

CLÁUDIO ARCANJO DE SOUSA

**TRATAMENTO TERMOFÍLICO AERÓBIO DE EFLUENTE DE MÁQUINA DE
PAPEL UTILIZANDO BIORREATOR A MEMBRANAS**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CLÁUDIO ARCANJO DE SOUSA

TRATAMENTO TERMOFÍLICO AERÓBIO DE EFLUENTE DE MÁQUINA DE
PAPEL UTILIZANDO BIORREATOR A MEMBRANAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de "*Doctor Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

CLÁUDIO ARCANJO DE SOUSA

TRATAMENTO TERMOFÍLICO AERÓBIO DE EFLUENTE DE MÁQUINA DE
PAPEL UTILIZANDO BIORREATOR A MEMBRANAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de "*Doctor Scientiae*".

APROVADA: 28 de fevereiro de 2008

Prof^a. Ann Honor Mounteer
(Co-Orientadora)

Prof^a. Ana Augusta Passos Rezende

Prof^a. Flávia Maria Lopes Passos

Prof. Sérgio Francisco de Aquino

Prof. Cláudio Mudado Silva
(Orientador)

Aos meus queridos pais Franquelino e Efigênia

A minha amada esposa Shirley Sousa e

Ao meu querido filho Thiago Sousa

AGRADECIMENTOS

Ao grande Deus pela graça da vida e vida em abundância, e pelo milagroso hábito de nascer e morrer a cada dia sempre disposto a continuar esta jornada tão laboriosa;

Ao ilustre orientador Professor Cláudio Mudado Silva pelos longos anos de caminhada, pela transferência de conhecimento, carinho, amor, paciência e sapiência, dedicação, pela confiança depositada nestes longos anos de convivência e aprendizado, pelas longas viagens juntos às empresas em busca de soluções e aprendizagem, pelos inúmeros ensinamentos e compartilhamento de conhecimento onde aprendemos mutuamente e acima de tudo pela oportunidade de concluir esta etapa tão importante para minha vida;

A minha esposa Shirley que sempre me incentivou nos momentos difíceis, que chorou e sorriu, que soube quando ficar junto e também quando deveria se afastar, que soube ser mãe e por diversas vezes também a ser pai, sendo sempre compreensiva, zelosa e pelo carinho que recebi dela, meu muito obrigado;

Ao meu filho Thiago que sempre me inspirou a continuar nesta caminhada, pois sabia que ele era a continuação da minha vida e isto foi tudo;

Aos meus queridos irmãos e demais familiares que sempre me apoiaram e incentivaram-me nos diversos momentos da minha vida, sempre desejando um final feliz;

Aos meus conselheiros Ann Mounteer e Frederico Passos pelos mais que conselhos e, sobretudo, pela amizade, carinhos e oportunidades de trabalharmos juntos;

Aos demais professores da banca examinadora Flávia Maria Lopes Passos, Ana Augusta Passos Rezende, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho e Sérgio Francisco de Aquino pelo aceite em participar de um momento tão decisório e especial da minha vida;

Aos demais professores do Laboratório de Celulose e Papel, Rubens Chaves, Jorge Colodett e José Lívio, pela amizade, carinho, incentivo e auxílio constante;

Ao professor Marcos Rogério Tótola, do Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa pelo apoio no desenvolvimento do estudo para análise da diversidade genética e das comunidades microbianas;

Aos grandes amigos do Laboratório de Meio Ambiente, Valéria Rodrigues, Ana Paula Loures e Hygor Rossoni pelas infindáveis ajudas, pelos momentos de descontrações, convivências e aprendizados;

Aos estudantes de iniciação científica, Jairo Almeida, Nívea Vieira, e Mateus Amaral que me ajudaram sempre com muita garra e boa vontade e que sem eles não seria possível a execução e conclusão deste trabalho;

Aos demais estudantes e estagiários do laboratório de meio ambiente do LCP/UFV que vieram, permaneceram e alguns já se foram, porém a lembrança dos bons momentos é tão atualizada que não poderia deixar de lembrar deles: Luciana Cerqueira, Leandro Dalvi, Camila Amorim, Cassiano Rodrigues, André Hara, Paulo Henrique, Vanessa Moreira, Marcio Rabelo, Nelson Del Antônio, André Tisenhausen, Regina Pinheiro, Rafael Amim, Rosilene Rodrigues, Pit Paul, Marcos Antônio, Mieli *“in memorian”*, Eliane Gonçalves, Matheus Coura, Ismarley Lage, Júlia Pandolfi, Wilian Gomes, Luiz Felipe e José Antônio, pelos momentos de ajuda e convivência que foram essenciais para nosso relacionamento;

