fontes de poluição ambiental. Nesse contexto, o trabalho objetivou o desenvolvimento de tecnologia alternativa para o tratamento de resíduo líquido proveniente da limpeza dos currais de gado leiteiro. Para tanto, a metodologia contemplou um estudo para identificação de etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite; um diagnóstico (econômico, ambiental e social) em torno da atividade de bovinocultura leiteira paranaense; a identificação do potencial de consumo de água e de geração de resíduos líquidos; o desenvolvimento, construção e operação de um protótipo, tendo como base os processos de decantação, flotação e desinfecção do líquido clarificado por radiação solar e a avaliação da eficiência da tecnologia com base na análise de concordância com a legislação ambiental. Os resultados obtidos demonstraram reduções satisfatórias nas concentrações dos parâmetros analisados, principalmente, para DBO, DQO e Nitrogênio Total. No caso do sistema de desinfecção com radiação solar os melhores resultados foram obtidos após 24 horas de exposição ao sol. Desta forma a metodologia e tecnologia alternativa para o tratamento de efluente proveniente da limpeza dos currais de gado leiteiro mostrou-se eficiente.

Palavras – chave: bovinocultura leiteira, tratamento de efluentes, tecnologia ambiental, meio-ambiente, recursos hídricos.

JOHANN, A. S. T. Development of alternative technology for treatment of effluent from the cleaning of dairy cattle corrals. 108 p. 2010. Dissertation (Master`s Degree in Chemical Engineering). Univ. Estadual do Oeste do Paraná

ABSTRACT

As a result of growing demand for dairy cattle products, the activity of dairy cattle has been undergoing a series of technological changes. However, along with increased milk production has increased the generation of solid, liquids and gases residues, causing that the intensive production of dairy cattle is pointed as a major source of environmental pollution. In this context, the work aimed to develop an alternative technology for the treatment of liquid residue from the cleaning of the stables of dairy cattle. Therefore, the methodology included a study to identify steps, variables and relevant parameters of the process of milk production; a diagnostic (economic, environmental and social) around the activity of dairy cattle in Paraná state; the identification of the potential for water consumption and generation of liquid residue; the development, construction and operation of a prototype, based on the processes of sedimentation, flotation and disinfection the liquid clarified by solar radiation and evaluating the effectiveness of the technology based on the analysis of agreement with environmental legislation. The results showed satisfactory reduction in the concentrations of the analyzed parameters, especially for BOD, COD and Total Nitrogen. In the case of the disinfection system with solar radiation the best results were obtained after 24 hours of sun exposure. Thus the alternative methodology and technology for the treatment of effluent from the cleaning of the stables of dairy cattle was efficient.

Keywords: dairy cattle, effluent treatment, environmental technology, environmental, water resources.

I.1 GENERALIDADES

Segundo os dados estimados pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para o ano de 2006, em termos mundiais, a produção brasileira de leite de vaca ocupa a sexta posição, atrás dos Estados Unidos, Índia, China, Rússia e Alemanha (IBGE, 2006).

No Brasil, o estado do Paraná ocupa o segundo lugar, cuja produção em 2007 foi de 2,5 bilhões de litros de leite, o que significou um Valor Bruto da Produção (VBP) de R\$ 1,4 bilhões. As regiões com maior destaque na produção são: Oeste (20,7%), Sudoeste (18,1%) e Centro – Oriental (14,2%) (IPARDES, EMATER, SEAB, SETI, 2009).

O estado do Paraná apresentou um aumento considerável na produção de leite nos últimos anos, o que traz grandes benefícios para a economia do estado, porém, causa grande preocupação quando se trata do meio ambiente e o comprometimento dos recursos hídricos.

Segundo Campos *et al.* (2003), o aumento da demanda por produtos de origem animal tem provocado a exploração intensiva de animais que são agrupados em grande número, produzindo grande quantidade de dejetos em pequenas áreas, gerando problemas tanto para seu tratamento e disposição, quanto de poluição ambiental.

A bovinocultura leiteira intensiva é considerada uma atividade com alto potencial poluidor, uma vez que essa atividade consome os recursos hídricos de maneira direta na ingestão (principalmente no período de lactação) e na higienização dos animais e de maneira indireta na limpeza das instalações (currais, locais de ordenha, utensílios).

Vale salientar que a água utilizada nessa atividade, tem que ser de boa qualidade, tanto para a ingestão quanto para a limpeza das instalações, para não comprometer a qualidade do produto final (leite).

Todos esses fatos geram uma grande preocupação seja pela exploração de recursos hídricos (cada vez mais escassos) ou pela grande geração de resíduos, principalmente efluentes que não recebem tratamento e destino adequados.

Os métodos e tecnologias convencionais disponíveis na literatura ainda apresentam limitações técnicas, a maioria delas requerem grandes áreas para sua implantação e elevados custos de instalação e operação.

Sendo assim, o produtor acaba não fazendo o tratamento e destinação adequada dos resíduos líquidos gerados na atividade de bovinocultura, principalmente, devido aos grandes volumes de resíduos gerados diariamente. Na maioria das vezes, esses efluentes são utilizados de forma direta e sem prévio tratamento, como fonte de adubação, o que acarreta em uma série de problemas como excesso de nutrientes no solo, poluição dos lençóis subterrâneos, escoamento superficial carregando nutrientes, organismos patogênicos e outros elementos tóxicos existentes no resíduo, causando poluição das águas superficiais de nascentes, rios, lagos e reservatórios, podendo ainda causar a eutrofização do corpo d'água e a morte dos organismos aquáticos.

De acordo com Micheletti *apud* Pohlmann (2000) no Brasil a técnica ou a utilização de algum tipo de tratamento dos resíduos da bovinocultura depende do desenvolvimento tecnológico da região. De uma maneira geral, quanto mais empírico for o sistema de criação e exploração do gado leiteiro, mais inadequado será o tratamento e destino final dos efluentes. No estado do Paraná 84% dos produtores de leite adotam o sistema extensivo, com mão de obra familiar e com pouca ou nenhuma tecnologia no processo produtivo e conseqüentemente ausência de métodos, processos e tecnologia otimizada para o tratamento e destino adequado dos efluentes.

I.1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de metodologia e tecnologia alternativa para tratamento de efluente proveniente da limpeza de currais de gado leiteiro.

Especificamente objetivou-se:

- A identificação de etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite;
- A realização de diagnóstico (econômico, ambiental e social) em torno da atividade de bovinocultura leiteira no estado do Paraná;
- A identificação do potencial de geração de efluentes da atividade leiteira;
- A caracterização do efluente por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos;
- A proposição de método diferenciado para gestão de efluentes da atividade leiteira;
- A proposição de tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira; e
- A determinação da eficiência da tecnologia alternativa e análise de concordância do efluente tratado com a legislação ambiental vigente.

I.2 JUSTIFICATIVA

Os aspectos que justificaram a realização do presente trabalho foram:

- a) A necessidade da explicitação das variáveis/parâmetros e elementos constitutivos do processo produtivo de leite visando à otimização;

- b) A necessidade do diagnóstico ambiental e explicitação do potencial de poluição ambiental da atividade de bovinocultura leiteira visando à qualificação e quantificação dos problemas/oportunidades; e a
- c) Necessidade do desenvolvimento de novas metodologias e tecnologias para o tratamento e destino final dos efluentes da atividade de bovinocultura leiteira, considerada como uma das atividades com alto potencial poluidor.

I.3 DEFINIÇÃO DO ELEMENTO DE ANÁLISE - LIMITES DO TRABALHO

O elemento de análise está representado no esquema da Figura I.1, no qual o processo principal de transformação da atividade de bovinocultura leiteira é a produção de leite e as etapas envolvidas nesse processo se tornam numa fonte geradora de resíduos.

Esse processo de transformação tem como elementos de entrada a matéria-prima (gado leiteiro), insumos, complementos e implementos, que são representados pela água utilizada na dessedentação dos animais durante a ordenha e para a limpeza das instalações depois da ordenha, pelos detergentes e desinfetantes utilizados na limpeza, medicamentos, etc. Os elementos de saída compõem o produto principal (leite), os resíduos sólidos (RS), líquidos (RL) e gasosos (RG).

A atividade de bovinocultura leiteira se caracteriza pela geração de vários tipos de resíduos. Porém neste trabalho será considerado apenas o resíduo líquido, uma vez que este apresenta um maior potencial de poluição.

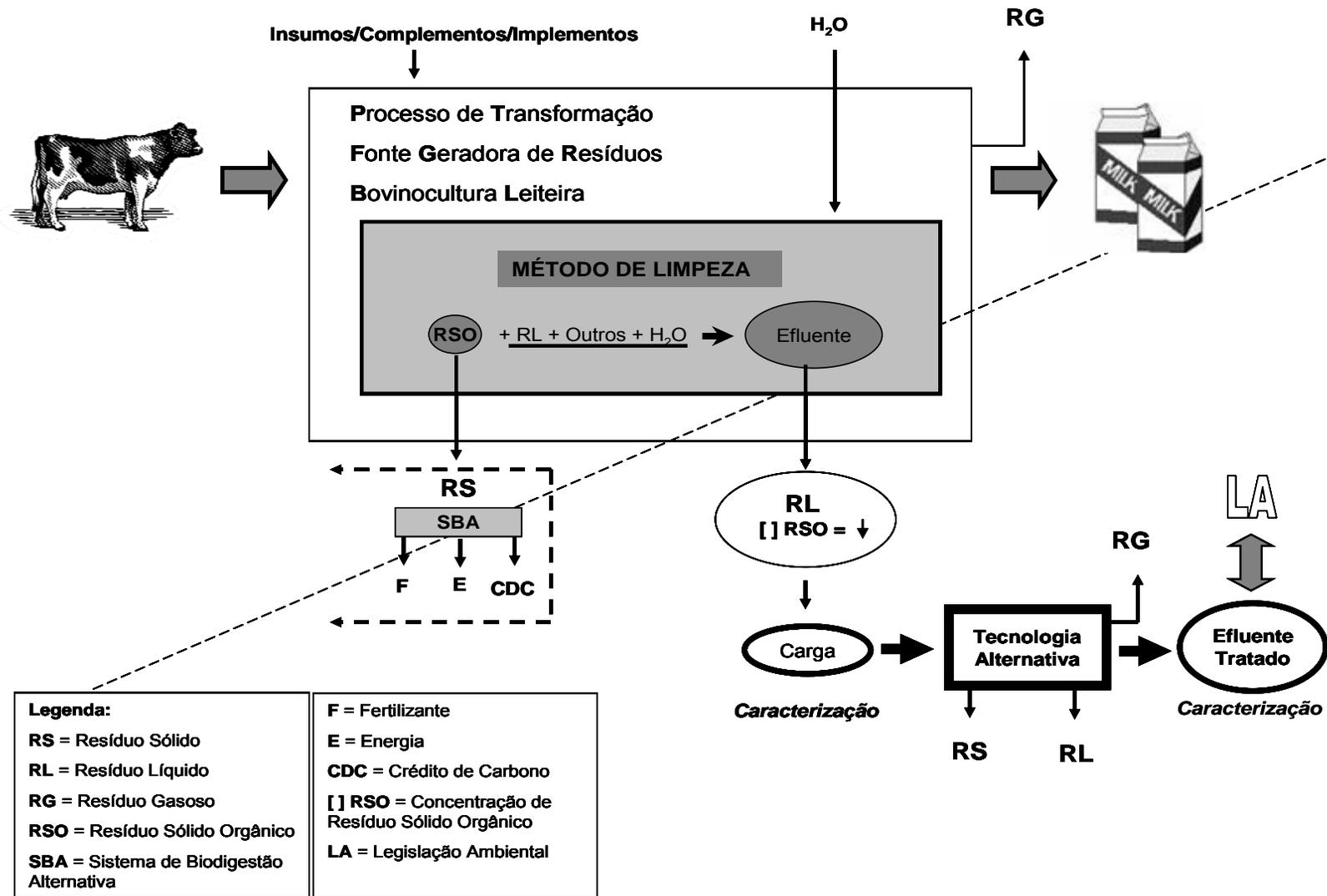


Figura I.1 Esquema do elemento de análise.

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

II.1 SITUAÇÃO DA ATIVIDADE LEITEIRA NO BRASIL

No contexto da agropecuária brasileira, o leite ocupa posição de destaque pelo seu elevado valor de produção. Além disso, desempenha um papel importante no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população brasileira. A cadeia produtiva do leite emprega, anualmente, cerca de 3,5 milhões de pessoas, dos quais um milhão e 300 mil são produtores (VILELA, 2002).

No ano de 2008 a produção de leite no Brasil foi de aproximadamente 19,24 bilhões de litros, apresentando um aumento de 7,5% com relação ao ano de 2007. Sendo as regiões Sudeste (42,4%) e Sul (30,3%) e o estado de Minas Gerais (27,5%) os maiores produtores nacionais (IBGE, 2008). Porém, a cadeia produtiva do leite pode ser encontrada, mesmo que em diferentes aspectos, em todas as regiões brasileiras (LOPES *et al.*, 2007).

Apesar de o Brasil ser considerado um dos grandes produtores mundiais de leite, sua pecuária não pode ser considerada como especializada devido à grande heterogeneidade de sistemas de produção. Aqui, a pecuária leiteira altamente tecnificada convive lado a lado com a pecuária puramente extrativista, com baixo nível tecnológico e baixa produtividade (GOMES *apud* JUNIOR *et al.*, 2006).

É dado como característica marcante da produção primária do leite no Brasil a predominância de produtores nada ou pouco especializados, produção sazonal, pequenos volumes por produtor (40-50 litros/dia) e a venda de animais mestiços e de corte. Esta característica é resultado de uma legislação ultrapassada quanto à qualidade do produto e ao tabelamento advindo da década de 1950. É por isso que a produção de leite no país apresenta uma heterogeneidade de situações, indo desde o produtor especializado (raças puras, alimentação e sanidade adequadas, economia de escala, etc.) até o produtor de gado de corte, para o qual o leite é um subproduto do bezerro capaz de gerar uma pequena renda mensal (ALMEIDA, 2001).

Como citado anteriormente, o Brasil apresenta grande variabilidade nos sistemas de produção. Segundo Assis *et al.* (2005), foram definidos quatro tipos de sistemas de produção: extensivo, semi-extensivo, intensivo a pasto e intensivo em confinamento

(Tabela II.1), essa classificação foi feita com base no grau de intensificação e o nível de produtividade, caracterizados conforme alimentação volumosa adotada.

Tabela II.1 Caracterização dos sistemas de produção desenvolvidos no Brasil.

PARÂMETROS	Sistemas de Produção			
	Extensivo	Semi-Extensivo	Intensivo a Pasto	Intensivo em Confinamento
Produtividade (litros/vaca ordenhada/ano)	<1200	1200-2000	2000-4500	>4500
N ^o de ordenhas/dia	1	2	2	3
Pasto	Ano todo	Ano todo	Ano todo	Não
Volumoso no cocho	Não	Cana e/ou capim picado em parte do ano	Cana, capim picado e/ou forragem conservada	Forragens conservadas o ano todo
Uso de minerais	Sal comum	Mistura mineral	Mistura mineral	Mistura mineral
Grupo genético	Mestiços com alto grau de sangue de raças zebuínas.	Mestiços com grau de sangue variando entre 1/2 Holandês e 7/8 Zebu.	Mestiços com grau de sangue variando entre 1/2 Holandês/Zebu e 1/2 Holandês PC, mas existem rebanhos com animais puros de origem taurina, predominantemente o Holandês.	Puros de raças taurinas e também animais mestiços com alto grau de sangue holandês.
Controle sanitário	Precário geralmente inexistente.	e Melhor que do sistema extensivo, porém, ainda pode ser considerado precário.	Melhores cuidados sanitários e assistência veterinária permanente.	Rigoroso, com assistência veterinária permanente.

Continuação Tabela II.1.

PARÂMETROS	Sistemas de Produção			
	Extensivo	Semi-Extensivo	Intensivo a Pasto	Intensivo em Confinamento
Assistência técnica	Eventual, realizada principalmente por técnicos de organismos públicos, algumas vezes complementada por técnicos de empresas e insumos.	Eventual, realizada principalmente por técnicos da extensão oficial, das cooperativas e das indústrias de laticínios.	Predominante contratada, mas alguns produtores recebem assistência de profissionais autônomos ou de técnicos das cooperativas e indústrias de laticínios.	Predominante contratada.
Instalações	Limitam-se a um curral onde os animais são ordenhados.	Simples, com maiores investimentos em salas de ordenha e resfriamento de leite.	Simples, com maiores investimentos em salas de ordenha e resfriamento de leite.	Grandes investimentos em estruturas, especialmente nas instalações para as vacas em lactação.
Regiões onde o sistema predomina	Norte, Nordeste e Centro-Oeste.	Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e em algumas áreas da região Sul.	Sudeste, Sul e em algumas áreas das regiões Centro-Oeste e Nordeste.	Sudeste e Sul
Porcentagem de produtores que adotam o sistema	89,5%	8,9%	1,6%	<0,1%
Contribuição para a produção nacional	32,8%	37,7%	25,0%	4,6%

Fonte: modificado de ASSIS *et al.* (2005).

II.2 SITUAÇÃO DA ATIVIDADE LEITEIRA NO ESTADO DO PARANÁ

No Brasil, o estado do Paraná é considerado como o segundo maior produtor de leite, com aproximadamente 100 mil produtores de leite que representam um quarto do total de produtores que se dedicam à agropecuária no estado. No ano de 2007, o número de vacas ordenhadas foi 1.352.291 cabeças, o que resultou em uma produção

de 2.700.997 mil litros de leite e 1,4 bilhões de reais. As regiões que se destacam são Centro-Oriental, Oeste e Sudoeste. (IPARDES, 2009).

No entanto, apesar dos números apresentados acima, o desenvolvimento da atividade ainda é muito desigual, pois, enquanto apenas 6% dos produtores, com produção acima de 251 litros/dia, respondem por 42% do total da produção leiteira no estado, 55% dos produtores que produzem até 50 litros/dia são responsáveis por apenas 15% do total (IPARDES, 2009).

Sendo assim, verifica-se que a agricultura familiar está muito presente na atividade agropecuária e tem como principais características a falta de tecnologia, e saneamento, além de trabalharem com animais de raças mestiças o que contribui para a baixa produtividade.

No estado do Paraná existem 321.380 estabelecimentos familiares, desse total 152,7 mil estabelecimentos se dedicam à pecuária leiteira e ocupam um território de 3,76 milhões de hectares (TELLES *et al.*, 2008).

Quanto às condições básicas de habitabilidade, apenas 20% dos produtores residem em moradias que atendem requisitos mínimos como infra-estrutura adequada de abastecimento de água e destino dos dejetos e do lixo (IPARDES, 2009).

O estado do Paraná, a exemplo do Brasil, também conta com diferentes sistemas de produção como pode ser observado na Tabela II.2.

Tabela II.2 Caracterização dos sistemas de produção desenvolvidos no estado do Paraná.

PARÂMETROS	Sistemas de Produção			
	I	II	III	IV
Manejo	Extensivo	Extensivo	Semi-extensivo	Intensivo
Produtividade (litros/vaca ordenhada/ano)	<1310	3217	5407	7233
Tamanho do rebanho	10 vacas em lactação	20 vacas em lactação	40 vacas em lactação	70 vacas em lactação
Área média da propriedade ocupada com atividade leiteira	13 há	33 há	34 há	60 há

Continuação Tabela II.2.

PARÂMETROS	Sistemas de Produção			
	I	II	III	IV
Ordenha	Manual	Manual ou mecânica	Mecânica	Mecânica
Mão de obra	Familiar	Familiar e/ou contratada	Predominante contratada	Contratada
Pasto	Pastagens perenes de verão	Pastagens perenes e pastagem anual de inverno	Pastagens perenes, pastagem anual de inverno e verão	Pastagens perenes, pastagens anuais de inverno e verão
Volumoso no cocho	Não	Ração durante quatro meses do ano	Ração e silagem durante todo o ano	Ração e silagem são fornecidas o ano inteiro
Grupo genético	Mestiço ou não especializado com baixa produtividade	50% especializado	Especializados	Especializados
Instalações	Curral	Estábulo ou curral	Estábulo ou sala de ordenha	Sala de ordenha
Regiões onde o sistema predomina	Mesorregiões Noroeste, Norte Pioneiro, Norte Central, Centro Ocidental e parte das mesorregiões Sudoeste e Centro Sul	Mesorregiões Sudoeste, parte das mesorregiões Centro Sul e Sudeste	Mesorregião Oeste principalmente nos municípios de Toledo e Marechal Cândido Rondon.	Mesorregião Centro Oriental principalmente nos municípios de Arapoti, Castro e Carambei.
Porcentagem de produtores que adotam o sistema	84%	11%	4%	1%

Fonte: modificado de Telles *et al.* (2008).

II.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS PELA ATIVIDADE LEITEIRA

A atividade de bovinocultura leiteira no Brasil vem passando por uma série de mudanças com o passar dos anos. Essas mudanças estão relacionadas à adoção cada vez maior de tecnologias e exploração intensiva dos animais com objetivo de aumentar a produção, uma vez que existe um aumento da demanda por produtos de origem animal e produtos lácteos. Porém, junto com o aumento da produção vem o aumento da geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Os sistemas de produção intensiva de bovinocultura leiteira são apontados como uma das maiores fontes de poluição das águas superficiais e subterrâneas e também da atmosfera (JARVIS *apud* PEREIRA, 2005).

De acordo com Matos (2005), uma vaca leiteira com peso médio de 400 kg, produz diariamente em excretas de 28 a 32 kg de fezes, estando à produção de fezes e urina na faixa de 38 a 50 kg.

Já para Pauletti (2004), a quantidade de dejetos produzidos por dia por bovinos com peso de 453 kg é de 23,5 kg de esterco e 9,1 kg de urina. Esses resíduos são ricos em minerais, pois o animal retém somente 10% do que consome através da alimentação e elimina 90% na forma de urina e fezes. A tabela III.3 traz de maneira mais detalhada a forma de excreção dos nutrientes ingeridos por meio das pastagens.

Tabela II.3 Forma de excreção dos nutrientes ingeridos por meio das pastagens.

Elemento	Urina (% do total excretado)	Fezes (% do total excretado)
N	76-82	18-24
K	70-90	13-30
P	Traços	> 95
Mg	10-30	70-90
S	6-90	10-94
Ca	traços	99

Fonte: Wilkinson e Lowrey *apud* Assenheimer (2007).

Porém, na atividade leiteira, além dos resíduos gerados pelos animais, existem os resíduos gerados no processo de ordenha e limpeza das instalações e utensílios utilizados.

Segundo Cronk (1996), a quantidade de resíduo líquido produzido em uma fazenda leiteira depende do manejo adotado, de modo que, o consumo de água pode variar de 40 até 600 litros por animal, onde há lavagem das excretas e banho dos animais, podendo haver também outros contaminantes como detergentes e desinfetantes utilizados na sanitização do local.

A tabela II.4 apresenta alguns valores médios da produção de dejetos, necessidades de água para lavagem das instalações e produção de urina.

Toda essa geração de resíduos causa sérios impactos ao meio ambiente, uma vez que esses resíduos apresentam alto potencial poluidor, pois liberam odores, emitem gases que contribuem para o efeito estufa e destruição da camada de ozônio, além de contaminarem as águas superficiais e subterrâneas. O ciclo de poluição causado pela falta de tratamento e uso indevido desse resíduo está representado na Figura II.1.

Tabela II.4 Valores médios da produção de dejetos, necessidades de água para lavagem das instalações e produção de urina.

Fatores	Quantidade
Valor médio da quantidade de dejetos produzidos	45 kg animal ⁻¹ dia ⁻¹
Valor médio das necessidades de água para lavagem das instalações	40 L animal ⁻¹ dia ⁻¹
Valor médio de produção de urina	5000 L animal ⁻¹ ano ⁻¹

Fonte: modificado de Pereira (2005).

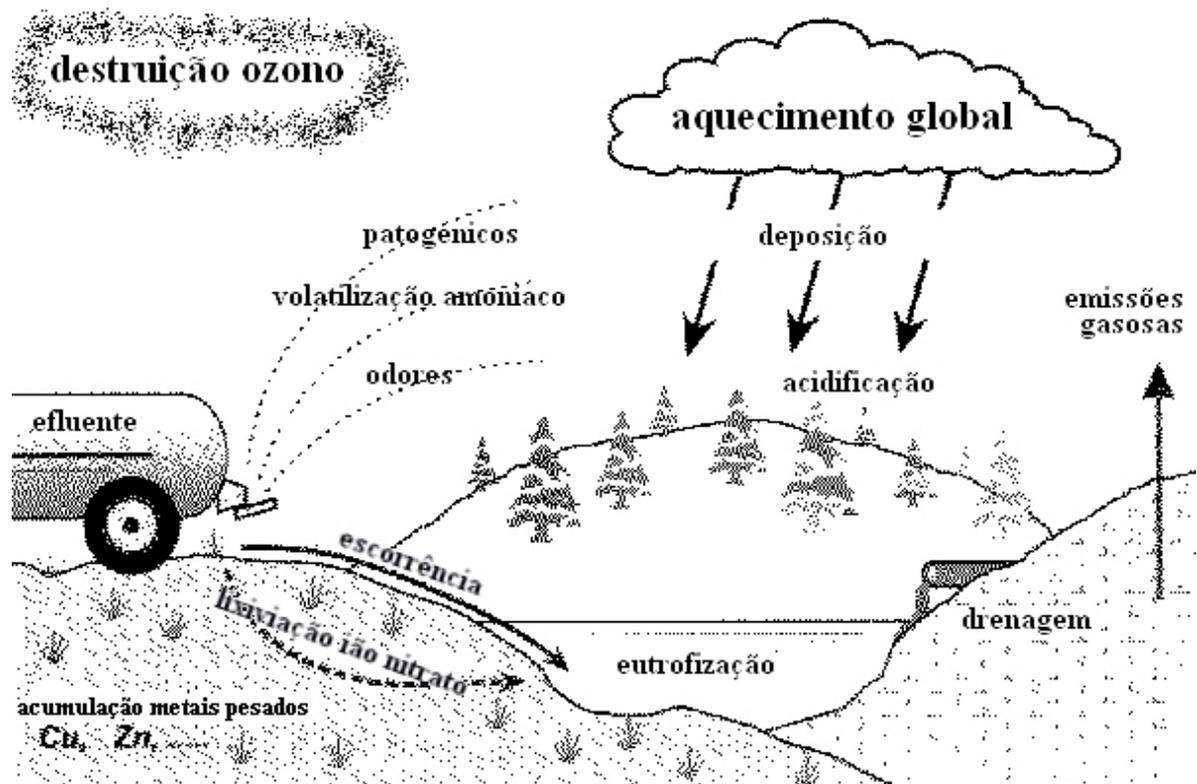


Figura II.1 Poluição potencial sobre os solos, água e ar a partir da atividade agrícola relacionada com a produção animal (Fonte: Pereira, 2005).

II. 4 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Determinar e quantificar a composição dos resíduos gerados pelo animal não é uma tarefa fácil, levando em consideração que uma série de fatores pode influenciar no volume e na composição dos dejetos.

Segundo Van Horn *et al.* (1994), podem ocorrer variações consideráveis na quantidade de dejetos produzidos pelas vacas leiteiras dependendo da quantidade de matéria seca ingerida, concentração de nutrientes e da digestibilidade da dieta.

Segundo Buxadé *apud* Pereira (2005), as características e composição dos efluentes de bovinocultura produzidos dependem de vários fatores, como: tipo e peso médio do animal, tipo de exploração, sistema de alojamento, dieta alimentar, sistema de distribuição de alimentos, consumos de água para ingestão e operações de lavagem

das instalações, prática de desinfecção das instalações, sistema de limpeza das instalações e sistema de coleta e manipulação dos efluentes.

Além dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio e dos oligoelementos (metais pesados sob as formas de óxido de zinco e sulfato de cobre), os dejetos pecuários bovinos provenientes de explorações intensivas possuem ainda quantidades substanciais de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal, compostos voláteis (responsáveis por maus cheiros) e agentes patogênicos que, não sendo geridos e processados adequadamente, trazem conseqüências nefastas para o meio ambiente (PEREIRA, 2005). Na tabela II.5 observa-se a composição média dos chorumes brutos de explorações de bovinocultura.

Tabela II.5 Composição média dos chorumes brutos de explorações de bovinocultura.

Parâmetros	Valores
Sólidos totais	100.000 mg L ⁻¹
Sólidos voláteis	85.000 mg L ⁻¹
Sólidos suspensos	84.000 mg L ⁻¹
DQO	140.000 mg L ⁻¹
DBO	23.000 mg L ⁻¹
Nitrogênio total	4.000 mg L ⁻¹
Nitrogênio orgânico	3.000 mg L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal	1.000 mg L ⁻¹
Potássio	5.000 mg L ⁻¹
Coliformes Totais	2400 10 ⁵ NMP/100mL (animal ⁻¹ dia ⁻¹)
<i>Escherichia Coli</i>	3 10 ⁵ NMP/100mL (animal ⁻¹ dia ⁻¹)

Fonte: modificado de Pereira (2005).

II.5 MANEJO DE RESÍDUOS DE BOVINOS NOS DIVERSOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O manejo apropriado do resíduo varia de acordo com o sistema de produção adotado e a consistência do resíduo.

De acordo com Embrapa (2004), existem três consistências para o esterco (resíduo): Sólido (16% ou mais de sólidos totais), Semi-sólido (12% a 16% de sólidos totais), Líquido (12% ou menos de sólidos totais).

Sólido: o resíduo pode ser manejado na forma sólida, no qual o mesmo é removido por meio de raspagem manual ou mecânica e amontoado para coleta e transporte. Posteriormente pode ser armazenado em locais cobertos, ou não, para escoamento do excesso de umidade e distribuído, em seguida, nas áreas de cultura (distribuidores de esterco seco ou distribuição manual), ou pode ser levado para esterqueira ou para compostagem, ou ainda distribuído diretamente nas áreas de cultura. Normalmente, não se faz nenhum tipo de processamento ou tratamento prévio do esterco antes de sua utilização como fertilizante.

Semi-sólido: nesse caso a quantidade de água misturada aos dejetos é apenas suficiente para facilitar a remoção do resíduo. O resultado é um efluente com 12% a 16% de sólidos totais, considerado muito úmido para o sistema convencional e pouco úmido para o sistema de irrigação.

Sempre que a topografia for favorável, os tanques ou fossas de armazenamento devem ser localizados de maneira que se possa usar a gravidade tanto para levar o efluente das instalações para o tanque quanto deste para a fertirrigação dos solos, o que assegura a redução significativa dos custos de energia, mão-de-obra, materiais e equipamentos. O volume desses tanques deve ser suficiente para armazenar o efluente de 3 a 5 dias, permitir maior flexibilidade de manejo e não onerar os investimentos. Normalmente, a distribuição do esterco semi-sólido depende de um distribuidor de esterco líquido tracionado por trator ou de caminhão-tanque, equipado com sistema vácuo-compressor para as operações de homogeneização, carregamento e distribuição. A grande vantagem desses equipamentos é que o líquido manuseado não passa pelo vácuo-compressor, evitando os problemas de entupimentos, tão comuns nas bombas convencionais.

A capacidade desses distribuidores de esterco líquido varia de 2 mil a 10 mil litros. Existem, no mercado, bombas especiais com rotor aberto ou semi - aberto para esse tipo de trabalho, com boa eficiência para pequenas e médias pressões. Esse

sistema demanda maior quantidade de mão-de-obra e equipamentos, porém apresenta baixas perdas de nutrientes.

Líquido: No caso do resíduo líquido, é preciso construir tanques de coleta, tratamento e homogeneização do material proveniente da limpeza das instalações. Os dejetos e os resíduos da alimentação são diluídos em água na proporção de 1:1 ou menos, de modo que a concentração de sólidos totais (ST) seja menor ou igual a 12%, a fim de permitir a utilização de sistemas de irrigação com equipamentos especiais. A capacidade de armazenagem dos tanques varia de acordo com o sistema de tratamento adotado, com o tamanho do rebanho, o sistema de confinamento, diluição dos dejetos, tempo de detenção hidráulica nos reatores biológicos (digestão aeróbia ou anaeróbia), tipo de solo e culturas a serem irrigadas, manejo adotado para o sistema de irrigação (fertirrigação) e quantidade de chuva que o sistema pode suportar. As principais vantagens desse sistema são: baixo emprego de mão-de-obra, liberação de máquinas e equipamentos caros, como trator e implementos, para outras atividades, pequena perda de nutrientes quando as irrigações são freqüentes, economia de fertilizantes e corretivos convencionais, conservação e melhoramento da fertilidade do solo, possibilidade de reciclagem do esterco líquido tratado para limpeza hidráulica dos galpões de confinamento tipo baias livres ou coletivas, economia de água, energia e mão-de-obra, com expressivo ganho econômico e ambiental.

II.6 PRINCIPAIS MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Para o tratamento de águas residuárias de origem agroindustrial, os principais métodos utilizados são: sistemas anaeróbios, sistemas de lagoas de estabilização, sistemas de lodos ativados, sistemas de áreas alagadas (*Wetlands*). A seguir uma descrição de cada método.

II.6.1 Sistemas anaeróbios

Esses sistemas são bastante apropriados no tratamento de efluentes com elevadas concentrações de material orgânico, como é o caso das águas residuárias provenientes da atividade pecuária que venham a ser dispostas ou tratadas no solo (MATOS, 2005).

II.6.1.1 Filtro anaeróbio

No sistema de tratamento em filtros anaeróbios, a DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias aderidas em uma coluna de material inerte (geralmente brita Nº 4), que fica acondicionada dentro do reator. O fluxo de líquido a ser tratado ocorre no meio filtrante saturado e no sentido ascendente. O sistema requer decantação primária (freqüentemente fossas sépticas ou tanque de Imhoff) seguida de lagoa facultativa (Figura II.2). A inclusão de uma lagoa facultativa no sistema de tratamento justifica-se por apresentar o efluente do filtro anaeróbio aspecto desagradável, concentração muito elevada de nitrogênio, fósforo e sólidos em suspensão e, em determinadas situações, maus odores, o que lhe proporciona condições inadequadas para lançamento em corpos hídricos receptores. As principais vantagens desse método são boa adaptação aos diferentes tipos e concentrações de águas residuárias e boa resistência às variações de carga orgânica aplicada, o que é muito comum no caso de atividades agroindustriais. Como principal desvantagem tem-se a insuficiência para atendimento dos padrões de lançamento em corpos d'água receptores, exigindo, eficiente tratamento em nível secundário (MATOS, 2005).

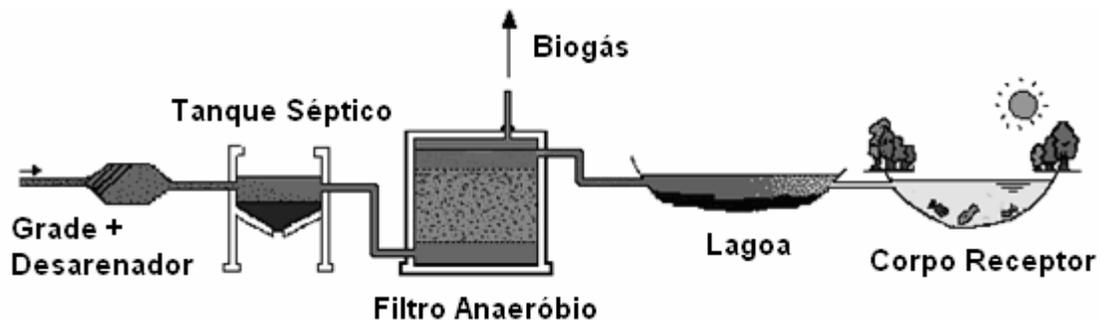


Figura II.2 Esquema de sistema de tratamento com filtro anaeróbio.
 Fonte: Matos (2005).

II.6.1.2 Reatores anaeróbios

Nos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFA), também denominados UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors) ou Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo, a biomassa cresce dispersa no meio, e não aderida a um meio suporte, como no caso dos filtros biológicos e anaeróbios. Como nas reações em meio anaeróbio há geração de gases (principalmente metano e gás carbônico), as bolhas formadas, apresentando tendência ascendente, carregam consigo sólidos. Na parte superior dos reatores é instalada uma estrutura capaz de promover a separação de fases sólida, líquida e gasosa, construída de forma a fazer retornar a biomassa em suspensão para a base do reator possibilitando a saída do gás metano de forma canalizada do reator. O gás metano, quando produzido em grande quantidade pode tornar viável seu aproveitamento como fonte de energia, pois quando produzido em pequenas vazões não compensa e ele deve ser queimado antes de ser lançado para a atmosfera, a fim de se minimizar os impactos do efeito estufa no planeta. Para a operação de um RAFA (Figura II.3) não é necessário que seja efetuada, previamente, a decantação primária e, caso o efluente seja direcionado para disposição no solo, pode ser a única etapa de tratamento. Tem como vantagem não requerer grandes áreas para instalação e apresentar parcial estabilização do lodo no próprio reator. E como desvantagens relativa sensibilidade às variações de carga e o mau desempenho no tratamento de águas residuárias ricas em óleos e graxas, desbalanceadas em termos de nutrientes para os microrganismos ou que contenham substâncias tóxicas aos microrganismos.

Além do alto custo de instalação, manutenção e operação com necessidade de relativamente grande conhecimento técnico para a adequada operação do reator, o que torna sua instalação pouco interessante em áreas não urbanas (MATOS, 2005).

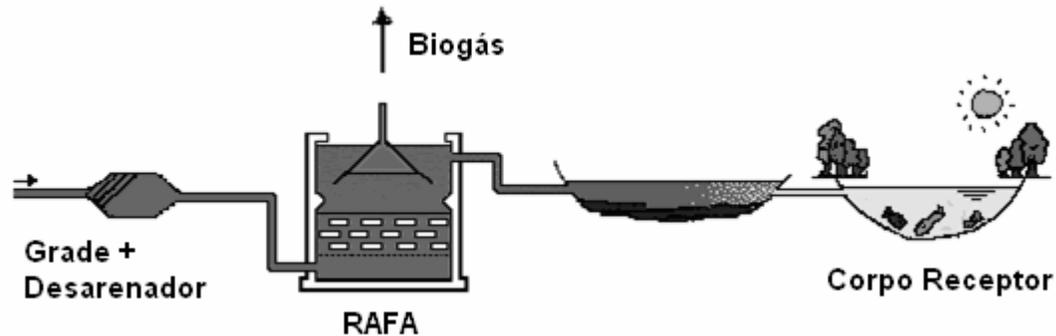


Figura II.3 Esquema de sistema que inclui Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (RAFA).
Fonte: Matos (2005).

II.6.2 Sistemas de lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são unidades especialmente construídas com a finalidade de tratar águas residuárias por meios predominantemente biológicos, isto é, por ação de microrganismos naturalmente presentes no meio. O uso de lagoas de estabilização tem sido freqüente para o tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, sendo muito adequadas no caso das agroindustriais. As lagoas de estabilização podem ser construídas de forma simples, escavadas no solo ou formadas por diques de terra, porém deve ter os seus fundos compactados e cobertos com borracha butílica, no caso das anaeróbias, camada de material argiloso, compactado, para evitar a infiltração de águas residuárias no solo e colocar em risco a qualidade das águas subterrâneas.

II.6.2.1 Lagoas facultativas

Dentre os sistemas de lagoas de estabilização, o processo de lagoas facultativas é o mais simples, dependendo unicamente de fenômenos naturais.

Durante o percurso da água residuária, que demora vários dias, o material orgânico em suspensão (DBO particulada) tende a se sedimentar, vindo a constituir o

lodo de fundo. Este lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros, restando apenas à fração inerte (não biodegradável), que permanece junto ao fundo da lagoa. O material orgânico dissolvido (DBO solúvel), juntamente com o material orgânico em suspensão, de pequenas dimensões (DBO finamente particulada), é decomposto por bactérias facultativas (têm a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio). O oxigênio necessário para a respiração das bactérias aeróbias é fornecido, principalmente, pela fotossíntese realizada pelas algas. Como para a ocorrência da fotossíntese é necessário o fornecimento de energia luminosa às algas, para maior eficiência do tratamento, é fundamental se privilegiar a exposição da massa de água à radiação solar. Assim, a camada de água superficial na lagoa, receptora de maior intensidade luminosa, estará, durante o dia, sob condições estritamente aeróbias. À medida que se aprofunda na lagoa, em função da menor fotossíntese realizada pelas algas, a disponibilidade de oxigênio dissolvido diminui e o ambiente pode se tornar anóxico (sem presença de oxigênio) e, posteriormente, anaeróbio. Grupos de bactérias diferenciadas, desde estritamente aeróbias, facultativas e estritamente anaeróbias podem, então, participar na estabilização do material orgânico. Este método de tratamento tem como vantagens satisfatória resistência às variações de carga, relativamente elevada eficiência na remoção de DBO e de agentes patogênicos, reduzidos custos de implantação, operação e manutenção, baixo requerimento energético. Apresenta como desvantagens, requerer grandes áreas para construção, desempenho variável com as condições climáticas (temperatura e insolação) e a possibilidade do desenvolvimento de insetos (MATOS, 2005).

Na Figura II.4 está apresentado o fluxograma típico de um sistema de tratamento com lagoas facultativas.



Figura II.4 Esquema de um sistema de tratamento com lagoas facultativas.

Fonte: Matos (2005).

II.6.2.2 Lagoas anaeróbias – Lagoas facultativas

O processo de lagoas facultativas, apesar de apresentar eficiência satisfatória, requer grandes áreas, muitas vezes não disponível na localidade em que se pretende efetuar o tratamento da água residuária. Sendo assim, uma solução é a de uso de sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, também denominado de “sistema australiano” (Figura II.5).

Nas lagoas anaeróbias, os organismos transformarão o material orgânico em material menos complexo, porém ainda passível de decomposição, o que deve ser feito sob condições aeróbias. Por isso, as lagoas são especialmente indicadas como pré-tratamento de águas residuárias, notadamente as que detêm grande carga orgânica, como é o caso da maioria dos efluentes da agroindústria (águas residuárias de criatórios de animais, de abatedouros, de laticínios, etc). A água residuária bruta entra numa lagoa de menores dimensões e mais profunda (3,0 a 5,0 metros), de forma a minimizar-se a penetração de luz solar e, com isso, diminuir a proliferação de algas fotossintetizadoras, privilegiando-se as reações anaeróbias. Em períodos curtos de permanência na lagoa anaeróbia (3 a 5 dias), a decomposição do material orgânico é apenas parcial. Ainda assim, a remoção da DBO alcança 50 a 60%, o que, apesar de insuficiente para que o efluente tenha satisfeito os padrões para lançamento em cursos d'água, representa grande contribuição de tratamento, diminuindo a carga orgânica a ser tratada na lagoa facultativa, situada a jusante e que, dessa forma, pode ter dimensões menores que as necessárias no tratamento de águas residuárias com apenas uma lagoa facultativa (a área total sistema de lagoas anaeróbias-lagoas facultativas é de cerca de 2/3 do necessário para uma lagoa facultativa única). O sistema lagoas anaeróbias-facultativas tem eficiência ligeiramente superior à de uma lagoa facultativa única, é conceitualmente simples e fácil de operar. As vantagens são as mesmas apresentadas para lagoas facultativas, com a única diferença que requer menor área do que o necessário para instalação de sistemas com lagoas facultativas únicas. E as desvantagens são idênticas às de sistemas com lagoas facultativas, porém existe a possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbia e com isso a necessidade de

escolha de um local, com afastamento razoável de residências, para a construção dessa lagoa (MATOS, 2005).

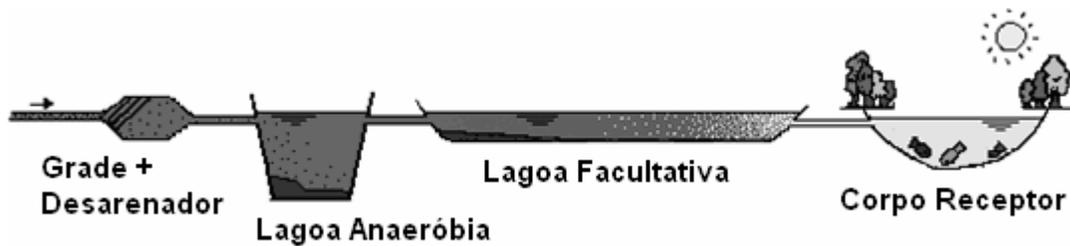


Figura II.5 Esquema do sistema de tratamento com lagoa anaeróbia-facultativa.
Fonte: Matos (2005).

II.6.2.3 Lagoas aeradas

Esse sistema é utilizado quando se quer ter um sistema de lagoas de estabilização de menores dimensões e que promova, mais rapidamente, a redução da DBO até o nível requerido, nesse caso utilizam-se aeradores mecânicos para fornecimento de oxigênio ao meio líquido (Figura II.6). Nessas condições, a fotossíntese deixa de ser a fonte de oxigênio para as bactérias aeróbias, passando a ser a incorporação do ar atmosférico ou de oxigênio puro a principal fonte de oxigênio para as bactérias aeróbias degradarem o material orgânico em suspensão. Os aeradores mecânicos mais comumente utilizados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhonamento na água. Esse turbilhonamento propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, onde ele se distribui, passando a constituir o denominado “oxigênio dissolvido”. Com isto, consegue-se maior e mais rápida introdução de oxigênio no meio líquido do que em sistemas que utilizem aeração natural (lagoa facultativa convencional), fazendo com que ocorra a decomposição do material orgânico de forma mais rápida. Para evitar condições limitantes de oxigênio dissolvido no meio líquido, a sua concentração na lagoa aerada deve ser de 1 a 2 mg L⁻¹.

As lagoas aeradas podem ser subdivididas em aeradas-facultativas e aeradas de mistura completa – lagoa de decantação.

No caso da lagoa aerada-facultativa, o turbilhonamento causado no líquido pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação do meio, mas não mantém os sólidos

(bactérias e sólidos presentes) em suspensão na massa líquida. Desta forma, os sólidos tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo de fundo, a ser decomposta anaerobiamente. Apenas a DBO permanece na massa líquida, vindo a sofrer decomposição aeróbia.

Para lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação, o turbilhonamento proporcionado pelos aeradores é suficientemente elevado para suspender e manter os sólidos (material orgânico e biomassa microbiana) dispersos no meio líquido, ou em mistura completa (Figura II.6).

As vantagens desse tipo de tratamento consistem no fato de apresentarem construção, operação e manutenção relativamente simples, requerem áreas inferiores aos sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas, maior independência das condições climáticas locais que os sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas, relativamente alta eficiência na remoção da DBO, ligeiramente superior às obtidas em sistemas com lagoas facultativas, satisfatórias resistências às variações de carga e reduzidas possibilidades de maus odores. No caso das aeradas de mistura completa - lagoa de decantação, além das vantagens citadas, há, também, menor requisito de área dentre todos os sistemas de lagoas de estabilização. Como desvantagens a necessidade da introdução de equipamentos, o aumento no nível de sofisticação do processo e os requisitos de energia relativamente elevados. No caso de sistemas com lagoas aeradas de mistura completa - lagoa de decantação, a necessidade de contínua remoção do lodo deve também ser incluída entre as desvantagens do sistema (MATOS, 2005).

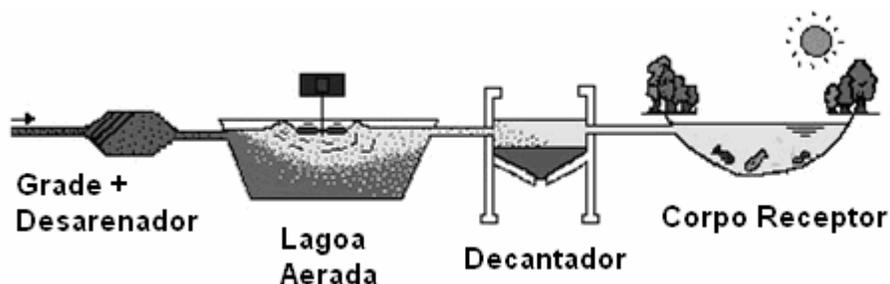


Figura II.6 Esquema do sistema com lagoa aerada de mistura completa-lagoa de decantação. Fonte: Matos (2005).

II.6.3 Sistemas de lodos ativados

Os sistemas de lodos ativados são constituídos por decantadores primários, seguidos de tanques de aeração de mistura completa e decantadores secundários (Figura II.7), sendo o fornecimento de oxigênio feito por aeradores mecânicos ou por sistema de aplicação de ar subaquático, denominado “ar difuso”. O decantador primário tem por função proporcionar a remoção de parte do material orgânico sedimentável e, com isso, diminuir as necessidades de aeração e, obviamente, os gastos de energia no processo. O princípio básico do sistema de lodos ativados é a recirculação, por bombeamento, dos sólidos (biomassa bacteriana) sedimentados no decantador secundário, com o objetivo de aumentar o tempo de contato das bactérias degradadoras do material orgânico com o líquido. Com isso, os sólidos permanecem por muito mais tempo no sistema e é justamente esta maior permanência que garante a elevada eficiência dos lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente todo o material orgânico presente nas águas residuárias. Existem algumas variantes nos sistemas de lodos ativados que são os sistemas de lodos ativados por aeração prolongada e os de lodos ativados de fluxo intermitente. Nos sistemas de aeração prolongada a biomassa permanece mais tempo no sistema (os tanques de aeração são maiores), em decorrência disso o lodo retirado já sai estabilizado. Em sistemas intermitentes, no mesmo tanque, podem ocorrer, em fases diferentes, as etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados). Quando os aeradores estão desligados, os sólidos sedimentam, ocasião em que se retira o efluente (sobrenadante). Ao se religar os aeradores, os sólidos sedimentados retornam à massa líquida, o que dispensa as elevatórias de recirculação. Nesse caso não há a necessidade da inclusão de decantadores secundários no sistema de tratamento.

Tem como vantagens elevada eficiência na remoção de DBO, possibilidade de remoção biológica de nitrogênio e fósforo, baixos requisitos de área (bastante inferiores às do sistema de lagoas e estabilização), reduzidas possibilidades de ocorrência de maus odores e desenvolvimento de insetos e vermes. E como desvantagens, elevados custos de implantação e operação, elevado consumo de energia, necessidade de

conhecimento técnico para sua operação, apresenta grande sensibilidade às descargas tóxicas, além de apresentar problemas de ruídos e exalação de aerossóis (MATOS, 2005).