A todos os amigos e amigas inesquecíveis do Laboratório de Celulose e Papel da tecnologia da polpação, química da madeira, branqueamento e tecnologia do papel pelas diversas colaborações e amizades que me ajudaram a superar as dificuldades encontradas ao longo desta jornada, proporcionando-me momentos de prazer e felicidade;

Meus agradecimentos especiais à Rita de Cássia Silva Alves “Ritinha” que nunca permitiu que eu perdesse nenhuma data importante, a Maria Auxiliadora Souza “Dôra” que sempre me auxiliou neste e em diversos outros trabalhos e ao grande amigo Cláudio Bittencourt, pela atenção, companheirismo e auxílio para as montagens dos experimentos;

Ao CNPq pelo suporte financeiro que foi primordial para o desenvolvimento deste trabalho;

À Zenon Environmental Inc. pela doação do módulo de membranas que foi utilizado no desenvolvimento deste trabalho;

À SUZANO unidade Mucuri e KLABIN Papéis e embalagens unidade Ponte Nova pelo fornecimento dos efluentes e demais informação valiosas para execução deste trabalho;

Demais pessoas que direto ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Cláudio Arcanjo de Sousa, filho de Franquelino Henrique de Sousa e Efigênia Maria de Sousa, nasceu em 29 de setembro de 1974 em Pará de Minas, Minas Gerais.

Em março de 1992 iniciou o curso Técnico em Agropecuária na Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal – CEDAF, na cidade de Florestal MG, concluindo o respectivo curso em dezembro de 1994.

Em março de 1995 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG tendo-o concluído em outubro de 2000.

Em Agosto de 2000 iniciou o curso de mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa desenvolvendo trabalhos com controle de *bulking* filamentosos em sistemas de lodos ativados e em outubro de 2002 recebeu o título de *Magister Science*.

Em março de 2003 iniciou o programa de doutorado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, desenvolvendo estudo com tratamento termofílico de água branca de máquina de papel utilizando sistemas de lodos ativados e biorreatores a membranas e em fevereiro de 2008 submeteu a tese para defesa.

Em janeiro de 2007 iniciou a carreira profissional, como Assistente Técnico da Gerência Geral de Sustentabilidade do Projeto Horizonte em Três Lagoas, Mato Grosso do Sul pela Votorantim Celulose e Papel.

CONTEÚDO

Página

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. EFLUENTES DE FÁBRICAS DE PAPEL	4
3.2. LODOS ATIVADOS	7
3.3. TRATAMENTO TERMOFÍLICO.....	11
3.4. BIORREATOR DE MEMBRANAS	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1. EXPERIMENTO I –DESEMPENHO DOS SISTEMAS LAC E BRM	24
4.1.1. Efluentes.....	24
4.1.2. Adaptação do lodo biológico	25
4.1.3. Sistemas de tratamento biológicos laboratorial.....	25
4.1.3.1. Lodos Ativados Convencional (LAC)	25
4.1.3.2. Biorreator a Membranas (BRM)	27
4.1.4. Tratamento do efluente	28
4.1.5. Coleta e periodicidade das amostras	29
4.2. EXPERIMENTO II – DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE BRM EM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	30
4.2.1. Efluentes.....	30
4.2.2. Aparato Laboratorial	30
4.2.3. Tratamentos realizados	32
4.2.4. Coleta e periodicidade das análises.....	32
4.2.5. Procedimentos analíticos	33
4.2.5.1. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	33
4.2.5.2. Série Sólidos (SST, SSF e SSV).....	34
4.2.5.3. Alcalinidade	34
4.2.5.4. Condutividade Elétrica.....	35
4.2.5.5. Turbidez	35
4.2.5.6. Dureza	36
4.2.5.7. Oxigênio Dissolvido (OD)	36
4.2.5.8. pH	36
4.2.5.9. Observações Microscópicas do Lodo.....	36
4.2.5.10. Identificação e concentração de microrganismos filamentosos	36
4.2.6. Parâmetros operacionais de controle.....	38
4.2.6.1. Idade do Lodo (θ_c).....	38