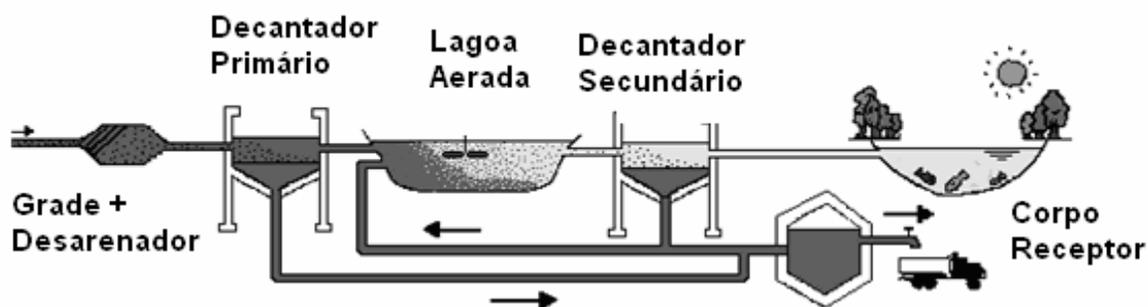


Figura II.7 Esquema de sistema de tratamento com lodo ativado.
Fonte: Matos (2005).

II.6.4 Sistemas de tratamento por disposição no solo

As águas residuárias agroindustriais são, em geral, ricas em nutrientes de interesse agrícola, podendo ser fonte de água e nutrientes para plantas. Em vista disso, a sua disposição no solo deve passar a ser considerada como importante opção para a solução de problemas relativos à poluição decorrentes de atividades agroindustriais. Esta técnica de tratamento tem grande potencial de aplicação, em vista dos baixos custos de implantação e operação, por contribuir para a preservação do meio ambiente e possibilitar o aproveitamento dos nutrientes nela contidos, para a produção agrícola.

II.6.4.1 Infiltração – Percolação

Nesse sistema o objetivo é fazer do solo um filtro para as águas residuárias. Este sistema é caracterizado pela percolação da água residuária, a qual, purificada pela ação filtrante do meio poroso, constitui recarga para águas freáticas ou subterrâneas. Nesse caso, o efluente é disposto em bacias rasas (tabuleiros) ou valas de infiltração (Figura II.8) e sem revestimento impermeabilizante no fundo, construídas em solos de alta permeabilidade, onde o efluente é forçado a se infiltrar e percolar pelo perfil. Neste método, são utilizadas altas taxas de aplicação, sendo as perdas por evaporação

relativamente pequenas. A aplicação deve ser intermitente, proporcionando um período de descanso para o solo. As águas percoladas podem ser direcionadas para abastecimento freático ou captadas por rede de drenagem sub-superficial ou sistema de poços freáticos, para terem outros usos.

As vantagens desse tratamento consistem em requerer áreas relativamente pequenas, quando comparado ao de outros métodos disposição no solo, para a disposição da água residuária; requer uso de energia apenas quando for necessário o bombeamento e a aplicação da água residuária de forma pressurizada; apresenta reduzidos custos de implantação, operação e manutenção; pode-se efetuar a disposição final do lodo no próprio local de tratamento; pode-se efetuar a aplicação de água residuária durante todo o ano. Dentre as desvantagens verifica-se a possibilidade da ocorrência de maus odores; possibilidade do desenvolvimento de insetos e vermes na superfície do solo; ser dependente das características do solo; apresentar risco potencial de contaminação de águas subterrâneas com nitratos e outros constituintes de maior mobilidade no solo e possibilidade de ocorrência de alterações químicas e físicas no solo (MATOS, 2005).

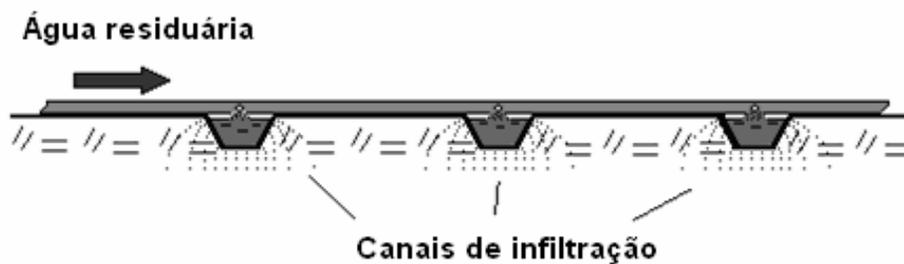


Figura II.8 Esquema de sistema de tratamento de águas residuárias, por infiltração-percolação, em canais de infiltração.

Fonte: Matos (2005).

II.6.4.2 Escoamento superficial

No método de tratamento por escoamento superficial, as águas residuárias são aplicadas em taxas superiores às da sua capacidade de infiltração no solo, em terrenos

regulares e de baixa declividade, cultivados com vegetação rasteira, geralmente gramíneas, deslocando-se, rampa abaixo, até canais de coleta, posicionados ao final dessas rampas de tratamento (Figura II.9). À medida que a água residuária escoou sobre o terreno, parte se evapora, uma pequena parte se infiltra e o restante é coletado em canais. Durante o percurso de escoamento, o sistema solo-plantas, juntamente com os microrganismos que se desenvolvem nesse meio, constitui filtro natural, possibilitando a degradação de parte do material orgânico e a retenção química e física de constituintes inorgânicos em solução na água. Os terrenos a serem utilizados para tratamento por escoamento superficial devem ser constituídos por solos de baixa permeabilidade, para serem minimizados os riscos de contaminação das águas freáticas e declividade entre 2 e 15%. Nesta técnica de tratamento, a depuração da água residuária depende da vegetação cultivada nas rampas, principalmente da capacidade de absorção de nutrientes disponibilizados no processo de decomposição proporcionada pelos microrganismos que desenvolvem na película superficial do solo e colo das plantas. A aplicação da água residuária pode ser feita por aspersão, utilizando-se aspersores de média e baixa pressão, por tubos “janelados” ou por sistema de bacias de distribuição para os sulcos (irrigação por superfície).

As vantagens desse sistema são as mesmas listadas para o sistema de infiltração-percolação, porém com menor risco de contaminação de águas subterrâneas e a produção de massa verde que pode ser utilizada na alimentação animal ou fertilização do solo. E as desvantagens consistem na dependência de características do solo como declividade e permeabilidade (MATOS, 2005).

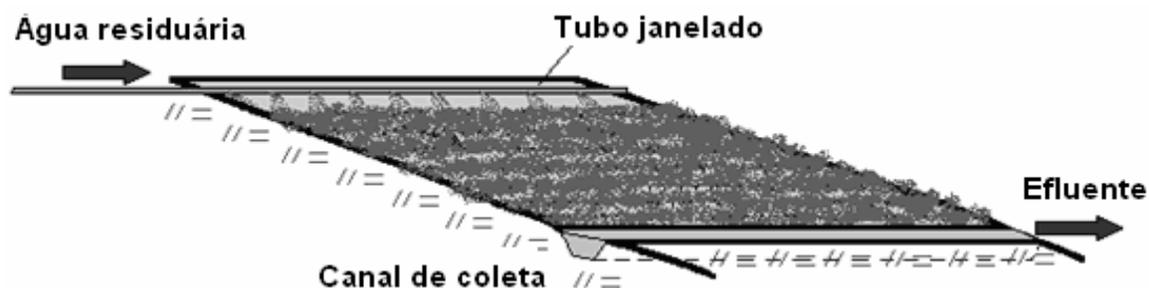


Figura II.9 Esquema de sistema de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial.
Fonte: Matos (2005).

II.6.4.3 Fertirrigação

A fertirrigação é uma técnica de disposição/tratamento, na qual prioriza-se o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária, o que faz com que seja considerada uma excelente opção para tratamento/disposição final de águas residuárias agroindustriais. Nutrientes como nitrogênio, potássio e, principalmente, fósforo são fundamentais no cultivo de solos pobres, dessa forma, acredita-se que métodos de tratamento que não vislumbrem a reciclagem de nutrientes estão condenados a desaparecerem em futuro próximo. O aproveitamento de águas residuárias ricas em nutrientes na fertirrigação de culturas agrícolas possibilita o aumento da produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo.

A fertirrigação com águas residuárias agroindustriais pode ser feita por sulco, aspersão (Figura II.10), gotejamento ou com chorumeiras, sendo a seleção do método de tratamento feita, principalmente, em função da cultura, susceptibilidade a doenças e capacidade de infiltração de água no solo. A fim de evitar possíveis riscos de desenvolvimento de pragas nas folhas ou dispersão de maus odores, se essas águas forem aplicadas via aspersão, recomenda-se, sempre que possível, a aplicação de águas residuárias agroindustriais utilizando-se sistemas de irrigação localizada (gotejamento ou micro-aspersão), considerados ideais quando se tem por objetivo minimizar os riscos do desenvolvimento de pragas nas plantas e o impacto ambiental.

Apresenta a vantagem de ser um método combinado de tratamento e disposição final além de proporcionar fertilização e condicionamento do solo e, com isso, retorno financeiro na fertirrigação de áreas agricultáveis. E como desvantagens elevadíssimos requisitos de área, ser dependente do clima e dos requisitos de nutrientes dos vegetais, possibilidade de contaminação dos trabalhadores na agricultura (na aplicação por aspersão de águas contaminadas com agentes patogênicos) e possibilidade de ocorrência de alterações químicas e físicas no solo quando aplicadas em doses e formas inadequadas (MATOS, 2005).

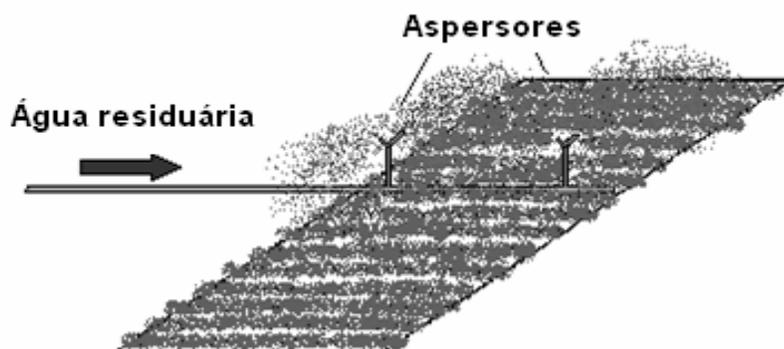


Figura II.10 Esquema ilustrativo da disposição de águas residuárias como fertirrigação de culturas agrícolas (método da infiltração lenta).

Fonte: Matos (2005).

II.6.5 Sistemas de áreas alagadas (*Wetlands*)

O tratamento de águas residuárias em áreas alagadas tem sido utilizado, desde as décadas de 1960 e 1970, na Europa, apresentando bons resultados. Os mecanismos envolvidos no tratamento são: filtração, degradação microbiana da matéria orgânica, absorção de nutrientes, adsorção no solo, entre outros. A vegetação desempenha papel importante no tratamento em áreas alagadas, que é o de utilizar os nutrientes disponibilizados pela água residuária, extraindo macro e micronutrientes além de carbono (matéria orgânica), necessário ao seu crescimento, evitando seu acúmulo e a conseqüente salinização do meio ou substrato onde ocorre o desenvolvimento das plantas. Estas plantas favorecem o desenvolvimento de filmes biologicamente ativos que propiciam a degradação dos compostos orgânicos, concorrendo para mais eficiente e rápida depuração da água residuária. As espécies vegetais freqüentemente usadas em sistemas de tratamento em áreas alagadas são plantas helófitas, cujas folhas ficam posicionadas acima da superfície da água.

Áreas alagadas podem ser implantadas em tanques de concreto ou em valetas devidamente impermeabilizadas por lona butílica ou qualquer outro material impermeável, devendo esses tanques conter sistema de drenagem artificial no seu fundo e serem preenchidos com uma camada de 20 cm de brita seguido de uma camada de 0,5 a 0,6 m de solo, no caso de sistemas de escoamento preferencialmente

superficial (Figura II.11), ou por uma camada de 0,3 a 0,5 m de substrato permeável (areia grossa ou brita “zero”), no caso de sistema de escoamento sub-superficial (Figura II.12). Esse sistema tem como vantagens baixo custo implantação e operação e alta eficiência na remoção de DBO e nutrientes em solução (MATOS, 2005).

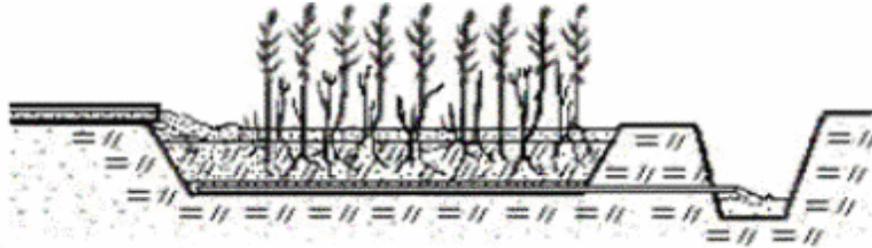


Figura II.11 Esquema ilustrativo da disposição de águas residuárias como fertirrigação de culturas agrícolas (método da infiltração lenta).
Fonte: Matos (2005).

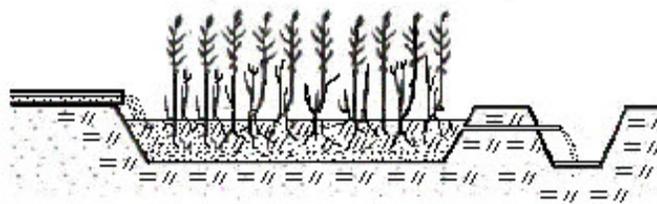


Figura II.12 Esquema de um sistema construído de área alagada (*wetland*)- escoamento sub-superficial com filtragem horizontal.
Fonte: Matos (2005).

De acordo como os métodos de tratamento apresentados, é possível perceber que quando se trata de efluentes de natureza orgânica, os métodos biológicos, complementados com métodos físicos, que contemplam decantação e flotação são os que prevalecem. Porém, essas metodologias apresentam uma série de limitações, como necessidade de grandes áreas para implantação, devido ao grande volume gerado e o tempo mínimo de retenção para que o tratamento seja relativamente eficiente, proliferação de insetos, maus odores, alto custo de implantação, em alguns casos mão de obra especializada para operar o sistema o que torna o tratamento ainda mais oneroso.

II.6.6 Tecnologias alternativas SIMOCOD e SIMOCOF

Para contornar algumas limitações dos sistemas convencionais apresentados anteriormente, recentemente pesquisadores da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) (MOREJON *et al.* 2009), desenvolveram duas tecnologias denominadas de SIMOCOD (Sistema Modular Compacto de Decantação) e SIMOCOF (Sistema Modular Compacto de Flotação) para tratamento de afluentes/efluentes provenientes de diversas fontes. Os equipamentos são frutos de um conjunto de idéias inovadoras o que justificou dois pedidos de patentes (MU8701195-6, MU8701196-4) cujas reivindicações estão relacionadas com os componentes dos equipamentos, como cabeçotes dotados de sistemas de alimentação, tampas, chapas em formato de espiral, refletores, calhas, bocais com tubo para saída do líquido clarificado, borbulhadores para separação complementar das partículas leves por decantação e flotação, anéis para fechamento e tanques que funcionam como carcaça, coletores, acumuladores e como transportadores dos sólidos separados. Os tamanhos de cada um dos módulos, o número de módulos e os ajustes nos equipamentos dependem do tipo de aplicação, tipo de alimentação e quantidade de carga disponível. Esses equipamentos são compactos, de aplicação versátil e apresentam flexibilidade com relação à capacidade de tratamento, além de não necessitarem de agentes floculantes.

II.7 DESINFECÇÃO DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS POR MEIO DO USO DE RADIAÇÃO SOLAR

Os processos de tratamentos convencionais para águas residuárias, tais como, sedimentação, lodos ativados, lagoas de estabilização ou filtros aeróbios removem de 90 a 99 % de alguns microorganismos e tal eficiência não é suficiente para possibilitar o reuso do efluente (OLIVEIRA, 2003).

Sendo assim, com sinais indicando que os organismos patogênicos conseguem passar as barreiras físico-químicas e biológicas dos tratamentos tradicionais de águas,

focaliza-se a atenção atual nos processos de desinfecção (CHERNICHARO *et al*, 2003).

Atualmente, no Brasil, poucos sistemas de tratamento de efluentes domésticos possuem uma etapa de desinfecção, um dos sistemas mais utilizados é de lagoas de maturação e como este demanda grandes áreas torna-se inviável em diversas situações, outro tratamento utilizado é a aplicação de hipoclorito, que devido ao baixo custo e praticidade de aplicação, tornou-se o principal desinfetante utilizado tanto em águas de abastecimento quanto de esgotos sanitários, porém esse tratamento gera subprodutos tóxicos e cancerígenos como os trihalometanos, ácidos haloacéticos e compostos halogênicos orgânicos dissolvidos que podem ser prejudiciais à saúde humana e a vida aquática. Outra opção de tratamento de desinfecção é o uso de ozônio que tem uma eficiência comparável à do cloro, com a vantagem de não gerar subprodutos tóxicos e com a desvantagem de ter um custo de instalação e operação relativamente alto, além de exigir mão de obra qualificada (LAZAROVA, 1999).

Sendo assim, a radiação solar acaba sendo uma alternativa barata uma vez que a luz solar é um recurso disponível e gratuito para todos, além de não gerar resíduos tóxicos.

Segundo Daniel (2001), o efeito bactericida da radiação se deve principalmente aos raios UV-A (320 a 400nm), em detrimento daqueles cuja faixa de comprimento de onda está entre 400 a 450 nm (neste caso, quando atua isoladamente). No entanto, a radiação solar proporciona um efeito sinérgico dessas duas faixas de radiação e, conseqüentemente, um aumento significativo da taxa de inativação dos microrganismos.

Segundo Oliveira (2003), a inativação dos microrganismos ocorre quando a radiação ultravioleta penetra a parede celular e é absorvida pelos ácidos nucléicos e em menor extensão pelas proteínas e outras moléculas biologicamente importantes.

De acordo com Villarino, *et al*. (2000), o comprimento de onda UV ótimo para a desinfecção está na faixa de 220-300 nm. A radiação absorvida pelo ácido nucléico e pelas proteínas produz alterações fotoquímicas que podem conduzir à morte da célula. O principal mecanismo de desinfecção da UV é a formação dos dímeros de pirimidina que conduzem a mutações letais ou quebra na molécula do ácido nucléico.

Dessa forma, o tratamento de desinfecção por radiação solar pode ser eficiente, principalmente se for monitorado adequadamente, uma vez que sofre interferência de parâmetros como turbidez, pH e temperatura.

Segundo Amaral *et al.* (2006), a água deve apresentar turbidez menor que 30 NTU para que a desinfecção pela luz solar seja eficiente.

Daniel *et al.* (2001), verificaram a influência da cor e turbidez no processo de desinfecção e constataram que, para uma concentração inicial da mesma ordem de grandeza, as amostras com baixa cor e turbidez precisaram de um tempo menor de exposição à radiação solar que as de elevada concentração de material suspenso. Perceberam que as partículas em suspensão e as substâncias químicas dissolvidas dificultam a transmissão da radiação, além de atuarem como um “escudo” para as bactérias.

Porém, Sommer *et al.* (1997), testaram em regime de batelada, diferentes recipientes e águas naturais com variados graus de contaminação microbiológica (até 10^9 NMP ou UFC/100mL) e níveis de turbidez (até 400 NTU) e obtiveram resultados bastante promissores e elucidativos, uma vez que conseguiram excelentes resultados de inativação de coliformes e vibrião colérico nos testes realizados, sendo que o vibrião colérico mostrou-se menos resistente a desinfecção solar que os coliformes fecais. Observaram também que a turbidez e a espessura da lâmina d’água interferem significativamente na eficiência de inativação de microorganismos. O aumento da turbidez e da profundidade da água levam a uma menor eficiência do processo, se considerado um tempo fixo de exposição. Águas mais turvas necessitam de maior tempo de exposição para efetiva desinfecção, ou, a depender do nível de turbidez não serão passíveis de uma desinfecção eficaz. Os autores não sugerem um limite de turbidez para utilização da tecnologia. Entretanto, em testes realizados sob condição controlada, pode-se observar que mesmo com elevada turbidez (» 110 NTU) e elevado grau de contaminação (10^9 UFC/100mL), a eliminação total de coliformes pode ser conseguida com um tempo de exposição de duas horas e temperatura da água de 50°C .

Outro parâmetro importante para ser monitorado durante o processo de desinfecção é o pH. Diferentes pesquisas sugerem que valores de pH maiores que 9

poderiam desempenhar papel crítico na aceleração do decréscimo bacteriano. O pH igual a 9 é letal para os coliformes fecais; também abaixo desses valores pode ocorrer redução considerável de coliformes fecais, podendo-se encontrar uma relação entre o aumento da velocidade de decréscimo bacteriano e os elevados valores do pH (CURTIS *et al.*, apud LÉON, 1999).

A temperatura é outro fator limitante do tratamento de desinfecção, uma vez que os coliformes fecais continuam vivos mesmo a 44°C e que os coliformes totais têm crescimento a 35°C (COSTA, 2007).

II.8 USO DE AGENTES FLOCULANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES PECUÁRIOS

Quando se trata de tratamento de efluentes são muitos os procedimentos e tecnologias existentes para fazê-los possíveis, porém, dependendo da característica do efluente são necessários complementos para obtenção de melhores resultados.

É o caso dos efluentes pecuários, onde a maioria dos nutrientes na forma orgânica (nitrogênio e fósforo) se encontram em finas partículas em suspensão que não são possíveis de remover pelos separadores mecânicos disponíveis (HILL E TOLLNER, VANOTTI *et al.*, apud PEREIRA 2005).

Sendo assim, se torna necessário o uso de um floculante químico, que fará com que ocorra a aglutinação das partículas finas, com baixa densidade, formando partículas maiores, conseqüentemente com densidades maiores, que poderão sedimentar por meio da força da gravidade.

Para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, geralmente são utilizados floculantes inorgânicos como: sulfato de alumínio, sais de alumínio, ferro e cálcio.

Trabalhos desenvolvidos com floculantes inorgânicos, como sulfato de alumínio ou de cálcio e sais de ferro, demonstraram que freqüentemente estes compostos são bastante eficientes no processo de remoção, contudo a sua aplicação em efluentes pecuários é limitada porque são necessárias grandes quantidades de reagentes para o

tratamento e, por outro lado, são geradas grandes quantidades adicionais de lamas (LOEHR, 1984).

Sendo assim, os polímeros orgânicos têm como vantagens, o uso de quantidades bem menores e a produção bem menor de lamas.

Em 1970 foram desenvolvidos os floculantes à base de poliacrilamidas (PAM) de elevado massa molar, os quais são capazes de produzir elevadas taxas de sedimentação com o emprego de dosagens baixas (AVOTINS & RYLES *apud* GÓIS *et al.* 2003).

A Poliacrilamida é um polímero sintético obtido por meio da polimerização de acrilamida, é versátil em água, sendo solúvel em várias concentrações, temperaturas e valores de pH, como também apresenta baixo custo e uma baixa toxicidade relativa (CHAUVETEAU & LECOURTIER *apud* SEGUNDO *et al.*, 2007).

As Poliacrilamidas são agentes floculantes que têm a capacidade de promover a separação de sólidos (e nutrientes) em líquidos com baixo teor dos mesmos. Apresentam elevada massa molar, cadeias longas e são polímeros solúveis em água. As moléculas longas do polímero causam a desestabilização da carga das partículas em suspensão, conduzindo à sua adsorção e formação de pontes entre as múltiplas partículas em suspensão, de que resultam novas e grandes partículas (flocos) que sedimentam. Características como a massa molar, tipo e distribuição da densidade da carga contribuem para que estes polímeros apresentem múltipla utilização e desempenho em termos de características químicas. Por exemplo, as Poliacrilamidas são utilizadas de forma extensiva como agentes de sedimentação em efluentes de indústrias como processamento e embalagem de alimentos e papel, no tratamento de águas residuais domésticas, como agentes clarificantes na extração de açúcar, e no tratamento de água para consumo, e como agentes aglutinadores dos solos para reduzir a sua erosão pela irrigação (BARVENICK, 1994).

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão da literatura, a qual contemplou assuntos relacionados com a situação da atividade leiteira no Brasil, no estado do Paraná, as generalidades com a geração de resíduos pela atividade leiteira, e com a caracterização do efluente da atividade de bovinocultura leiteira, particularidades do manejo de resíduos de bovinos nos diversos sistemas de produção, existência de principais métodos de tratamento de efluentes, métodos de desinfecção de organismos patogênicos através do uso de radiação solar e uso de agentes flocculantes no tratamento de efluentes pecuários, serviu de base para consolidação da metodologia e respectiva obtenção de resultados qualitativos e quantitativos correspondentes aos objetivos do presente trabalho.

Sendo assim, os materiais e métodos contemplados no presente trabalho são descritos a seguir:

III.1 Identificação de etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite

A realização da identificação das etapas, variáveis e parâmetros envolvidos no processo de transformação da atividade leiteira, se deu por meio de pesquisas na literatura, conversas com produtores e visitas em algumas propriedades produtoras de leite, no município de Toledo, onde foi possível realizar um levantamento detalhado das etapas comuns, das variáveis e parâmetros envolvidos no processo produtivo. Posteriormente, por meio de um fluxograma, explicitaram-se esses resultados.

III.2 Realização de diagnóstico em torno da atividade de bovinocultura leiteira no estado do Paraná

O diagnóstico da atividade de bovinocultura leiteira contemplou os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Para tanto, foram feitas pesquisas na literatura, em sites especializados como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Os dados pesquisados foram tabulados e sistematizados na forma de gráficos e mapas temáticos.

III.3 Identificação do potencial de consumo de água e de geração de efluentes da atividade leiteira

A identificação do potencial de geração de efluentes foi feita com base na literatura, visitas em algumas propriedades e, principalmente, com base nos dados obtidos no site do IBGE, onde pesquisou-se o perfil das propriedades, capacidades de produção e o número de vacas ordenhadas em cada um dos 399 municípios do estado do Paraná. Os dados foram coletados e tabulados num banco de dados, desenvolvido para atender as demandas do trabalho. Na fase da sistematização foram realizados os seguintes cálculos: a) Consumo de água para a dessedentação dos animais, obtido com base no número de vacas ordenhadas e o volume de água ingerido diariamente por cabeça; b) Consumo de água para a limpeza das instalações, obtido com base do tipo de metodologia utilizada na limpeza, no número de vacas ordenhadas e o volume diário (por cabeça) de água utilizada para a limpeza das instalações; c) Volume de efluente gerado, obtido com base no número de vacas ordenhadas, água e insumos consumidos na limpeza e volume de urina gerada diariamente por cabeça. Os resultados dos cálculos foram implementados no banco de dados e sistematizados na forma de gráficos.

III.4 Caracterização do efluente por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos

A caracterização do efluente foi feita por meio da análise de alguns parâmetros como: pH, turbidez, DBO, DQO, Nitrogênio Total, Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato Total, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Suspensos, Coliformes Totais e *Escherichia-Coli*, os quais são considerados relevantes na avaliação de efluentes agroindustriais com as características da atividade leiteira. Para a realização dessas análises, foi feito um levantamento das metodologias utilizadas, e verificou-se os reagentes e equipamentos necessários para a realização das mesmas.

As análises das amostras foram realizadas no laboratório de Limnologia Aplicada da UNIOESTE *campus* Toledo.

As medidas de pH foram realizadas com aparelho digital da marca Digimed, e as medidas de turbidez com aparelho digital da marca Policontrol, os demais parâmetros, DBO, DQO, Nitrogênio Total, Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato Total, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis, Sólidos Suspensos, Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, foram determinados conforme metodologia proposta por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - APHA, 2005.

III.5 Proposição de método diferenciado para gestão de efluentes da atividade leiteira

A proposição de método diferenciado para a gestão de efluentes da atividade leiteira foi feita com base em uma análise dos métodos convencionais disponíveis na literatura e por meio de uma análise *in situ* nas visitas realizadas nas propriedades que trabalham com a atividade leiteira, onde foram constatadas as limitações e deficiências nos métodos praticados. Dentre os quais tem-se a limpeza das instalações (currais) que contém vários tipos de resíduos como fezes, urina, restos de leite e outros. Prevalendo na maioria dos casos a retirada desses resíduos com base da utilização de água, o que gera um grande volume de efluente com alta concentração de matéria orgânica. Isto vislumbrou possibilidades de melhorias nos métodos convencionais de limpeza dos currais de gado leiteiro.

III.6 Proposição de tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira

A proposição de tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira teve como base os resultados das etapas anteriores, pesquisas na literatura, relacionadas com tecnologias de tratamento convencionais, análise de vantagens/desvantagens do ponto de vista técnico, econômico e disponibilidade de espaços. A partir desses dados, identificou-se novas propostas para o tratamento otimizado dos efluentes resultantes da limpeza de currais de gado leiteiro. Nessa proposição prevaleceu a adequação de tecnologia denominada SIMOCOD e

SIMOCOF, ambos com pedidos de patente sob a titularidade da UNIOESTE (patente MU9701195-6 e MU9701196-4) para a sua utilização no tratamento de efluentes resultantes da limpeza de currais de gado leiteiro e construção de tecnologia alternativa para a desinfecção do líquido clarificado mediante o uso de radiação solar.

III.7 Determinação da eficiência da tecnologia alternativa e análise de concordância do efluente tratado com a legislação ambiental vigente

A determinação da eficiência da tecnologia alternativa contempla testes operacionais, ajustes técnicos, análises qualitativas/quantitativas dos efluentes antes e depois do tratamento e análise de concordância com a legislação ambiental. Para tanto as seguintes etapas foram contempladas: a) Planejamento experimental b) Construção/montagem do protótipo, c) Coleta do material, d) Carregamento no equipamento, e) Operação do equipamento, f) Coleta de amostras antes e depois do tratamento, g) análises laboratoriais e h) Tratamento de dados, conforme descrito a seguir:

a) A escolha do melhor planejamento experimental foi realizada por meio de uma pesquisa em torno dos resíduos líquidos, principalmente os provenientes de atividades pecuárias, visando à identificação de fatores relevantes, faixas de variação e as respostas almejadas. Dessa forma, foram escolhidas as seguintes variáveis: concentração do resíduo líquido (3kg/300litros, 6kg/300litros e 9kg/300litros), velocidade de entrada do resíduo no equipamento ($0,0125\text{Ls}^{-1}$, $0,0188\text{Ls}^{-1}$ e $0,0250\text{Ls}^{-1}$) e concentração do agente floculante (100mgL^{-1} , 200mgL^{-1} e 300mgL^{-1}). O elemento de resposta foi à redução da carga de nutrientes e matéria orgânica do resíduo líquido. Como se trata de três variáveis independentes optou-se por um planejamento fatorial completo 2^3 com triplicata no ponto central que resultou em 11 ensaios, que é o mais indicado para esse número de variáveis. A tabela III.1 mostra o planejamento experimental realizado, onde o sinal negativo (-) representa o nível (-1) que corresponde as variáveis ($X1 - 9\text{kg}/300\text{L}$), ($X2 - 0,0250\text{Ls}^{-1}$) e ($X3 - 300\text{mgL}^{-1}$), o número zero (0) representa o ponto central que corresponde as variáveis ($X1 -$

6kg/300L), (X_2 - 0,0188 Ls^{-1}) e (X_3 -200mg/L⁻¹) e o sinal positivo (+) representa o nível (+1) que corresponde as variáveis (X_1 – 3kg/300L), (X_2 - 0,0125 Ls^{-1}) e (X_3 -100mg/L⁻¹).

Tabela III.1 Planejamento fatorial completo 2^3 com triplicata no ponto central estudando o efeito da concentração, velocidade de entrada e concentração do agente floculante.

ENSAIOS	VARIÁVEIS EM NÍVEIS CODIFICADOS		
	X_1	X_2	X_3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

VARIÁVEIS	NIVEIS REAIS		
	+1	0	-1
X_1 - Concentração do resíduo	3kg/300L	6kg/300L	9kg/300L
X_2 - Velocidade de entrada do resíduo	0,0125 Ls^{-1}	0,0188 Ls^{-1}	0,0250 Ls^{-1}
X_3 - Concentração do agente floculante	100 mgL^{-1}	200 mgL^{-1}	300 mgL^{-1}

b) A construção/montagem do protótipo consistiu na adequação de dois módulos denominados SIMOCOD e SIMOCOF, utilizados em um trabalho de mestrado que contemplou o tratamento de resíduos líquidos de posto de lavagem de veículos, ambos com pedidos de patente (MU8701195-6 e MU8701196-4) (MOREJON *et al.*, 2009) e a construção de um protótipo para a desinfecção do líquido clarificado por meio de radiação solar.

Para tanto realizou-se um levantamento do material necessário para a montagem do experimento. Para a montagem da primeira etapa do experimento que consiste no tratamento do efluente por decantação e flotação, foram necessários os seguintes materiais: caixa d'água com capacidade para 300 litros para armazenar o efluente, canos de PVC de 30 e 25 mm e peças de conexão para o encanamento do sistema, registro para o controle de vazão do efluente, cola, silicone e tinta para a restauração dos protótipos, estrutura para servir de suporte para o sistema. Para a montagem da segunda etapa que consiste na desinfecção do líquido clarificado por radiação solar foram necessários frascos de vidro com tampa para armazenar o líquido clarificado, canos de PVC de 30 e 25 mm e peças de conexão para o encanamento do sistema e estrutura para servir de suporte para o sistema.

c) A coleta do material (resíduo utilizado no experimento) foi feita em uma propriedade que serviu como referência para o estudo. Essa propriedade adota o sistema intensivo em confinamento e realiza três ordenhas por dia. O resíduo foi coletado durante o processo de ordenha, armazenado em balde de plástico com tampa e transportado até a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *campus* Toledo onde o experimento foi realizado.

d) O carregamento do equipamento contemplou três concentrações 3kg/300L, 6kg/300L e 9kg/300L, simulando os três tipos de sistemas mais praticados no município, ou seja, sistema extensivo, semi-extensivo e intensivo. Como foi trabalhado com 300 litros de cada concentração foi coletado o resíduo sólido e diluído antes de utilizar, pois uma vez que se tratava de um volume muito grande seria inviável trazer o resíduo na forma líquida. O preparo foi feito com base em cálculos realizados onde foi considerado o número aproximado de vacas ordenhadas em cada sistema de produção, o número de ordenhas por dia, o volume de resíduo gerado por cabeça por dia, o tempo gasto para cada ordenha, o volume de água gasto em sistemas com pressão e sem pressão para a limpeza das instalações utilizando o método diferenciado (retirada da parte sólida antes de usar a água). A partir dos resultados desses cálculos foi possível estimar a concentração do efluente.

e) A operação do equipamento consistiu de um processo preliminar utilizando um dos componentes do resíduo, no caso a terra diluída em água, com esse componente foram feitos os testes e ajustes necessários no equipamento, para que o mesmo se encontrasse em condições adequadas para receber o efluente a ser tratado. Posteriormente foi feito o enchimento da caixa d'água com o efluente a ser tratado, através do registro foi controlada a velocidade de entrada do efluente no equipamento, que passou pelo primeiro protótipo (SIMOCOD) e em seguida pelo segundo protótipo (SIMOCOF), o produto líquido clarificado resultante do tratamento, passou por um processo de tratamento complementar visando a redução da concentração microorganismos patogênicos, através de radiação solar.

f) A coleta do efluente tratado foi feita na saída do protótipo (SIMOCOF) e na última etapa do tratamento (Desinfecção por radiação solar) através das saídas presentes no equipamento.

g) O pH foi determinado "in situ", enquanto para a determinação dos demais parâmetros as amostras foram coletadas e analisadas em laboratório.

h) O tratamento dos dados de cada parâmetro foi feito por meio do programa Microsoft Office Excel. Depois de feitos os cálculos das concentrações para cada parâmetro analisado comparou-se os valores obtidos com os valores limites estabelecidos pela Resolução SEMA Nº 031/98, que se reporta ao lançamento de efluentes de suínos em corpos hídricos e nas Resoluções CONAMA Nº 020/86 e 357/05, que tratam do lançamento de efluentes de fontes poluidoras em geral, também em corpos hídricos. Estas Resoluções foram utilizadas devido ao fato de ainda não existir uma legislação específica para a atividade de bovinocultura leiteira.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na seqüência apresentam-se resultados e discussões correspondentes a cada uma das metas explicitadas nos objetivos específicos.

IV.1 Etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite

A identificação das etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite resultou num fluxograma detalhado, que está representado na Figura IV.1, o qual ilustra o processo de plantio da semente para a produção do alimento para os animais, denominado de Processo de Transformação I e o processo de produção do leite denominado de Processo de Transformação II. O processo de produção de leite contempla a etapa de recepção de insumos (ração, minerais, vacinas, medicamentos, material de limpeza) e matéria-prima (gado leiteiro), que passa pelas etapas de recepção, classificação I, na qual os bezerros vão para a etapa de crescimento, ou caso necessitem de algum tipo de tratamento são tratados e depois encaminhados para a etapa de crescimento para chegar ao estágio novilha, quando se trata de novilhas, as mesmas são tratadas quando necessário e preparadas para se tornarem vacas lactantes, por meio da inseminação. Depois do parto ocorre a etapa de classificação II, na qual se o bezerro for macho é sacrificado, se for fêmea passa por uma nova classificação e posteriormente vai para a etapa de crescimento ou é sacrificada. Após o período seco (período em que a vaca não é ordenhada), a vaca passa pela etapa de ordenha (etapa principal dentro do processo de transformação II), o produto principal dessa etapa (o leite cru), dependendo dos recursos da propriedade passa por um controle de qualidade, no qual o leite aprovado é armazenado num tanque de resfriamento e o reprovado é descartado. Caso a propriedade não conte com os recursos necessários para realizar o controle de qualidade, o leite é diretamente armazenado no tanque de resfriamento.

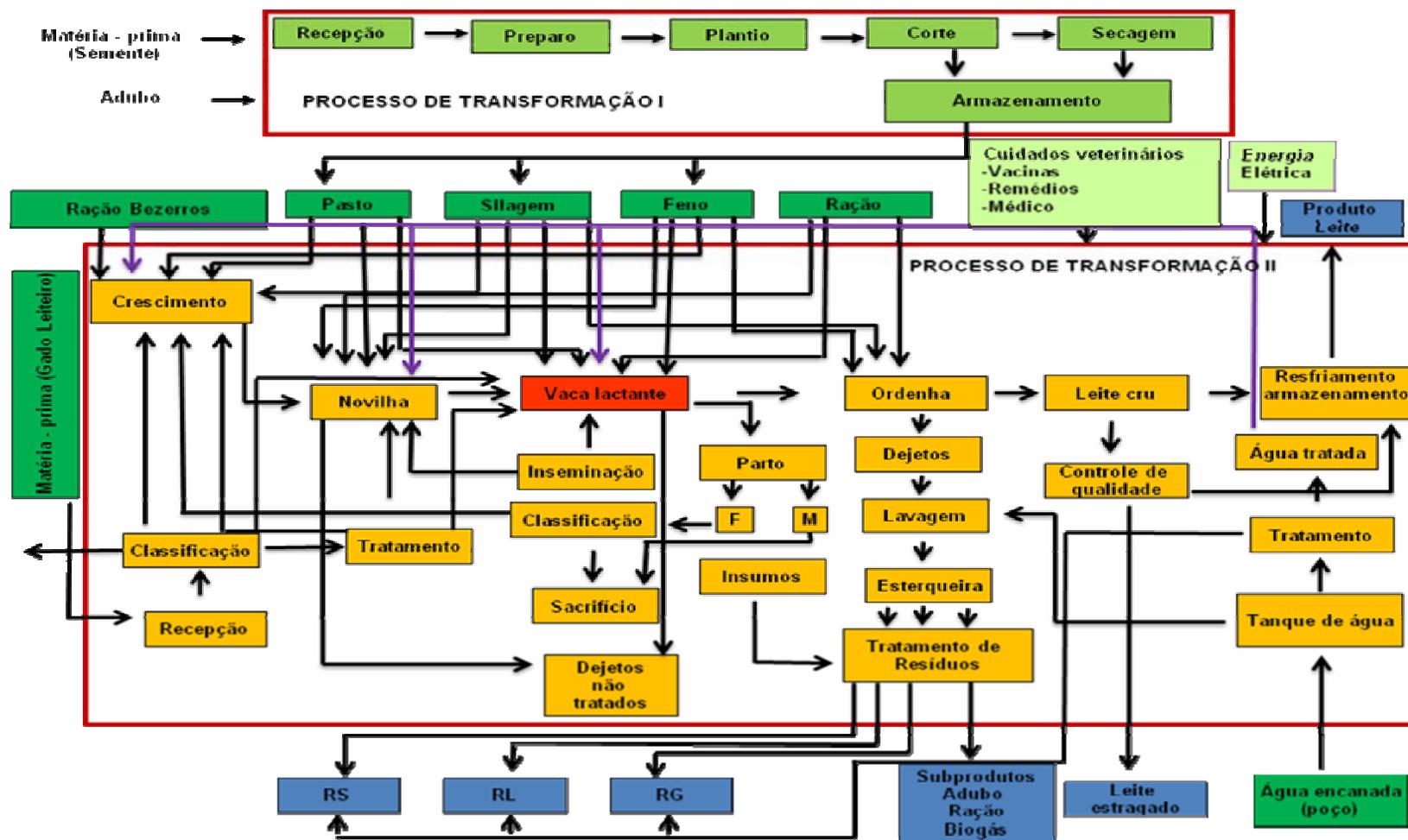


Figura IV.1 Fluxograma geral da atividade de bovinocultura leiteira.

Na etapa de ordenha ocorre à geração da maior parte dos resíduos, principalmente líquidos, devido ao processo de lavagem das instalações e utensílios depois da retirada do leite. Esses resíduos geralmente são armazenados em uma esterqueira para posterior tratamento, que se for feito de maneira adequada poderá gerar subprodutos como adubo, ração, biogás. Para realizar esse tratamento serão gerados resíduos sólidos, líquidos e gasosos, porém, em menor proporção. Para todas as etapas dentro do Processo de Transformação II é utilizada água potável, uma vez que nessa atividade não é permitido o uso de água com qualidade inferior, pois, pode interferir diretamente na qualidade do leite. Essa água geralmente vem de poços, nascentes, rios presentes na propriedade e dependendo do caso precisa passar por uma etapa de tratamento antes de ser utilizada.

IV.2 Diagnóstico (econômico, ambiental e social) em torno da atividade de bovinocultura leiteira no estado do Paraná

Depois do levantamento de dados por meio das pesquisas de campo e da literatura, foi possível elaborar o diagnóstico em torno da atividade de bovinocultura no estado do Paraná e identificar o potencial de geração de resíduos, com base em uma estimativa feita por meio de cálculos, que resultou em uma série de gráficos para melhor ilustrar os resultados.

Os resultados da pesquisa mostram que o estado do Paraná está consolidado como o segundo estado produtor de leite do Brasil, com uma produção de 2,5 bilhões de litros de leite em 2007, o que significa um Valor Bruto da Produção (VBP) de R\$ 1,4 bilhão (IPARDES, EMATER, SEAB, SETI, 2009). O sistema de produção predominante é o extensivo adotado por 84% dos produtores, onde a mão de obra é exclusivamente familiar. Sendo assim, é possível observar que a agricultura familiar está muito presente na atividade agropecuária paranaense e tem como principais características a falta de tecnologia, saneamento, além de trabalharem com animais de raças mestiças o que contribui para a baixa produtividade.

Segundo dados do IBGE (2007), o número de cabeças de vacas ordenhadas no estado do Paraná em 2007 foi de 1.383.114 cabeças. A pesquisa da distribuição do

gado leiteiro por regiões resultou no mapa da Figura IV.2 e nela se constata que as regiões com maior número de cabeças ordenhadas são: a região Oeste (21%), Noroeste (15%) e Sudoeste (13%).

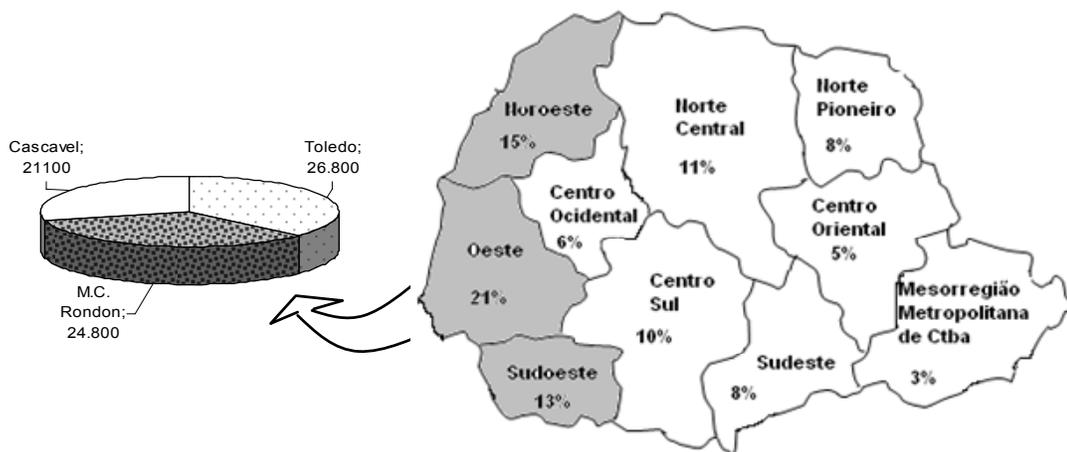


Figura IV.2 Distribuição do gado leiteiro no estado do Paraná.

De acordo com a Figura IV.2, a região Oeste do Paraná ocupa o primeiro lugar quando se trata do total de cabeças ordenhadas, e os municípios com maior destaque na região foram: Toledo (26.800 cabeças), Marechal Cândido Rondon (24.800 cabeças) e Cascavel (21.100 cabeças) conforme demonstrado na Figura IV.3.

Como citado anteriormente, a atividade leiteira consome um grande volume de água, tanto de maneira direta (dessedentação dos animais), quanto indireta (higiene dos animais e limpeza das instalações e utensílios).

Para vacas em lactação, o consumo somente para dessedentação pode chegar a 60 litros/dia, enquanto para vacas secas, a ingestão é de aproximadamente 45 litros/dia. Bezerros lactentes criados a pasto consomem em torno de 10 litros ao dia (NUNES, 1998).

Segundo IPARDES, EMATER, SEAB, SETI (2009), a principal fonte da água consumida são reservas naturais sendo que 60% dos produtores fazem uso de mina, fonte, córrego, rio e açude, 31% poço comum ou artesiano e 9% tem acesso à rede pública.

Para esse estudo, a estimativa geral do consumo de água foi feita com base no número de cabeças ordenhadas de gado leiteiro.

O consumo de água para a dessedentação no estado do Paraná chegou a 82.987 m³/dia e a região Oeste se destaca com o consumo de 16.664 m³/dia, conforme pode ser observado na Figura IV.4.

Da mesma forma para o caso da região Oeste (Figura IV.5), observa-se que os locais com maior consumo de água para dessedentação correspondem aos municípios de Toledo (1.608 m³/dia), Marechal Cândido Rondon (1.488 m³/dia) e Cascavel (1.266 m³/dia).

Quando se trata do consumo de água para a limpeza das instalações e utensílios, o valor médio de água utilizada é de aproximadamente 40 litros/animal/dia (PEREIRA, 2005). Sendo assim, no estado do Paraná (Figura IV.6), o maior consumo ocorre na região Oeste (11.109 m³/dia), com destaque para os municípios de Toledo (1.072 m³/dia), Marechal Cândido Rondon (992 m³/dia) e Cascavel (844 m³/dia) (Figura IV.7).

Por meio do somatório dos resultados parciais de consumo de água para dessedentação dos animais e limpeza das instalações, no estado do Paraná obteve-se um consumo de aproximadamente 138.312 m³/dia e 4.149.360 m³/ mês.

Com relação a quantidade de resíduos líquidos gerados pela atividade, foi feita uma estimativa com base no consumo de água, insumos utilizados na limpeza e geração de urina.

De acordo com IPARDES, EMATER, SEAB, SETI (2009), os principais insumos utilizados na atividade leiteira são os concentrados (caroço de algodão, ração comercial), os minerais (sal comum e sal mineral), as forragens (sementes, fertilizantes e herbicidas), vacinas (Aftosa, brucelose, carbúnculo) e medicamentos (antiinflamatórios, antibióticos, carrapaticida, bernicida, vermífugo), além dos desinfetantes e detergentes, utilizados no processo de limpeza das instalações e utensílios. Todos esses insumos de maneira direta ou indireta contribuem para a composição do resíduo em questão.

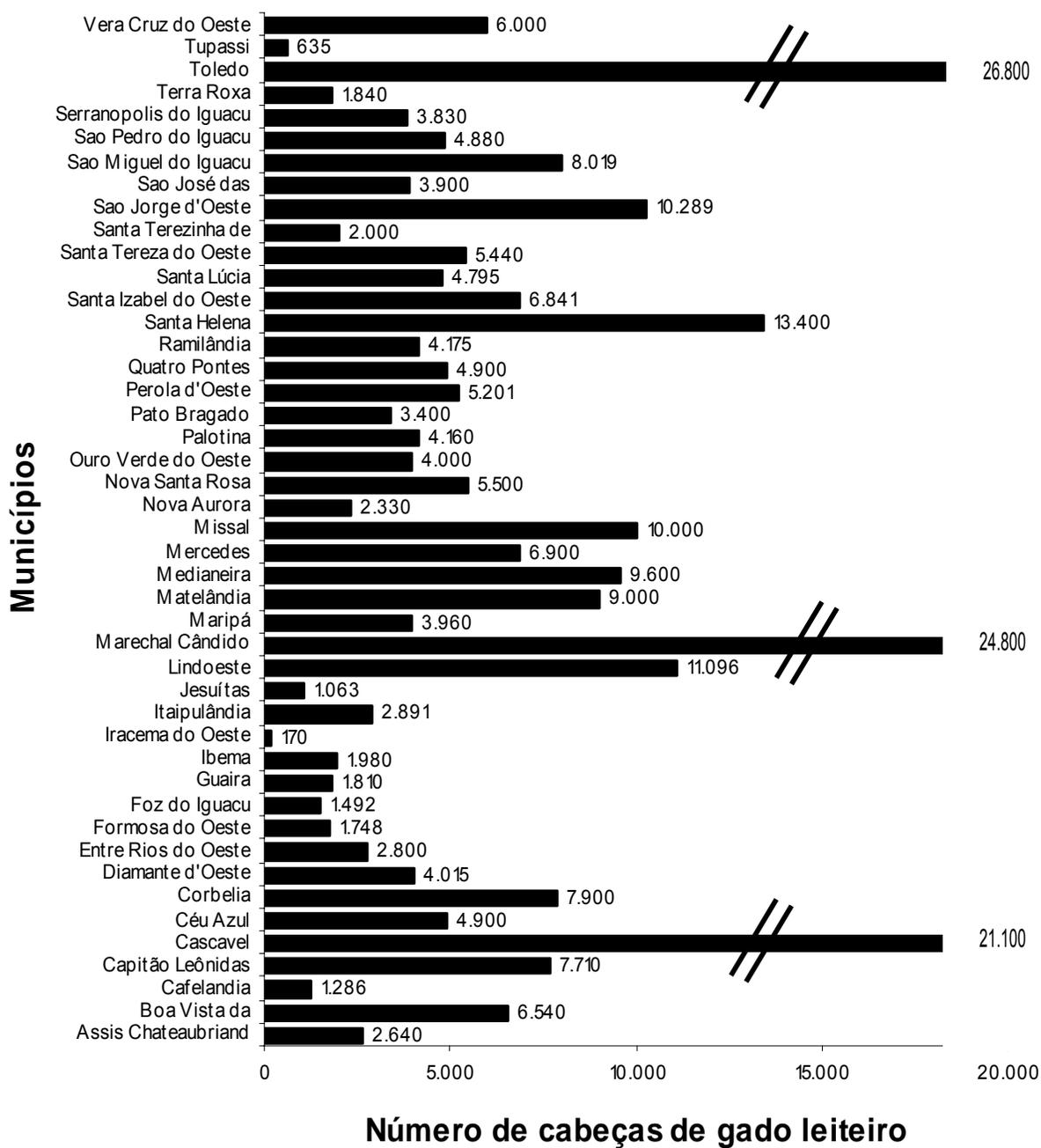


Figura IV.3 Distribuição do gado leiteiro na região Oeste do estado do Paraná/Brasil.