4.2.6.2.	Relação Alimento/Microrganismo (A/M)	38
4.2.6.3.	Taxa de Utilização de Substrato (U).....	39
4.2.6.4.	Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)	41
4.2.6.5.	Concentração de OD	40
4.2.6.6.	Análise de pH	40
4.2.6.7.	Remoção de DQO	40
4.2.6.8.	Análise estatística.....	40
4.3.	EXPERIMENTO III – DIVERSIDADE GENÉTICA E PERFIL DOS ÁCIDOS GRAXOS DAS COMUNIDADES MICROBIOLÓGICAS	41
4.3.1.	Efluentes.....	41
4.3.2.	Aparato laboratorial	41
4.3.3.	Tratamentos realizados	43
4.3.4.	Coleta, periodicidade e análises realizadas	44
4.3.5.	Análise do perfil genético	44
4.3.5.1.	Extração do DNA total	44
4.3.5.2.	Reação de Polimerase em Cadeia (PCR).....	45
4.3.5.3.	Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante (DGGE)	46
4.3.5.4.	Análise da diversidade genética	46
4.3.6.	Análise do perfil de ácidos graxos.....	48
4.3.6.1.	Preparo dos reagentes	49
4.3.6.2.	Preparo das amostras	49
4.3.6.3.	Etapas.....	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1.	EXPERIMENTO I - COMPARAÇÃO E DESEMPENHO DOS SISTEMAS LAC E	
BRM.....		52
5.1.1.	Caracterização do efluente.....	52
5.1.2.	Condições operacionais dos sistemas	55
5.1.3.	Eficiências de tratamento	58
5.1.4.	Conclusões do Experimento I.....	65
5.2.	EXPERIMENTO II - DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE BRM SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA	66
5.2.1.	Condições operacionais do sistema.....	66
5.2.2.	Caracterização dos efluentes e eficiência de tratamento.....	68
5.2.3.	Análise microbiológica do lodo	77
5.2.4.	Conclusões do Experimento II.....	79
5.3.	EXPERIMENTO III - DIVERSIDADE GENÉTICA E PERFIL DOS ÁCIDOS GRAXOS DAS COMUNIDADES MICROBIOLÓGICAS.....	81
5.3.1.	Condições operacionais dos sistemas	81
5.3.2.	Análise de diversidade genética – DGGE	82
5.3.3.	Análise do perfil dos ácidos graxos – FAME	84
5.3.4.	Conclusões do Experimento III.....	85
5.4.	REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO NA MÁQUINA DE PAPEL.....	86

5.5. CONCLUSÃO FINAL	87
6. BIBLIOGRAFIA.....	88
ANEXO 1 – PLANILHAS DE DADOS DA FASE I.....	96
ANEXO 2 – PLANILHA DE DADOS DA FASE II	104
ANEXO 3 – TESTES ESTATÍSTICOS – ANÁLISE DE VARIÂNCIA FASE I	119
ANEXO 4 – TESTES ESTATÍSTICOS – TESTE TUKEY – FASE II	123
ANEXO 5 – TESTES ESTATÍSTICOS – ANÁLISE DE VARIÂNCIA FASE II	124
ANEXO 6 – TESTES ESTATÍSTICOS – TESTE TUKEY – FASE II	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.	Esquema das unidades de tratamento do sistema de lodos ativados convencional.....	8
Figura 3.2.	Diagrama esquemático de dois biorreatores a membranas. (A) Módulo integrado no reator. (B) Biorreator com um módulo de ultrafiltração externo (METCALF e EDDY, 2003).	19
Figura 3.3.	Esquema básico de funcionamento de uma membrana (MEMBRANE DIAGRAM, 2007).....	19
Figura 4.1.	Esquema de tratamento do efluente por lodos ativados convencional do Experimento I.	26
Figura 4.2.	Unidade laboratorial do sistema de lodos ativados convencional utilizado durante o Experimento I.	27
Figura 4.3.	Esquema de tratamento do efluente por biorreator a membranas do Experimento I.	27
Figura 4.4.	Módulos de membranas para ultrafiltração da Zenon®, modelo Zee Weed-1 (ZW-1), utilizados para a ultrafiltração do lodo biológico durante o tratamento com o biorreator a membranas.	28
Figura 4.5.	Esquema dos sistemas de tratamento do efluente composto por três biorreatores a membranas no Experimento II.	31
Figura 4.6.	Fotografia das plantas pilotos laboratoriais composta por três biorreatores a membranas nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C do Experimento II.	32
Figura 4.7.	Detalhes dos biorreatores a membranas para 35, 45 e 55 °C no Experimento II.	32
Figura 4.8.	Esquema dos sistemas de tratamento do efluente composto por dois biorreatores a membranas no Experimento III.	42
Figura 4.9.	Fotografia das plantas pilotos laboratoriais composta por dois biorreatores a membranas utilizadas durante o Experimento III.	43
Figura 5.1.	Valores de DQO no efluente bruto antes dos tratamentos biológicos com os sistemas de LAC e BRM.....	54
Figura 5.2.	Concentrações de SST no efluente bruto na entrada dos biorreatores biológicos dos sistemas LAC e BRM.....	55
Figura 5.3.	Comparação da Eficiência de remoção de DQO entre o BRM e LAC nas temperaturas de 35, 45 e 55°	58
Figura 5.4.	<i>DQO</i> no efluente tratado pelos sistemas de LAC e BRM nas temperaturas de 35°C (mesofílica), 45°C (termotolerante) e 55° (termofílica).	59
Figura 5.5.	Turbidez nos efluentes tratados, nas três temperaturas de tratamento (35, 45 e 55°C) para BRM e LAC.	60
Figura 5.6.	Fotomicrografias dos lodos utilizando safranina para evidenciar o crescimento disperso das células à temperatura de 55°C. (Microscopia de contraste de fase. Aumento 100x; barra= 500µm)	61
Figura 5.7.	Fotomicrografias dos lodos à temperatura de 35, 45 e 55°C, mostrando alterações nas espécies da microbiota do lodo com a mudança de	