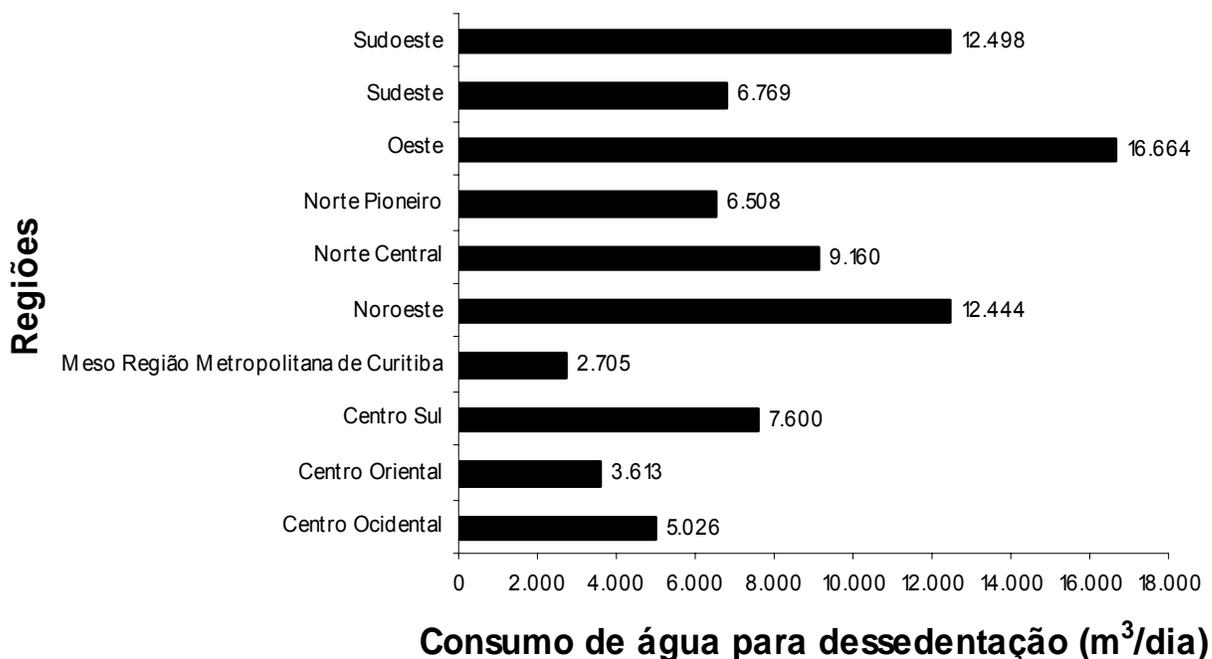


Figura IV.4 Estimativa do consumo de água para dessedentação do gado leiteiro no estado do Paraná/Brasil.

Os cálculos estimados mostraram que a região Oeste contribui com 14.998 m³/dia de resíduo líquido, seguido da região Sudoeste com 11.248 m³/dia e a região Noroeste com 11.199 m³/dia (Figura IV.8).

Para o caso da região Oeste, como esperado, os municípios que geraram maior volume de efluentes líquidos foram os que tiveram o maior número de vacas ordenhadas, no caso, Toledo (1.447 m³/dia), Marechal Cândido Rondon (1.339 m³/dia) e Cascavel (1.139 m³/dia) conforme detalhado na Figura IV.9.

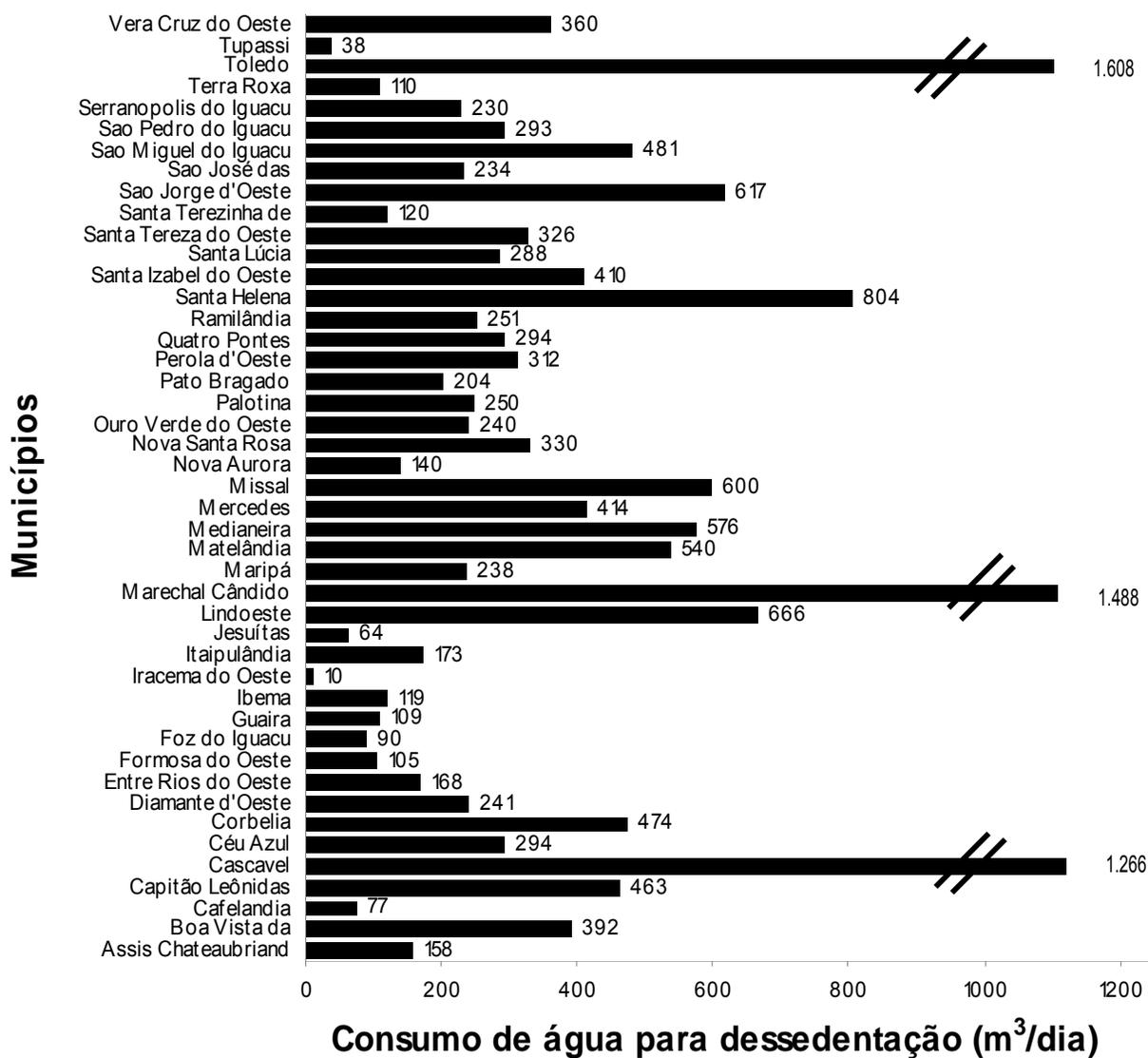


Figura IV.5 Estimativa do consumo de água para dessedentação do gado leiteiro na região Oeste do estado do Paraná/Brasil.

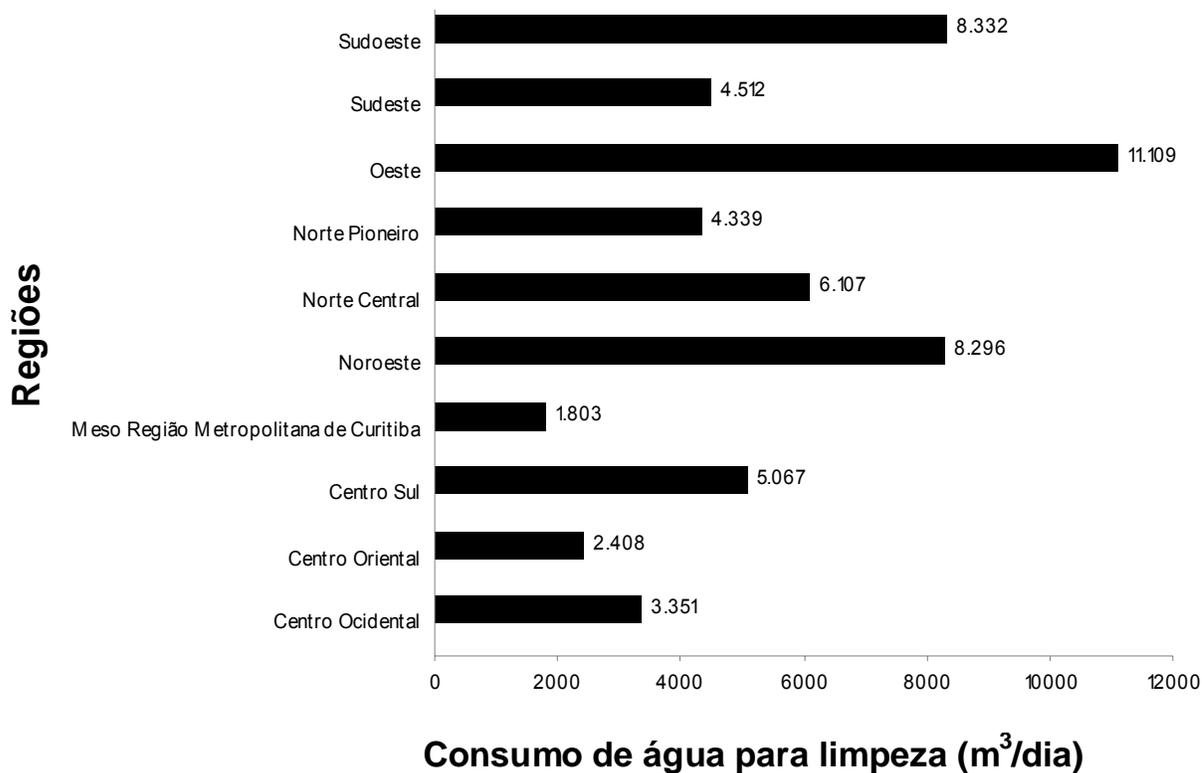


Figura IV.6 Estimativa do consumo de água para a limpeza de locais de ordenha e utensílios utilizados no processo de ordenha, no estado do Paraná/Brasil.

Por meio do somatório dos resultados parciais pode-se calcular o resíduo líquido total correspondendo a um valor de 74.446 m³/dia (2.233.380 m³/mês). É esse o volume de resíduo líquido que tem como consequência as externalidades negativas, quando não tratado corretamente. A pesquisa mostrou que o destino desse resíduo pode ocorrer de forma muito variada, levando em consideração que existem muitas formas de manejo desse material, como por exemplo, decantadores, lagoas de estabilização, lagoas anaeróbias, lagoas facultativas, etc. Porém, na maioria das vezes não são utilizados, uma vez que implantação desses tratamentos demanda de altos investimentos, além de grandes áreas e em alguns casos mão de obra especializada para manutenção do equipamento, sendo assim, acabam não sendo viáveis para o produtor, que descarta o resíduo de maneira imprópria, gerando uma série de problemas ambientais, principalmente para os recursos hídricos, sejam eles, subterrâneos ou superficiais, que acabam servindo de veículos, levando o problema para outras regiões.

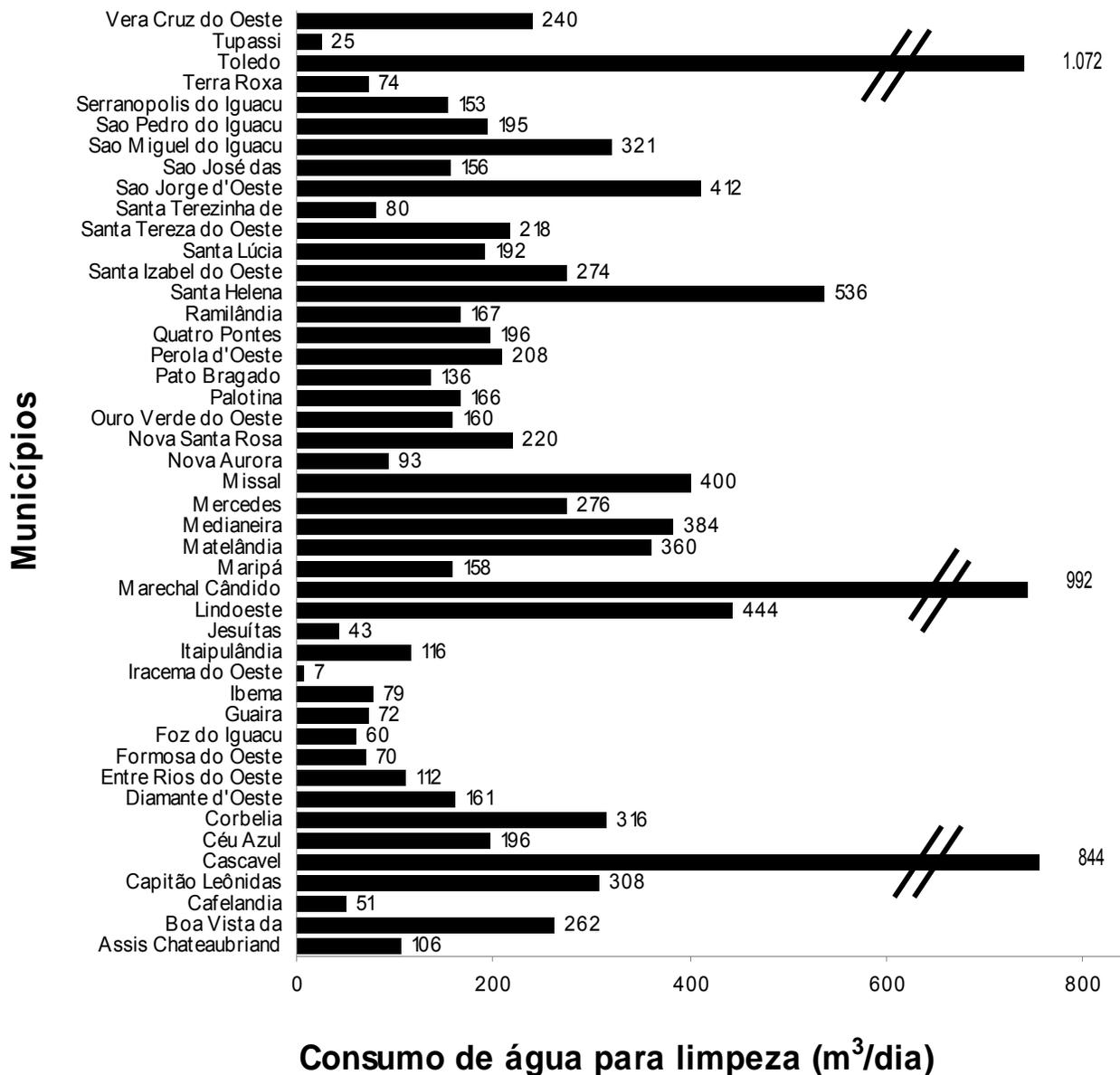


Figura IV.7 Estimativa do consumo de água para a limpeza de locais de ordenha e utensílios utilizados no processo de ordenha, na região oeste do estado do Paraná/Brasil.

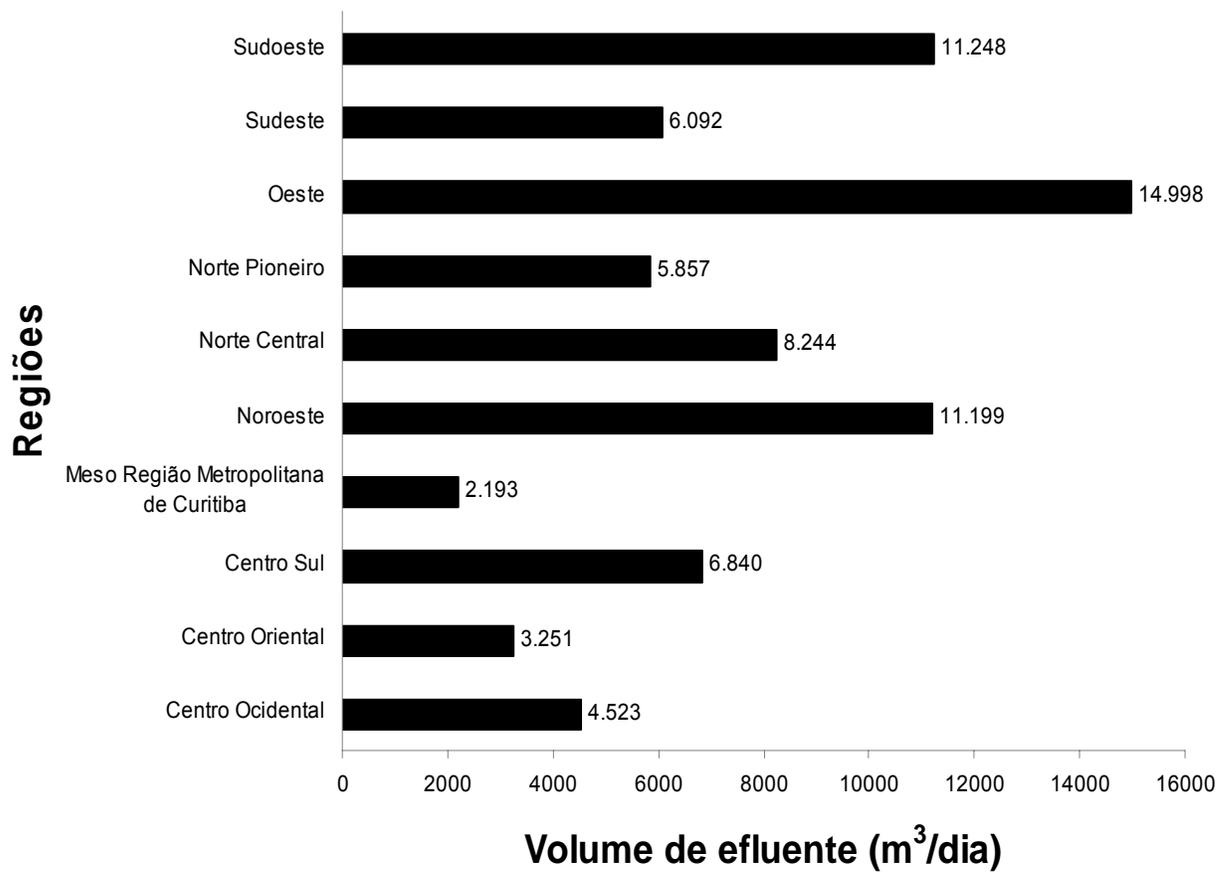


Figura IV.8 Estimativa da geração de efluente líquido na atividade de bovinocultura leiteira, no estado do Paraná/Brasil.

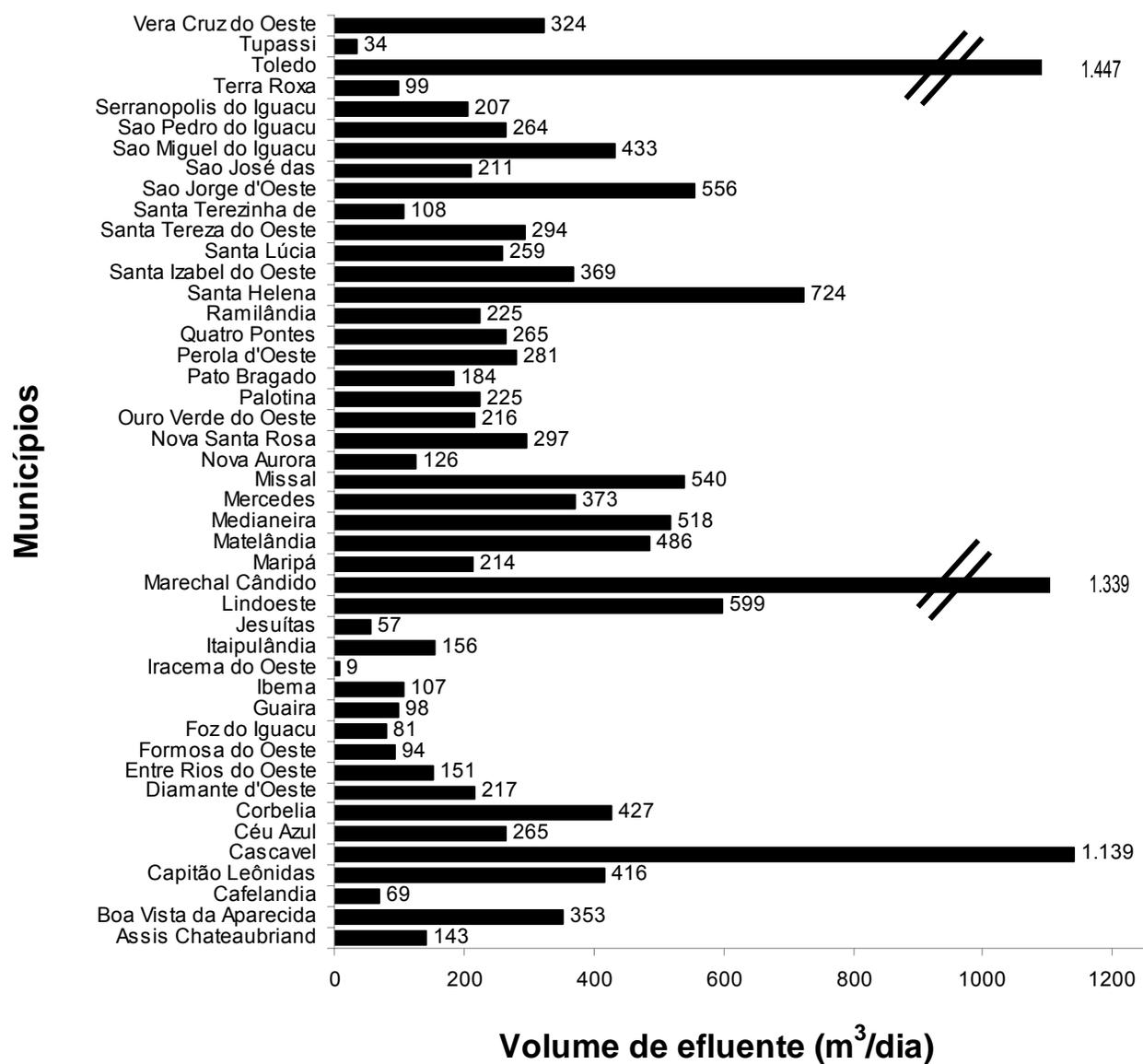


Figura IV.9 Estimativa da geração de efluente líquido na atividade de bovinocultura leiteira, na região Oeste do estado do Paraná/Brasil.

IV.3 Caracterização do efluente por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos

Com base no planejamento experimental, a caracterização do resíduo foi feita em amostras com três concentrações diferentes (3kg/300L, 6kg/300L e 9kg/300L), essas concentrações foram utilizadas com o objetivo de contemplar os sistemas de produção aplicados na região, ou seja, sistema extensivo, semi-extensivo e intenso.

Sendo assim, caracterizou-se as amostras *in natura* (sem tratamento), nas três concentrações diferentes. Para tanto analisou-se: pH, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total, Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato Total, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Suspensos, Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, os resultados encontram-se na Tabela IV.1

Os valores encontrados no efluente *in natura* mostraram-se menores que os valores encontrados na literatura (Tabela II.5), porém, isso se deve ao fato que os dados encontrados na literatura foram para a caracterização de um chorume bruto, ou seja, resíduos sólidos misturados com resíduos líquidos, tendo assim, uma carga orgânica maior, o que reflete em concentrações maiores nos parâmetros analisados.

De acordo com os valores da Tabela IV.1, os parâmetros DBO, DQO e fosfato total, encontraram-se acima dos limites estabelecidos pela Resolução SEMA Nº 031/98, que preconiza limites de 50 mg/L, 125 mg/L e 0,025 mg/L, respectivamente. Enquanto o nitrogênio total ultrapassou o limite estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/05 (20 mg/L) para a concentração 9kg/300L. Estes resultados eram esperados, uma vez que efluentes provenientes da atividade leiteira são ricos em matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo. Ainda com relação à DBO, a maior concentração (9kg/300L) apresentou menor valor que as concentrações menores, quando se esperava o contrário, isso pode ter ocorrido devido a algum erro analítico, provavelmente na hora da homogeneização das amostras. Com relação ao pH de acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/05, pode haver uma variação de 5,00 a 9,00, sendo assim, os valores observados estavam dentro dos limites para todas as concentrações analisadas. Para o nitrato e a amônia, os limites estabelecidos pela

Resolução CONAMA Nº 020/86 são de 10 mg/L e 5 mg/L, respectivamente, sendo assim, todos os valores obtidos encontraram-se dentro dos limites para todas as concentrações analisadas. Para os demais parâmetros presentes na Tabela IV.1, não existem limites estabelecidos na literatura, quando se trata de efluentes com essas características.

Tabela IV.1 Valores médios das análises físicas, químicas e biológicas do efluente *in natura*.

Parâmetros	Unidades	Amostras		
		3kg/300L	6kg/300L	9kg/300L
pH	-	6,94	6,66	6,70
Turbidez	NTU	319,00	479,00	722,00
DBO	mg L ⁻¹	3100,00	3500,00	2466,67
DQO	mg L ⁻¹	2778,00	3038,00	3638,00
Nitrogênio Total	mg L ⁻¹	10,64	16,52	30,52
Amônia	mg L ⁻¹	0,211	0,261	0,461
Nitrato	mg L ⁻¹	4,59	6,53	9,90
Nitrito	mg L ⁻¹	0,205	0,630	0,980
Fosfato Total	mg L ⁻¹	6,68	11,79	15,91
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	581,00	702,00	851,00
Sólidos Totais Voláteis	mg L ⁻¹	306,00	407,00	332,00
Sólidos Totais Fixos	mg L ⁻¹	275,00	295,00	459,00
Sólidos Suspensos	mg L ⁻¹	95,00	167,00	258,00
Coliformes Totais	NMP/100mL	61.000	120.000	170.000
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100mL	18.000	36.000	68.000

IV.4 Método diferenciado para gestão de efluentes da atividade leiteira

A proposição do método diferenciado para gestão de efluentes provenientes da atividade leiteira foi feita com base nos resultados da pesquisa da literatura, que foram posteriormente comprovados nas visitas realizadas nas propriedades. Por meio das

visitas, ficou evidenciado que a limpeza tanto da parte sólida quanto da parte líquida dos resíduos gerados nos locais de ordenha, é feita utilizando água que dilui o resíduo facilitando o transporte do mesmo, gerando assim, um gasto maior de água e um maior volume de resíduo líquido (Figura IV.10 (a)). Sendo assim, propõe-se a retirada da parte sólida por meio da raspagem manual ou mecânica (sem diluição) e esse material pode posteriormente ser tratado utilizando metodologia/tecnologia proposta por Morejon *et al.* (2006) (que consiste na utilização de sistemas modulares de biodigestão alternativa, que tem como diferencial a digestão total da biomassa) e posteriormente se faz a limpeza com água, conforme Figura IV.10 (b). O resíduo líquido proveniente dessa limpeza escoar por meio de calhas por gravidade, até o reservatório onde será armazenado e posteriormente tratado por meio de uma tecnologia alternativa proposta por Morejon *et al.* (2009) (que consiste na utilização de sistemas modulares de decantação e flotação para tratamento de afluentes/efluentes provenientes de diversas fontes) e foi adequada para efluentes de bovinocultura leiteira.



Figura IV.10 (a) Método convencional de limpeza de locais de ordenha (retirada do resíduo com água), (b) Método diferenciado de limpeza de locais de ordenha (retirada da parte sólida através de raspagem).

IV.5 Tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira

A proposição de tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira, assim como no caso do método de limpeza, foi feito baseado nos resultados da pesquisa bibliográfica, onde pesquisou-se cada método de tratamento, qual a tecnologia utilizada, suas vantagens e desvantagens e, a partir dessas informações pensou-se em uma tecnologia para sanar algumas das dificuldades encontradas na hora da escolha do tratamento adequado para o resíduo líquido gerado. Sendo assim, como constatou-se na literatura que o método mais eficiente para a redução de carga orgânica e nutrientes em resíduos líquidos é a decantação e o resíduo líquido da atividade leiteira conta com essas características, realizou-se alguns testes em provetas, com amostras de diferentes concentrações, com o intuito de observar o comportamento das partículas e a partir daí verificar a possibilidade da utilização de algum método convencional dentro de sistemas particulados como: Coe e Clevenger, Kynch, Roberts, Talmadge e Fitch, para dimensionar o decantador. Porém, foi possível evidenciar que para resíduos da atividade leiteira esses métodos não são aplicáveis, uma vez que a decantação é muito lenta e não é possível observar a separação das fases. Depois de alguns dias em repouso o resíduo líquido apresentou uma leve clarificação, e o material fibroso subiu para a superfície (Figura IV.11).

Cabe esclarecer que a eficiência dos métodos de decantação e flotação depende das características construtivas dos equipamentos, que devem potencializar os mecanismos de precipitação e flotação dos sistemas particulados, no melhor dos casos sem a necessidade de aditivos. Sendo assim, fez-se a proposição de uma tecnologia diferenciada que trabalha com base da decantação através do protótipo SIMOCOD modificado e flotação através do protótipo SIMOCOF modificado de maneira combinada, com isso a redução de matéria orgânica e nutrientes estavam contemplados. Como havia a questão dos organismos patogênicos, geralmente representados pelos coliformes totais e fecais (*Escherichia-Coli*), estudou-se uma forma de resolver esse problema. Na literatura foi possível constatar que existem várias formas de tratamento de desinfecção, mas a maioria delas conta com as desvantagens de alto custo e geração subprodutos tóxicos, porém alguns tratamentos utilizam

radiação solar para a inativação dos organismos patogênicos. Sendo assim, a partir dessas informações desenvolveu-se um sistema de desinfecção por meio de radiação solar como tratamento final do líquido clarificado nas duas primeiras etapas do tratamento (decantação e flotação). Dessa forma, foi construído um sistema que funciona de forma matricial, onde o número de colunas (no caso número de frascos) depende da quantidade de resíduo e o número de linhas (no caso fileiras) depende do tempo de residência, ou seja, tempo de exposição à radiação solar.



Figura IV.11 Teste de decantação com resíduo líquido de bovinocultura leiteira em diferentes concentrações.

IV.6 Eficiência da tecnologia alternativa e análise de concordância do efluente tratado com a legislação ambiental vigente

A determinação da eficiência da tecnologia alternativa contemplou as seguintes etapas:

a) Planejamento Experimental

O planejamento experimental foi executado parcialmente, pois não foi possível variar a velocidade de entrada do resíduo no equipamento, uma vez que para o bom funcionamento do mesmo foi necessário ajustar a abertura do registro num determinado ponto para que não houvesse o transbordamento. Outro fator que fazia parte do planejamento era a concentração de agente floculante, que acabou não sendo utilizado, pois a concentração 3kg/300L não apresentou necessidade de agente floculante e para as demais concentrações (6kg e 9kg/300L) os testes com o floculante foram feitos em laboratório, com apenas uma das concentrações (100mgL^{-1}) sugeridas no planejamento.

b) Construção/Montagem do experimento

A construção do experimento consistiu primeiramente na instalação da estrutura metálica que serviu de suporte para a caixa d'água e os protótipos. A segunda etapa da montagem consistiu na acomodação da caixa d'água em um suporte na parte superior da estrutura, e no arranjo dos protótipos SIMOCOD e SIMOCOF, devidamente adequados e restaurados em outro suporte existente na parte intermediária da estrutura. Posteriormente, conectou-se a caixa d'água aos protótipos, com canos de PVC e peças de conexão, nessa etapa colocou-se um registro logo abaixo da caixa d'água para controlar a entrada do resíduo líquido nos protótipos, mangueiras nas entradas superiores dos protótipos para a entrada de ar comprimido e um registro para coleta do líquido clarificado em uma das saídas do protótipo SIMOCOF. Na terceira etapa realizou-se a construção do sistema de desinfecção por meio de radiação solar,

no qual primeiramente montou-se uma segunda estrutura metálica que foi colocada na parte posterior da primeira estrutura. Essa estrutura serviu de suporte para três fileiras de 10 frascos de vidro (com capacidade para 3 litros) em cada uma delas. Depois de devidamente distribuídos e alinhados os frascos foram conectados através de canos de PVC e peças de conexão na parte superior dos frascos para a entrada do resíduo (líquido clarificado) e na parte inferior dos mesmos para a saída do resíduo tratado. Para finalizar a montagem do experimento conectou-se o sistema de desinfecção aos protótipos, também por meio de canos de PVC e peças de conexão, nessa etapa foram colocados os registros, para controlar a entrada do líquido clarificado nos frascos. O protótipo completo para tratamento de efluentes da atividade leiteira está ilustrado na Figura IV.11.

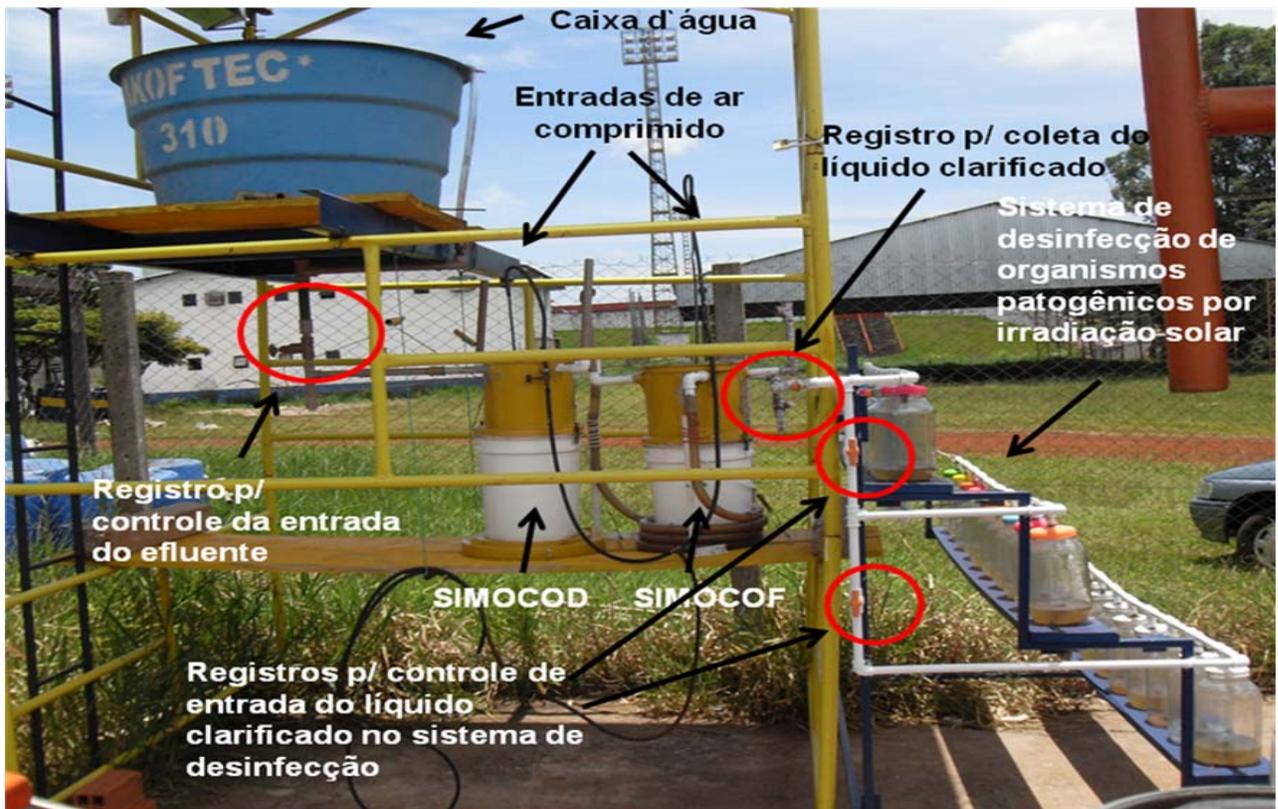


Figura IV.12 Protótipo para tratamento de efluentes da atividade leiteira.

c) Coleta do material

Depois de concluída a etapa de montagem do equipamento, implementou-se a metodologia de coleta do material para carregar o equipamento e dar início aos testes. Todo o material foi coletado em uma propriedade no município de Toledo que serviu como referência para todo o estudo. O resíduo foi coletado durante o processo de ordenha, armazenado em balde plástico com tampa, conforme ilustrado na Figura IV.13, e transportado até a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *campus* Toledo onde os testes no equipamento e as análises laboratoriais foram realizadas.



Figura IV.13 Coleta do resíduo sólido.

d) Carregamento no equipamento

Depois de coletado todo o material necessário para a realização do experimento, deu-se início aos testes, a primeira etapa foi a pesagem das diferentes concentrações utilizadas (Figura IV.14 (a)), depois de devidamente pesadas as amostras, foram diluídas com água em um balde e posteriormente peneiradas em uma malha para a retirada do material fibroso, responsável pela obstrução do encanamento do equipamento, esta etapa representa a etapa de peneiramento ou gradeamento. Depois de devidamente peneirada a fração líquida restante foi colocada na caixa d'água e diluída nos 300 litros de água presentes na mesma (Figura IV.14 (b e c)). Os testes foram realizados nas três concentrações (3kg, 6kg e 9kg/300L) e divididos em duas

etapas, a primeira sem uso agente floculante (testes feitos no equipamento, para as três concentrações) e depois com uso de agente floculante no líquido clarificado (teste feito no laboratório, para as concentrações 6kg/300L e 9kg/300L).

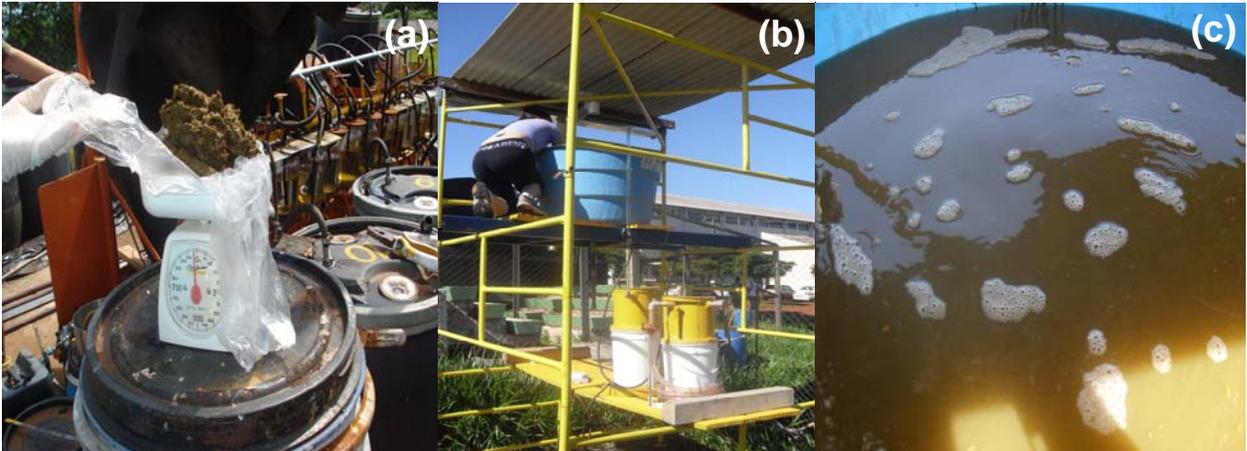


Figura IV.14 Pesagem das amostras (a), diluição na caixa d'água (b), aspecto da amostra após diluição (c).

e) Operação do equipamento

Com a caixa d'água devidamente carregada com o efluente iniciou-se a operacionalização do equipamento, que consistiu na abertura do registro para que ocorresse a alimentação do protótipo SIMOCOD e posteriormente do SIMOCOF, sempre monitorando para que não ocorressem vazamentos, e ao mesmo tempo abriam-se os registros das entradas de ar comprimido nos dois protótipos, com o intuito de direcionar as partículas que se encontravam suspensas. Depois de o efluente ter percorrido todo o caminho pelos dois protótipos foi feita uma coleta do líquido clarificado em uma das saídas do SIMOCOF e posteriormente abriu-se o registro para que o líquido clarificado escoasse para os frascos do sistema de desinfecção por meio de radiação solar. Durante o tratamento de desinfecção, monitorou-se a temperatura e os tempos de radiação solar, para fazer a coleta das amostras tratadas.

f) Coleta de amostras antes e depois do tratamento

A coleta das amostras foi realizada em três etapas, antes do tratamento (logo depois de diluídas na caixa d'água), depois dos tratamentos de decantação (SIMOCOD) e flotação (SIMOCOF) e após o tratamento de desinfecção por exposição à radiação solar no sistema de desinfecção. As amostras coletadas foram acondicionadas em galões de polietileno com capacidade para 5 litros, para assegurar que o volume coletado fosse suficiente para realizar todas as análises e em seguida foram encaminhadas para o laboratório de Limnologia Aplicada da UNIOESTE, onde foram refrigeradas e posteriormente analisadas. A Figura IV.16 ilustra o aspecto das amostras antes e depois do tratamento para as diferentes concentrações analisadas.



Figura IV.15 Aspecto das amostras antes e depois do tratamento para as concentrações 3kg/300L (a), 6kg/300L (b) e 9kg/300L (c).

g) Análises laboratoriais

Resultados das análises do efluente após tratamento de decantação e flotação sem uso de floculante.

Os resultados das análises do efluente após tratamento utilizando o SIMOCOD e SIMOCOF sem uso de floculante encontram-se na Tabela IV.2.

Tabela IV.2 Valores médios das análises físicas, químicas e biológicas do resíduo líquido sem tratamento (*in natura*) e com o tratamento de decantação e flotação, sem uso de agente floculante, para as concentrações 3kg, 6kg e 9kg/300L.

Parâmetros	Unidades	Amostras								
		3 kg/300L			6kg/300L			9kg/300L		
		S/Trat.	C/Trat.	%Red.	S/Trat.	C/Trat.	%Red.	S/Trat.	C/Trat.	%Red.
pH	-	6,94	6,85	-	6,66	6,51	-	6,70	6,74	-
Turbidez	NTU	319,0	29,7	90,7	479,0	398,0	16,9	722,0	616,0	14,7
DBO	mg/L	2778,00	57,80	97,2	3500,00	1307,69	62,6	2466,67	1166,67	52,7
DQO	mg/L	3100,00	74,29	97,6	3038,00	898,00	70,4	3638,00	1038,00	71,5
N-Total	mg/L	10,64	0,67	93,7	16,52	7,56	73,6	30,52	7,28	73,3
Amônia	mg/L	0,261	0,180	31,0	0,211	0,131	37,9	0,461	0,261	43,4
Nitrato	mg/L	4,59	0,25	94,6	6,53	5,40	47,9	9,90	5,15	48,0
Nitrito	mg/L	0,205	0,023	88,8	0,630	0,355	43,7	0,980	0,390	60,2
P-Total	mg/L	6,68	0,74	88,9	11,79	5,85	51,2	15,91	7,77	52,7
ST	mg/L	581,00	277,00	52,3	702,00	586,00	16,5	851,00	713,00	16,2
STV	mg/L	306,00	3,00	99,0	407,00	207,00	49,1	431,00	332,00	23,0
STF	mg/L	275,00	274,00	0,4	379,00	295,00	22,2	459,00	222,00	51,6
SS	mg/L	95,00	19,40	79,6	167,00	123,00	26,4	258,00	122,00	52,7
CT	NMP/100mL	61.000	1.800	97,0	120.000	61.000	96,7	170.000	61.000	64,1
<i>E-Coli</i>	NMP/100mL	18.000	<1.800	≈90,0	36.000	18.000	50,0	68.000	40.000	41,2

Legenda: Potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (N-Total), Fosfato Total (P-Total), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Suspensos (SS), Coliformes Totais (CT), *Escherichia-coli* (*E-Coli*).

Conforme os resultados da Tabela IV.2, observa-se que praticamente todos os parâmetros analisados, para os testes com o efluente em diferentes concentrações, apresentaram redução satisfatória nas concentrações.

Redução de Turbidez

Para o caso da turbidez (Figura IV.16), após a aplicação do tratamento, a maior redução ocorreu na amostra com concentração de 3kg/300L (90,769%), enquanto que as amostras com concentrações de 6kg/300L e 9kg/300L, reduziram apenas 16,9 e 14,7%, respectivamente. Para esse parâmetro não existem limites estabelecidos pelas resoluções para lançamento no corpo receptor, porém, levando em consideração o Artigo nº 32 da Resolução CONAMA N°357/05, que diz que o lançamento de efluentes no corpo hídrico, não pode ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para cada classe, e levando em consideração que para águas de classe II (predominante no estado do Paraná) não pode ser ultrapassado o limite de 100 NTU, então as concentrações 6kg e 9kg/300L, encontram-se com valores acima do permitido para o lançamento.

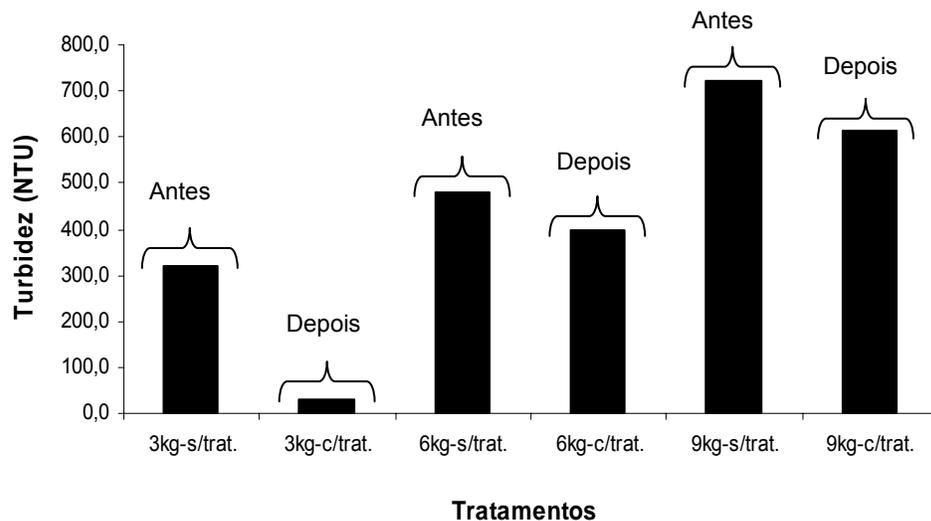


Figura IV.16 Comparação entre os valores de turbidez para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Reduções de DBO e DQO

Para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a amostra com concentração de 3kg/300L apresentou uma redução de 97,2% em relação à amostra do efluente sem tratamento, enquanto que as amostras com concentrações de 6kg/300L e 9kg/300L

apresentaram redução de 62,6 e 52,7%, respectivamente. Com relação à Demanda Química de Oxigênio (DQO), para a amostra com concentração de 3kg/300L, houve redução de 97,6%, e as amostras com concentrações de 6kg/300L e 9kg/300L, reduziram 70,4 e 71,5%, respectivamente. Quando feito um comparativo dos valores encontrados após o tratamento com os preconizados pela Resolução SEMA N° 031/98 (DBO – 50 mg/L⁻¹ e DQO – 125 mg/L⁻¹), constata-se que a concentração 3kg/300L, está dentro do limite para DQO (74,29 mg/L⁻¹) e levemente acima do limite para a DBO (57,80 mg/L⁻¹), conforme ilustrado na Figura IV.18.

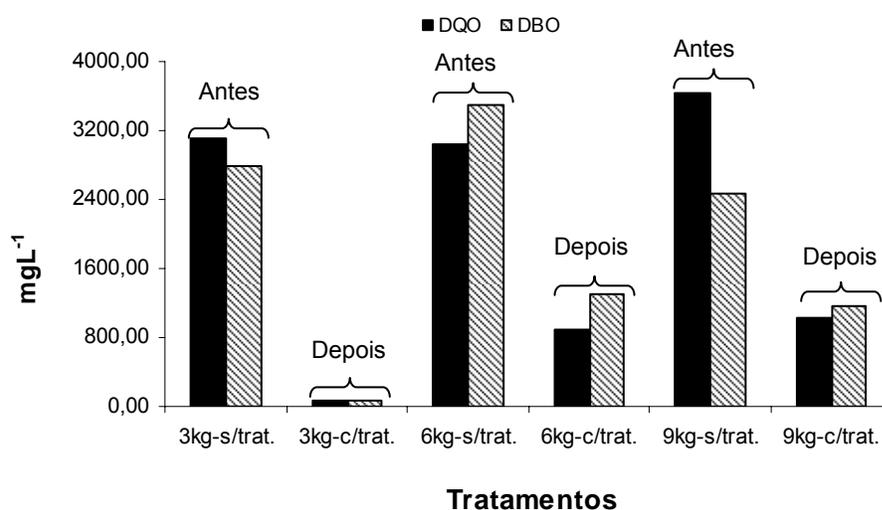


Figura IV.17 Comparação entre os valores de DQO e DBO para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Reduções de Nitrogênio Total e Fosfato Total

No caso de nitrogênio total, a maior porcentagem de redução ocorreu na amostra com concentração de 3kg/300L (93,7%), enquanto que as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L apresentaram reduções de 73,6% e 73,3%, respectivamente. Para o fosfato total as reduções foram de 88,9%, 51,2% e 52,7%. Quando comparados os valores de nitrogênio total, obtidos após o tratamento, com o limite permitido pela Resolução CONAMA N°357/05 (20 mg/L⁻¹), constata-se que para todas as concentrações analisadas os valores encontram-se dentro do limite permitido,

já para o caso do fosfato total apesar da redução considerável com o tratamento principalmente para a concentração de 3kg/300L, os valores após o tratamento não se encontram dentro do limite estabelecido pela Resolução SEMA N°031/98 (0,025 mg/L⁻¹) (Figura IV.19).

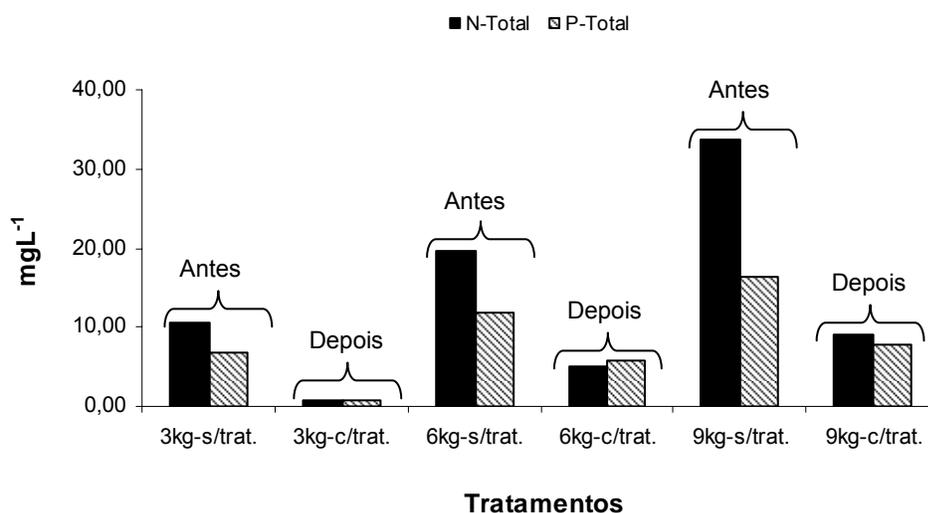


Figura IV.18 Comparação entre os valores de N-Total e P-Total para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Reduções de Amônia e Nitrito

Para amônia, constatou-se reduções de 31,0%, 37,9% e 43,4% para as amostras com concentrações de 3kg, 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Para esse parâmetro a Resolução CONAMA N°020/86 preconiza um limite de 5,0 mg/L⁻¹, sendo assim, todos os valores encontram-se dentro do limite estabelecido para lançamento no corpo receptor. Com relação ao nitrito ocorreram reduções de 88,8%, 43,7% e 60,2%, para as amostras com concentrações de 3kg, 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Para o nitrito as resoluções não estabelecem limites, porém, de acordo com Esteves (1998), em altas concentrações o nitrito é extremamente tóxico a maioria dos organismos aquáticos, dependendo da espécie 1,0 mg/L⁻¹ pode ser letal, sendo assim, quando se trata de lançamento do efluente no corpo receptor, esse parâmetro merece atenção (Figura IV.20).

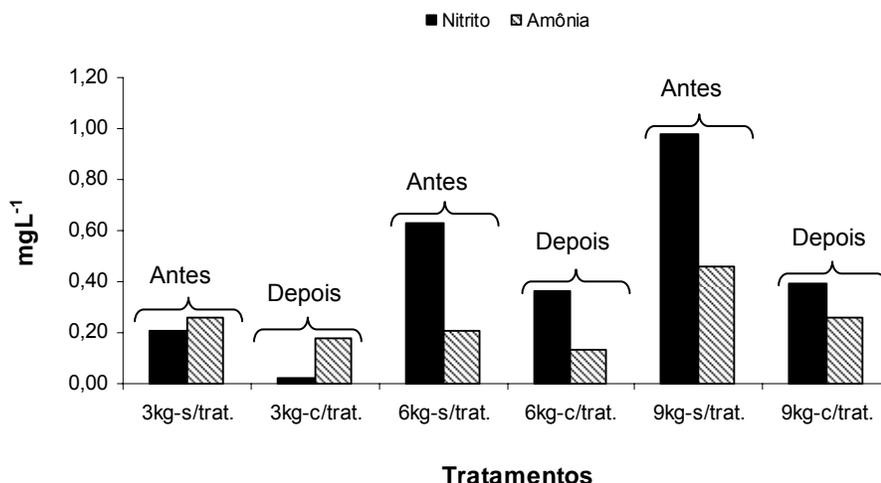


Figura IV.19 Comparação entre os valores de Nitrito e Amônia para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Reduções de Nitrito

Com relação ao nitrito houve reduções de 94,6%, 47,9% e 48,0%, para as amostras com concentrações de 3kg, 6kg e 9kg/300L, respectivamente. De acordo com a Resolução SEMA N°031/98 o limite máximo permitido de nitrito para que efluente possa ser lançado no corpo receptor é de 10,0 mg/L⁻¹, portanto, todas as concentrações analisadas encontram-se dentro do padrão de lançamento.

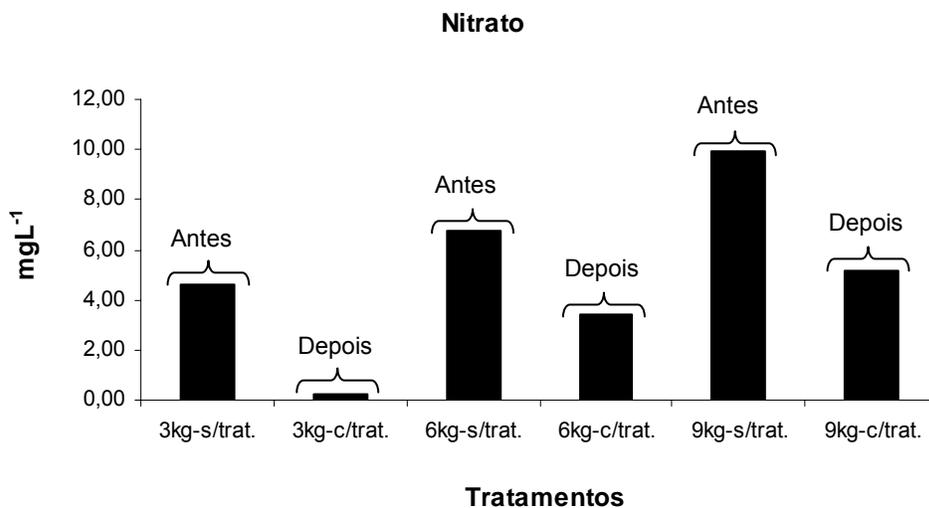


Figura IV.20 Comparação entre os valores de Nitrito para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Reduções de ST, STF, STV e SS

Com relação aos Sólidos Totais (ST) a maior porcentagem de redução foi constatada para a amostra com concentração de 3kg/300L (52,3%), enquanto as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L apresentaram reduções de 16,5% e 16,2%, respectivamente. Para os Sólidos Totais Voláteis (STV), as reduções foram de 99,0%, 49,1% e 23,0%, para as amostras com concentrações de 3kg, 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Já para os Sólidos Totais Fixos as reduções foram de 0,4%, 22,2% e 51,6%, para as amostras com concentrações de 3kg, 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Enquanto que para os sólidos suspensos, as reduções foram de 79,6% para a amostra com concentração de 3kg/300L, 26,4% e 52,7% para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, respectivamente (Figura IV.22). Para esses parâmetros as resoluções não estabelecem limites para o lançamento em corpos hídricos, mas como no caso da turbidez, para Sólidos Totais, de acordo com a Resolução CONAMA Nº357/05, águas de classe II, não podem ultrapassar 500 mg/L⁻¹.

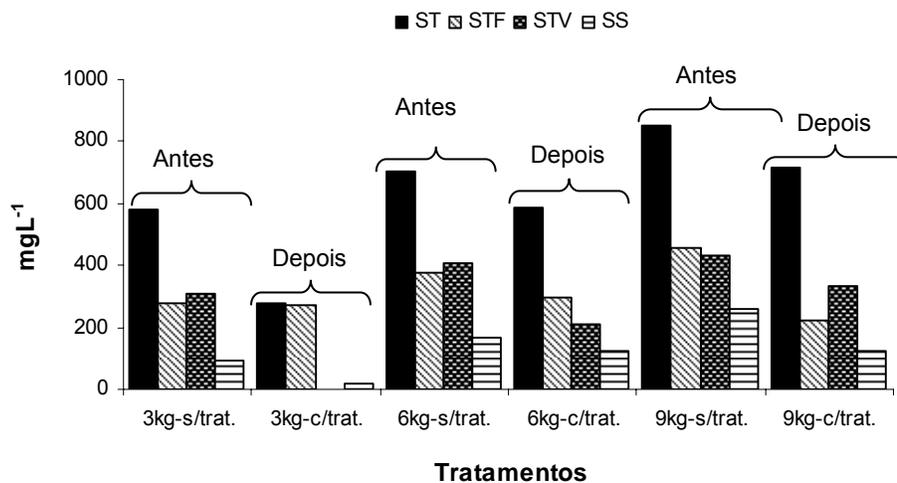


Figura IV.21 Comparação entre os valores de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV) e Sólidos Suspensos (SS) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Reduções de Coliformes Totais e *Escherichia-Coli*

Para Coliformes Totais, as reduções foram de 97,0%, 96,7% e 64,1%, para as amostras com concentrações de 3kg, 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Enquanto que para *Eschechia-Coli* as reduções foram de aproximadamente 90,0%, para a amostra com concentração de 3kg/300L, 50,0% e 41,2%, para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, respectivamente (Figura IV.23). No entanto, apesar das porcentagens de redução consideráveis os valores para Coliformes Totais, quanto para *Escherichia-Coli*, continuam altos, mostrando que só a decantação e flotação não foram suficientes para o tratamento desse efluente.

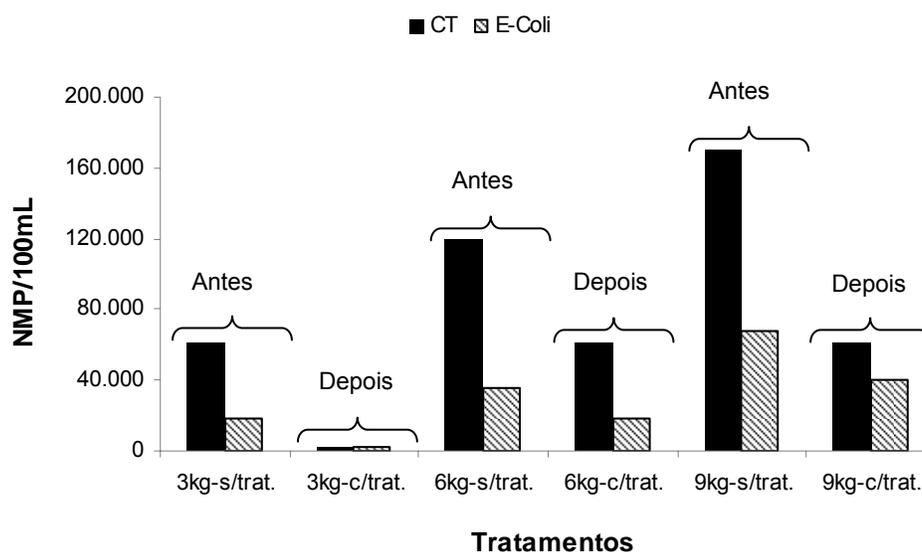


Figura IV.22 Comparação entre os valores de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia- Coli* (*E-Coli*) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.) e com tratamento (c/trat.).

Resultados das análises dos testes com floculante realizados com o líquido clarificado obtido nos processos de decantação e flotação.

Como as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, apresentaram porcentagem de redução menores depois do tratamento com decantação e flotação,

comparado com a amostra com concentração de 3kg/300L, para praticamente todos os parâmetros analisados, realizou-se um teste com o agente floculante Poliacrilamida (Aguapol 325 - Produquímica). Os testes foram feitos no líquido clarificado resultantes dos processos de decantação e flotação, o aspecto das amostras antes e depois do uso do floculante está representado na Figura IV.24. Os resultados das análises encontram-se na Tabela IV

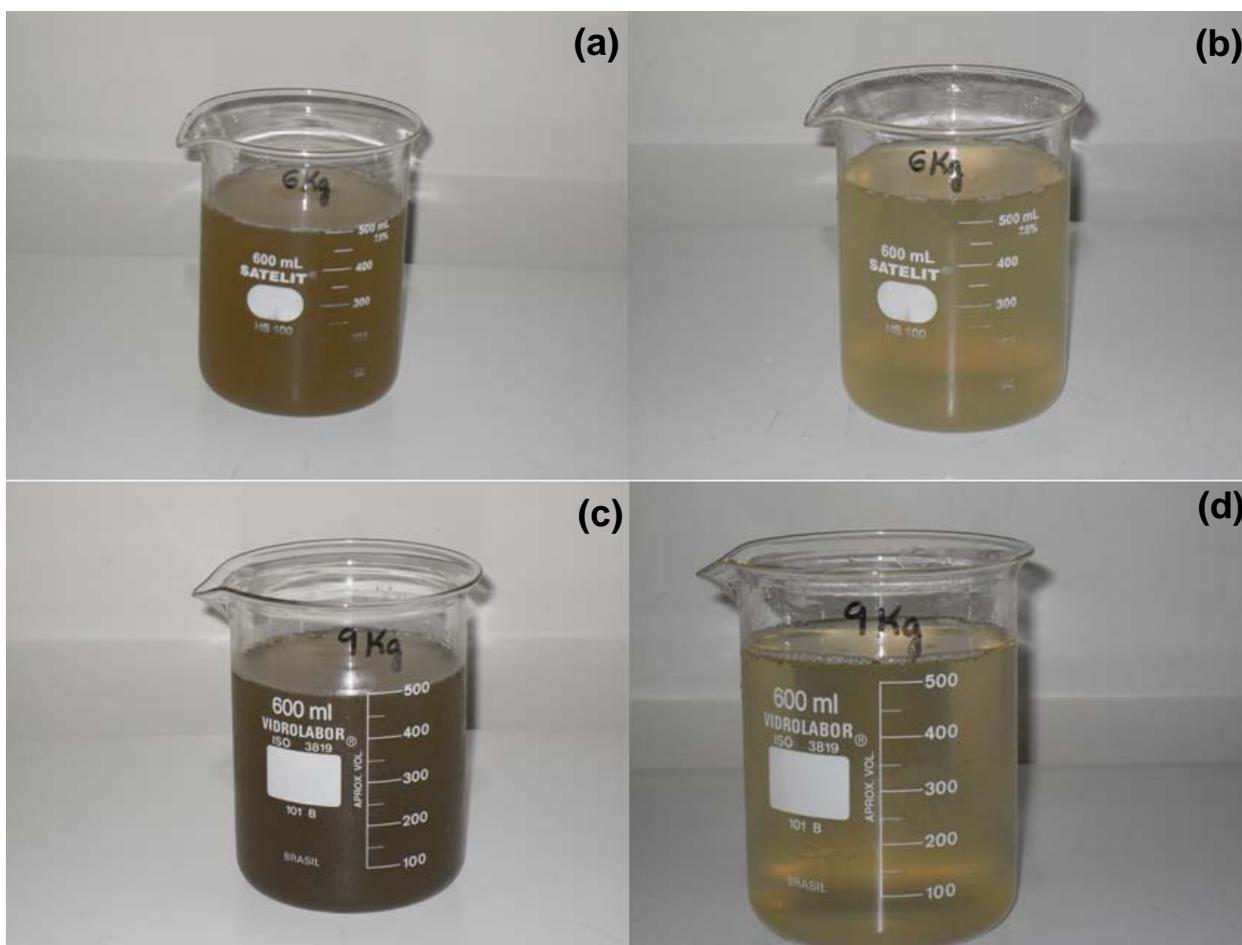


Figura IV.23 Aspecto das amostras com tratamento de decantação e flotação sem uso de floculante (a), com uso de floculante (b) para a amostra com concentração de 6kg/300L e sem uso de floculante (c), com uso de floculante (d), para a amostra de concentração 9kg/300L.

Conforme os resultados da tabela IV.3, constatou-se que praticamente todos os parâmetros analisados, para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, após a adição de floculante apresentaram redução considerável nas concentrações. Como amônia, nitrato e nitrito, já se encontravam dentro dos limites estabelecidos na

legislação com o tratamento sem adição de floculante não foram contemplados nessa etapa.

Tabela IV.3 Resultados das análises físicas, químicas e biológicas do resíduo líquido sem tratamento (*in natura*) e com o tratamento de decantação, flotação e uso 100mg/L a partir de uma solução 0,1% (concentração indicada pelo fabricante) de agente floculante (Poliacrilamida).

Parâmetros	Unidades	Amostras					
		6kg/300L			9kg/300L		
		S/ Trat.	C/ Trat. Floc.	% Red.	S/ Trat.	C/ Trat. Floc.	% Red.
pH	-	6,66	6,72	-	6,70	6,83	-
Turbidez	NTU	479,0	21,8	95,5	722,0	81,9	88,7
DBO	mgL ⁻¹	3500,00	102,00	97,1	2466,67	176,00	92,9
DQO	mgL ⁻¹	3038,00	272,80	91,0	3638,00	551,80	84,8
N-Total	mgL ⁻¹	16,52	4,20	74,6	30,52	5,04	83,5
P-Total	mgL ⁻¹	11,79	2,42	79,5	15,91	2,75	82,7
ST	mgL ⁻¹	702,00	388,00	44,7	851,00	428,00	49,7
STV	mgL ⁻¹	407,00	227,00	44,2	332,00	212,00	36,1
STF	mgL ⁻¹	295,00	161,00	45,4	459,00	216,00	52,9
SS	mgL ⁻¹	167,00	81,18	51,4	258,00	73,20	71,6
CT	NMP/100mL	120.000	40.000	66,7	170.000	40.000	76,5
<i>E-Coli</i>	NMP/100mL	36.000	20.000	44,4	68.000	20.000	70,6

Legenda: Potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (N-Total), Fosfato Total (P-Total), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Suspensos (SS), Coliformes Totais (CT), *Escherichia-coli* (*E-Coli*).

Redução de Turbidez

Os valores da turbidez após adição de floculante apresentaram redução de 95,5 e 88,7%, para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, respectivamente, conforme demonstrado na Figura IV.25. Com o uso do floculante, os valores da turbidez

para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, se enquadraram no limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/05 para águas de classe II (100NTU).

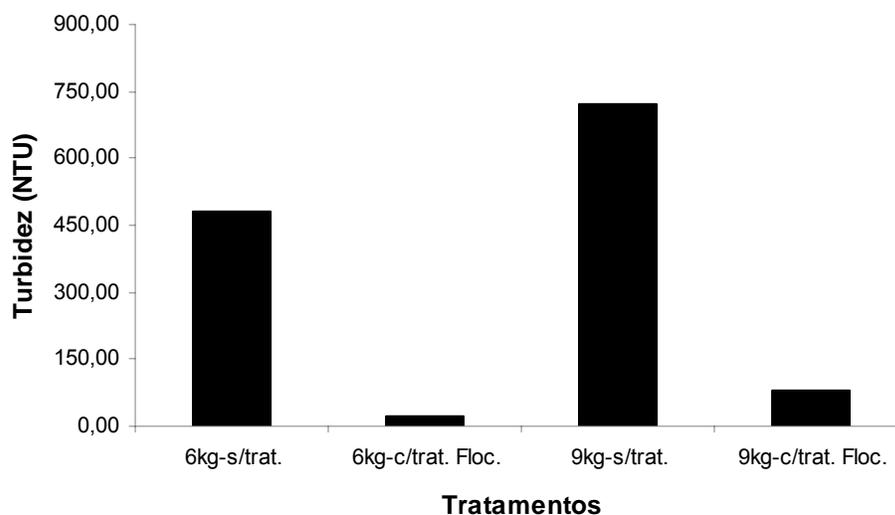


Figura IV.24 Comparação entre os valores de turbidez para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).

Reduções de DBO e DQO

De acordo com a Tabela IV.3, a DBO apresentou redução de 97,1% e 92,9%, para as amostras com concentração de 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Enquanto a DQO, reduziu 91,0% e 84,8%, para as amostras com concentrações de 6kg e 9 kg/300L, respectivamente, conforme demonstrado na Figura IV.26. Apesar da porcentagem de redução considerável esses parâmetros ainda apresentam valores acima dos limites preconizados pela Resolução SEMA N° 031/98, para lançamento em corpos hídricos.

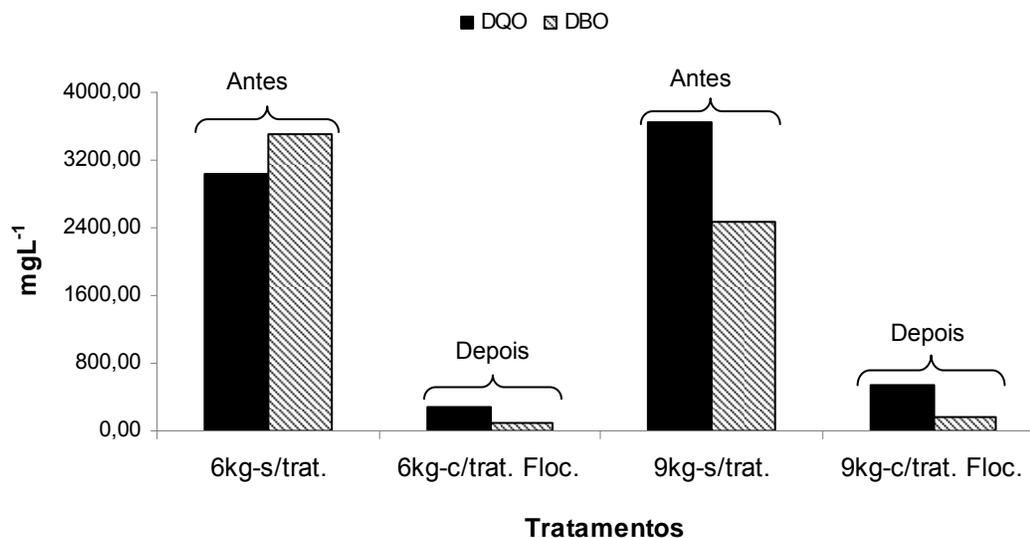


Figura IV.25 Comparação entre os valores de DQO e DBO para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).

Reduções de Nitrogênio Total e Fosfato Total

Após a adição do floculante, o Nitrogênio Total reduziu 74,5% e 83,5%, para as amostras com concentrações de 6kg e 9 kg/300L, respectivamente. Enquanto o Fosfato Total reduziu 79,5% para a amostra com concentração de 6kg/300L e 82,7% para a amostra com concentração de 9kg/300L (Figura IV.27). Após o tratamento com floculante, os valores de Nitrogênio Total ficaram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05 (20 mg/L⁻¹) para lançamento de efluente nos corpos hídricos, para as amostras com concentrações 6kg e 9kg/300L. Já para o caso do Fosfato Total, apesar da redução expressiva, os valores ainda se encontram acima dos limites da Resolução SEMA N°031/98 (0,025 mg/L⁻¹).

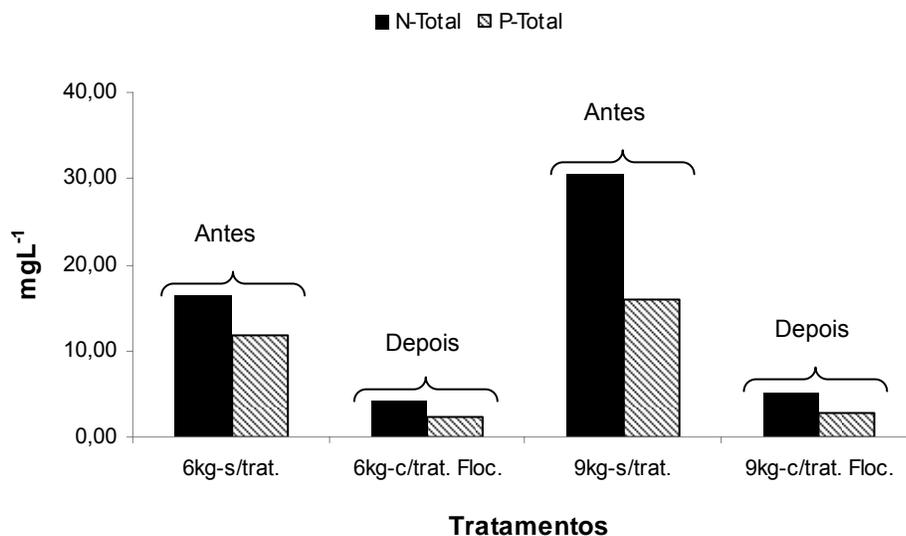


Figura IV.26 Comparação entre os valores de N-Total e P-Total para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).

Reduções de ST, STF, STV e SS

Com relação aos Sólidos Totais (ST) as reduções após a adição do floculante foram de 44,7% e 49,7% para as amostras com concentrações 6kg e 9g/300L, respectivamente. No caso dos Sólidos Totais Voláteis (STV), as reduções foram de 44,2% e 36,1%, para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Para os Sólidos Totais Fixos (STF) as reduções foram de 45,4% para a amostra de concentração 6kg/300L e 52,9%, para a amostra com concentração de 9kg/300L. Enquanto que para os Sólidos Suspensos, as reduções foram de 51,4% e 71,6% para as amostras com concentrações de 6kg/300L e 9kg/300L, respectivamente, conforme Figuras IV.28 e IV.29. Para esses parâmetros as resoluções não estabelecem limites para o lançamento. Porém, para Sólidos Totais, após o tratamento com floculante, o efluente atende o limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/05 (500 mg/L⁻¹) para águas de classe II.

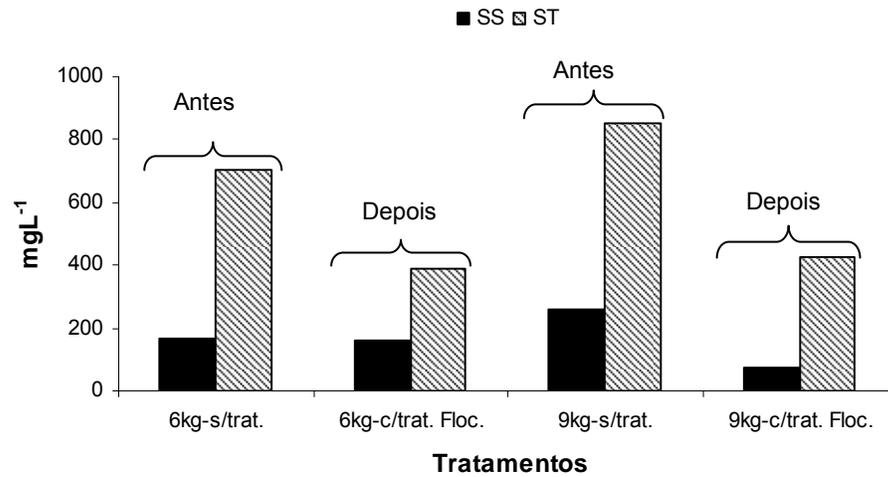


Figura IV.27 Comparação entre os valores de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos (SS) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).

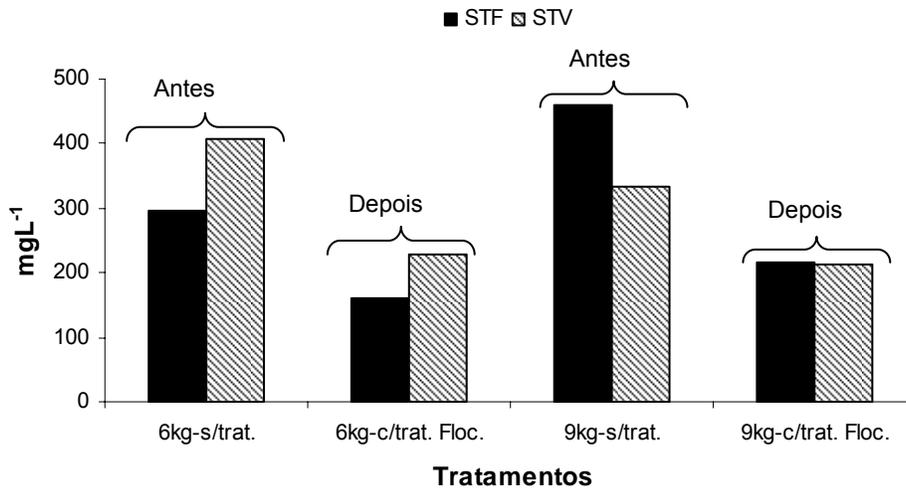


Figura IV.28 Comparação entre os valores de Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).

Reduções de Coliformes Totais e *Escherichia-Coli*

Para os Coliformes Totais após adição do floculante, houve redução de 66,7% e 44,4%, para as amostras com concentrações de 6kg e 9kg/300L, respectivamente. Enquanto que para *Escherichia-Coli* as reduções foram de 76,5% para a amostra com concentração de 6kg/300L e 70,6% para a amostra com concentração de 9kg/300L (Figura IV.32). Sendo assim, foi possível constatar que os organismos patogênicos necessitam de um tratamento complementar, uma vez que os valores tanto para Coliformes Totais quanto para *Escherichia Coli* continuam altos.

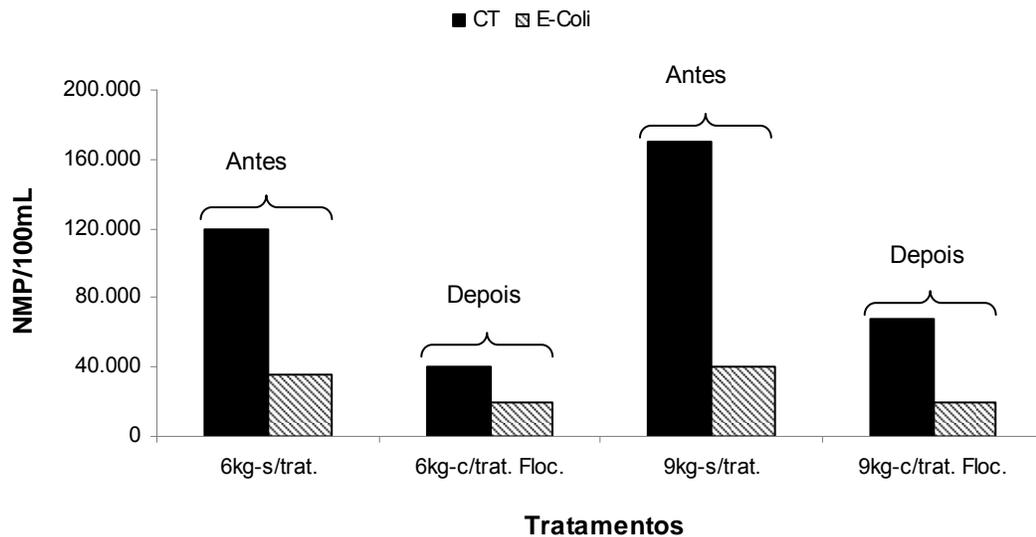


Figura IV.29 Comparação entre os valores de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia-Coli* (*E-Coli*) para as diferentes concentrações no efluente sem tratamento (s/trat.), com tratamento e adição de floculante (c/trat. Floc.).

Resultados das análises de Coliformes Totais e Escherichia-Coli para as amostras com tratamento de decantação e flotação seguido do tratamento de desinfecção por meio de radiação solar.

Na Figura IV.12 está ilustrado o sistema de desinfecção do resíduo (líquido clarificado) por meio de radiação solar.



Figura IV.30 Sistema de desinfecção de organismos patogênicos por meio de radiação solar.

Na Tabela IV.4, são apresentados os resultados para Coliformes Totais e *Escherichia-Coli* nas amostras *in natura*, e na Tabela IV.5, os valores para Coliformes Totais e *Escherichia-Coli*, após o tratamento de desinfecção por radiação solar.

Tabela IV.4 Resultados das análises de Coliformes Totais e *Escherichia-Coli* no efluente *in natura*.

Tratamentos	Coliformes Totais (NMP/100mL)	<i>Escherichia – Coli</i> (NMP/100mL)
3kg/300L-S/trat.	61.000	18.000
6kg/300L-S/trat.	120.000	36.000
9kg/300L-S/trat.	170.000	68.000

Tabela IV.5 Resultados das análises de Coliformes Totais e *Escherichia-Coli* no efluente tratado com os processos de decantação e flotação para as três concentrações (3kg, 6kg e 9kg/300L), com floculante nas concentrações 6kg e 9kg/300L e com radiação solar para todas as concentrações.

Tratamentos	Tempo de exposição à radiação solar							
	0 horas		6 horas		12 horas		24 horas	
	CT NMP/100mL	E-Coli NMP/100mL	CT NMP/100mL	E-Coli NMP/100mL	CT NMP/100mL	E-Coli NMP/100mL	CT NMP/100mL	E-Coli NMP/100mL
3kg/300L C/trat.	1.800	<1.800	520	100	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
6kg/300L C/trat.	61.000	36.000	40.000	18.000	20.000	18.000	20.000	<18.000
6kg/300L C/trat. Floc.	40.000	20.000	4.500	4.500	<1.800	<1.800	<1.800	<1.800
9kg/300L C/trat.	61.000	40.000	55.000	36.000	40.000	20.000	40.000	<18.000
9kg/300L C/trat. Floc.	40.000	20.000	8.200	6.100	2.000	<1.800	<1.800	<1.800

Conforme os resultados apresentados na Tabela IV.5, foi possível perceber uma redução satisfatória nos valores tanto de Coliformes Totais, quanto de *Escherichia-Coli*, para todas as concentrações, porém quando se trata das concentrações 6kg e 9kg/300L, os melhores resultados foram verificados com o tratamento de decantação e flotação seguido do uso de floculante, fato que já era esperado, uma vez que o uso do floculante fez com que ocorresse uma redução considerável na turbidez, que é um dos

fatores limitantes quando se trata desse tipo de tratamento. Isso se deve ao fato de uma amostra mais turva, ter mais partículas em suspensão, que se comportam como uma espécie de “escudo”, impedindo que a luz solar penetre na amostra.

Durante o período de exposição das amostras à radiação solar, foi monitorada a temperatura das mesmas, que não baixou de 50°C, durante todo o período. Os testes foram feitos em dia de céu aberto e o tempo de exposição a radiação solar que apresentou melhor redução nas concentrações tanto de coliformes totais quanto de *Escherichia-Coli* foi o de 24 horas.

Levando em consideração as condições a que as amostras foram submetidas, vincula-se a redução de coliformes totais e *Escherichia-coli* a uma combinação entre incidência de radiação solar e alta temperatura. O efeito bactericida dos raios UVA fica na faixa de 320 a 400 nm, sendo assim, dependendo da espessura e do tipo do vidro é a quantidade de raios que conseguem penetrar no mesmo, sendo que alguns vidros tem um efeito de blindagem bom outros não. Os coliformes fecais (*Escherichai - coli*) resistem a temperaturas de até 44°C e os coliformes totais apresentam crescimento a 35°C.

Dessa forma como durante a realização do experimento não foi possível medir a quantidade de raios incidentes, e só a temperatura foi monitorada não teve como precisar qual foi a contribuição dos raios solares e da temperatura de forma separada no processo de desinfecção, porém, pelos resultados ficou evidente que a combinação dos dois fatores fez com que houvesse uma redução satisfatória

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Na seqüência apresentam-se as respectivas conclusões para cada uma das metas contempladas nos objetivos do trabalho.

Identificação de etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite

Através da identificação de etapas, variáveis e parâmetros relevantes do processo de produção de leite o qual resultou num fluxograma detalhado do processo, foi possível constatar que a etapa com maior consumo de água e geração de resíduos, principalmente líquidos é a etapa de ordenha.

Realização de diagnóstico (econômico, ambiental e social) em torno da atividade de bovinocultura leiteira no estado do Paraná

O diagnóstico (econômico, ambiental e social) mostrou que o Brasil se encontra entre os maiores produtores de leite e o estado do Paraná ocupa segundo lugar na produção de leite. O que chama a atenção é que 84% dos produtores adotam o sistema extensivo de produção, com mão de obra familiar, com pouca ou nenhuma tecnologia e que a atividade está distribuída em todas as regiões do estado, prevalecendo à região Oeste do Paraná, com maior número de vacas ordenhadas. Esse grande número de cabeças de gado leiteiro resulta em um consumo total de água de 5.698.428 m³/dia (170.952.865 m³/mês). A pesquisa mostrou que a maior parcela no consumo corresponde ao consumo direto (82.986 m³/dia) e ao consumo na rotina de limpeza dos currais e utensílios (5.532.456 m³/dia). Os resíduos líquidos gerados tanto pelo gado leiteiro como pelo processo de limpeza dos currais e utensílios utilizados na ordenha totalizam aproximadamente 74.446 m³/dia (2.233.380 m³/mês), esse efluente geralmente não é destinado e nem tratado de forma adequada, isso ocorre devido principalmente ao fato de as formas de tratamento serem dispendiosas e não existir uma legislação muito rigorosa em torno dessa atividade. Sendo assim, o produtor

acaba não tratando o dejetos e o utiliza ainda fresco como adubo nas suas terras, o que acarreta em uma série de problemas, como excesso de nutrientes no solo, poluição dos lençóis subterrâneos, escoamento superficial causando poluição das águas superficiais de nascentes, rios, lagos e reservatórios, por carreamento dos nutrientes, organismos patogênicos e outros elementos tóxicos existentes no resíduo, podendo causar a eutrofização do corpo d'água e a morte dos organismos aquáticos.

Caracterização do efluente por meio da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos

Por meio da caracterização do resíduo foi possível constatar que o mesmo apresenta uma alta concentração de matéria orgânica representada pela DBO e DQO, sólidos totais e organismos patogênicos, justificando a necessidade de métodos/processos/tecnologia e de legislação própria para o correto tratamento e destino dos efluentes resultantes da atividade de bovinocultura leiteira.

Proposição de método diferenciado para gestão de efluentes da atividade leiteira

Com a proposição do método diferenciado de limpeza dos currais observou-se uma redução de aproximadamente 80% da matéria orgânica no resíduo líquido e para este tipo de resíduo foi constatada a disponibilidade de tecnologia alternativa, que além de tratar, consegue a agregação de valor (MOREJON et al. 2006 e 2009). O 20% (resíduo líquido diluído na água de higienização) justificou o desenvolvimento de uma metodologia e tecnologia alternativa que teve um resultado satisfatório.

Proposição de tecnologia diferenciada para o tratamento de efluentes da atividade leiteira

A tecnologia diferenciada proposta para o tratamento de resíduos líquidos provenientes da limpeza de currais de gado leiteiro, por meio da adequação da tecnologia denominada SIMOCOD e SIMOCOF, seguido de desinfecção do líquido clarificado por radiação solar, pelas características diferenciadas, quando comparados com os sistemas de tratamento convencionais, apresentou vantagens. Trata-se de um sistema modular, compacto, de fácil instalação e operação, que utiliza processos físicos para o tratamento, mesmo para a redução da carga orgânica, o que a torna viável, quando se trata de efluentes pouco concentrados, dispensando o uso de aditivos. Para efluentes mais concentrados, se o objetivo for atingir os padrões de lançamento após o tratamento, faz-se necessário o uso de flocculante, apesar de o tratamento só com processos físicos, apresentar uma boa redução principalmente de DBO, DQO, nitrogênio total e organismos patogênicos, também em efluentes com maior concentração. Contudo, os resultados podem ser considerados satisfatórios. Dessa forma a metodologia e tecnologia alternativa (Resultado desse trabalho) deve contribuir por meio do tratamento, para amenizar o problema gerado pela alta produção de resíduos líquidos da atividade de bovinocultura leiteira.

Eficiência da tecnologia alternativa e análise de concordância do efluente tratado com a legislação ambiental vigente

Com os dados obtidos com as análises laboratoriais, verificou-se a eficiência da tecnologia utilizada para o tratamento do efluente. Com relação ao tratamento somente com a utilização do SIMOCOD e SIMOCOF modificado, foi possível constatar uma redução satisfatória nas concentrações dos parâmetros analisados, principalmente, no efluente menos concentrado (3kg/300L), onde praticamente todos os parâmetros ficaram dentro dos padrões de lançamento nos corpos hídricos receptores. Com relação às análises para o sistema de radiação solar, os resultados para coliformes totais e *Escherichia-Coli*, mostraram que para efluentes com essas características o melhor

tempo de exposição é de 24 horas, uma vez que apresenta valores altos de turbidez, principalmente para as concentrações 6kg e 9kg/300L.

Recomendações

O SIMOCOD e o SIMOCOF apresentaram algumas limitações para as amostras mais concentradas (6kg e 9kg/300L). Nesse contexto, se o objetivo for o lançamento do resíduo tratado no corpo receptor, faz-se necessário alguns ajustes no equipamento, vislumbrando o aumento da eficiência do tratamento e consequentemente aumento das taxas de redução. Porém, se o destino final do resíduo for a disposição no solo, as taxas de redução apresentadas foram satisfatórias.

Para o caso do tratamento com radiação solar, uma vez que ocorra melhora na eficiência do tratamento preliminar utilizando o SIMOCOD e SIMOCOF, consequentemente a turbidez das amostras diminuirá fazendo com que a radiação possa acontecer de forma mais eficiente, ou seja, em menos tempo de exposição, o que fará com que o efluente possa ser tratado em menos tempo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. F. L. **Aspectos sociais da produção de leite no Brasil**. 1ª ed. Belo Horizonte: FEPMVZ - Editora, 2001, v. 1, p. 117-124. In: Madalena, F. E., Matos, L. L., Holanda Jr. E. V.. (Org.). *Produção de Leite e Sociedade*. Disponível em: http://www.fernandomadalena.com/site_arquivos/909.pdf. Acesso: 29 jun. 2009.

AMARAL, L. A.; NUNES, A. P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C. S.; BARROS, L.S.S.; NADER FILHO, A. **Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos**. Arq. Inst. Biol. São Paulo. v. 73. 2006.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª Ed. Washington – DC: APHA. 2005.

ASSENHEIMER, A. **Tratamento de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite com aeração mecânica**. Marechal Cândido Rondon, 2007. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: http://tede.unioeste.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=198. Acesso: 29 out. 2008.

ASSIS, A.G.; STOCK, L.A.; CAMPOS, O.F.; GOMES, A, T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M.R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Circular Técnica 85, p.1-5, Dezembro, 2005. Disponível em: www.cnpqgl.embrapa.br/nova/publicacoes/circular/CT85.pdf. Acesso: 14 set 2008.

BARVENIK, F.W. **Polyacrylamide characteristics related to soil applications**. *Soil Science* **158**:235-243. 1994.

CAMPOS, A.T.; CAMPOS D.S.; CAMPOS, A.T.; PIRES, M.F. **Tratamento de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite**. In: Circular Técnica, 75. Embrapa Gado de Leite. Juiz de Fora. p. 1-5, 2003.

CHERNICHARO A. L, et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção**. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios. PROSAB. Rio de Janeiro, 1999. cap.7. Desinfecção ultra violeta. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-7.pdf>. Acesso em: 10 fev 2009.

COSTA, V.H. G.; FERREIRA, J. H. S.; RODRIGUES, A. A. **Desinfecção de água doce por radiação solar**. João Pessoa/PB, 2007. Disponível em: http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080213_085625_MEIO-059.pdf. Acesso: 10 mar 2008.

CRONK, J.K. **Constructed wetlands to treat wastewater from dairy and swine operations: a review**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.58, n.2-3, p.97-114 (1996).

DANIEL, L. A. et al. **Métodos alternativos de desinfecção da água**. 1. ed. São Carlos: 2001. p. 61-64. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/LuizDaniel.pdf>. Acesso em: 30 set 2008.

EMBRAPA. **Coleção 500 Perguntas 500 Respostas: Gado de Leite**. 2ª ed. 2004.

GÓIS, C. C.; LIMA, R. M. F.; MELO, A. C. **Sedimentação de resíduo Bayer utilizando floculantes hidroxamatos e poliacrilamida**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(2): 119-122, abr. jun. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v56n2/v56n2a10.pdf>. Acesso em: 04 out. 2009.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 34, p.1-62, 2006, ISSN0101-4234. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/.../2006/ppm2006.pdf Acesso em: 17 set. 2008.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 35, p.1-62, 2008, ISSN 0101-4234. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2007/ppm2007.pdf> Acesso em: 03 fev. 2009.

IPARDES. **Caderno Estatístico do Estado do Paraná**. Julho de 2009. Disponível em: www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=00019. Acesso em: 29 jul 2009.

IPARDES. **Diagnóstico da Atividade Leiteira no Paraná**. Documento publicado em: www.agrosoft.org.br/agropag/209992.htm criado em 13/04/2009 e impresso em 29/06/2009. Acesso em: 30 jun 2009.

IPARDES, EMATER, SEAB, SETI. **Caracterização socioeconômica da atividade leiteira no Paraná.** Sumário executivo. Financiamento: Secretaria do estado da ciência. Tecnologia e Ensino superior – Fundo Paraná. Curitiba. 2009. Disponível em: www.ipardes.gov.br/.../sumario_executivo_atividade_leiteira_parana.pdf. Acesso em: 29 jun 2009.

JUNIOR, F. R. S.; PESCE, D. M. C.; THEODORO, K. H. **Diagnóstico de situação técnica e sócio-econômica das propriedades leiteiras de Muzambinho MG.** Revista Doxo, PUC Minas, Poços de Caldas, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2006. Disponível em: <http://www.pucpcaldas.br/revista/doxo/Volume1/art6.pdf>. Acesso em: 29 jun 2009.

LAZAROVA, V.; JANEX, M. L.; FIKSDAL, L.; OBERG, C.; BARCINA, I.; POMMEPUYL, M. **Advanced wastewater disinfection technologies: Short and long term efficiency.** Water Science and Technology. v. 38, n. 12, p. 109-117, 1999. Disponível em: <http://www.iwaponline.com/wst/03812/wst038120109.htm>. Acesso: 02 nov 2008.

LÉON, S.G.; CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias.** Tradução de GHEYI, H.R.; KONIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 108p.

LOEHR, R. C. **Pollution Control for Agriculture.** New York: Academic Press, 1984. 467P. pp. 467, £34.00. Disponível em: <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract;jsessionid=3EFC238E5CC8FE8AB06DEF207B3FE282.tomcat1?fromPage=online&aid=1617484>. Acesso em: 03 set 2008.

LOPES, P. F.; REIS, R. P. R; YAMAGUCHI, L. C. T. **Custos e escala de produção na pecuária leiteira: estudo nos principais estados produtores do Brasil.** RER, Rio de Janeiro, v. 45, n 03, p. 567-590, jul/set 2007 – Impressa em agosto 2007. Disponível em: www.scielo.br/pdf/resr/v45n3/a02v45n3.pdf. Acesso: 29 jun. 2009.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais.** Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV. Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2005. Disponível em: <http://www.ufv.br/dec/simea/apresentacoes/CursoMatosFEAM2005.pdf>. Acesso em: 29 mar 2009.

MOREJON, C. F. M.; PIACENTI, C. A.; LINDINO, C.; PALÚ, F.; AULER, L. T. S.; BARICATTI, R.; FARIA, S. H.; ROCHA JR, W. F.; SOUSA, J. A. **Biodigestor Modular para Produção de Biogás, Biofertilizante e Bio-ração.** IN: Revistas da Propriedade Industrial (RPI), RPI nº 1859. Rio de Janeiro/RJ. Agosto de 2006.

MOREJON, C. F. M.; ZIMMERMANN, V. E.; HASAN, S. D. M. **Sistema modular compacto de decantação para tratamento de afluentes/efluentes provenientes de diversas fontes.** IN: Revistas da Propriedade Industrial (RPI), RPI nº 1992. Rio de Janeiro/RJ. Março de 2009.

MOREJON, C. F. M.; ZIMMERMANN, V. E.; HASAN, S. D. M. **Sistema modular compacto de flotação para tratamento de afluentes/efluentes provenientes de diversas fontes.** IN: Revistas da Propriedade Industrial (RPI), RPI nº 1992. Rio de Janeiro/RJ. Março de 2009.

NUNES, I. J. **Nutrição animal básica.** Belo Horizonte. 2ª ed. Ed. FEP – MVZ – UFMG, 1998.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de Efluentes Sanitários Tratados Através da Radiação Ultravioleta.** Florianópolis, 2003. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade federal de Santa Catarina.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações.** 2. ed. Castro, 2004. 86 p.

PEREIRA, J. L. S. **Manipulação de efluentes de bovinocultura: Pré – tratamento e aplicação ao solo.** Lisboa, 2005. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Disponível em: <http://dited.bn.pt/31567/2554/3068.pdf>. Acesso: 17 jul 2008.

POHLMANN, M. **Levantamento de Técnicas de Manejo de Resíduos da Bovinocultura Leiteira no Estado de São Paulo.** Campinas, 2000. 115p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000219682>. Acesso: 27 nov 2008.

SEGUNDO, A. R. S. S.; SILVA, W. C.; MEDEIROS, A. C.; VALENTIM; MEDEIROS, A. C. R.; GARCIA, R. B. **Caracterização de Poliacrilamidas comerciais visando sua aplicação na recuperação avançada de petróleo.** Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2007. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_2_1_0441-2.pdf. Acesso em: 28 set 2009.

SOMMER, B.; MARINO, A.; SOLARTES, Y.; SALAS, M.L.; DIEROLF, C.; VALIENTE, C.; MORA, D.; RECHSTEINER, R.; SETTERS, P.; WIEOJANAGUDS, W.; AJARMEH, H.; AL-HASSAN, A.; WEGELIN, M. **SODIS - an emerging water treatment process**. In: Journal of water supply research and technology-Aqua;46(3):127-37, 1997. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/aqua97.pdf>. Acesso: 20 nov 2008.

TELLES, T.S.; TANAKA, J.M.U; PELLINI, T. **Agricultura familiar: pecuária leiteira como locus das políticas públicas paranaenses**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n.3, p. 579-590, jul./set. 2008. Disponível em: www.uel.br/proppg/portal/pages/.../semina_29_3_19_10.pdf. Acesso: 30 jun 2009.

VAN HORN, H.H. *et al.* **Components of Dairy Manure Management Systems**. J. Dairy Science 77:2008-2030, 1994. Disponível em: <http://jds.fass.org/cgi/reprint/77/7/2008?maxtoshow=&hits=10&RESULTFORMAT=&title=Components+of+Dairy+Manure+Management+Systems&andorexacttitle=and&andorexacttitleabs=and&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&sortspec=relevance&resourcetype=HWCIT>. Acesso em: 29 nov 2008.

VILLARINO A.; BOUVET, O.; REGNAULT, B.; DELAUTRE, S.; GRIMONT, P.A.D. **Cellular activities in ultra-violet killed Escherichia coli**. International Journal of Food Microbiology, 55, p. 245 -247, 2000. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T7K-3YWX0KJ-1H-7&_cdi=5061&_user=687375&_pii=S0168160500001781&_orig=browse&_coverDate=04%2F10%2F2000&_sk=999449998&view=c&wchp=dGLbVlbzSkWA&md5=6143200f79cd207eb258f2d3f62bf36c&ie=/sdarticle.pdf. Acesso em: 28 dez 2008.

VILELA, D. **Perspectivas para a produção de leite no Brasil**. In: TEIXEIRA, J. C.; DAVID, F. M.; ANDRADE, G. A.; ÍTALO NETO, A.; TEIXEIRAS, L. F. A. C. Avanços em produção e manejo de bovinos leiteiros. Lavras: UFLA, 2002. p. 225-262.