	temperatura do meio. (Microscopia de contraste de fase. Aumento de 100x; barra= 500µm).....	62
Figura 5.8.	Remoção de alcalinidade pelos sistemas de tratamento por LAC e BRM para as três temperaturas de trabalho.	63
Figura 5.9.	Remoção de dureza pelos sistema de tratamento por LAC e BRM, para as três temperaturas de trabalho.	64
Figura 5.10.	Eficiência de remoção de <i>DQO</i> para as Etapas I, II e III, para as cargas de 2,57, 4,75 e 9,43 Kg <i>DQO</i> .m ⁻³ .dia ⁻¹ , para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C.	70
Figura 5.11.	<i>DQO</i> no efluente tratado para as Etapas I, II e III nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.....	72
Figura 5.12.	Concentração de <i>SST</i> nos BRM para as Etapas I, II e III, operando nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.	74
Figura 5.13.	Turbidez nos efluentes tratados para as Etapas I, II e III, tratando os efluentes nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, com BRM.	75
Figura 5.14.	Remoção de dureza da água branca para as Etapas I, II e III, tratando os efluentes nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C com BRM.	76
Figura 5.15.	Concentração de cor nos efluentes tratados pelo BRM, para as Etapas I, II e III, operando às temperaturas de 35, 45 e 55 °C.	77
Figura 5.16.	Fotomicrografias do lodo, apresentando as variações morfológicas e variações das espécies, relacionadas às etapas de tratamentos e às variações de temperatura. (Microscopia de contraste de fase. Aumento de 100x; barra= 500µm).	78
Figura 5.17.	Resultado do gel de DGGE. (A) imagem do gel sob luz UV, capturada e digitalizada pelo Eagle Eye (II Still Video System (Stratagene – Califórnia USA) e (B) Bandas identificadas e analisadas pelo programa Gel Pro Analyser® 3.1 (Media Cybernetics Inc., Maryland-USA).....	82
Figura 5.18.	Índice de Diversidade de Shannon-Weaver para as temperaturas de 35, 40, 45, 50 e 55 °C.....	84
Figura 5.19.	Cladograma que relaciona a composição da comunidade microbiana de acordo com programa Sherlock Analysis-MIDI.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Consumo específico de água para vários tipos de papéis	5
Tabela 3.2.	Características físico-químicas da água após clarificação e filtração capaz de atender as especificações da Technical Association Pulp and Paper Industry (TAPPI).....	6
Tabela 3.3.	Representação do espectro de filtração e sua respectiva faixa de pressão utilizada.	17
Tabela 3.4.	Valores típicos operacionais e dados das qualidades dos efluentes para biorreator a membranas.	18
Tabela 4.1.	Locais de coleta de amostra e análises, periodicidade e tipo de amostragem, realizados durante o Experimento I.....	29
Tabela 4.2.	Locais de análises, periodicidade e tipo de amostragem das análises realizadas durante o experimento da FASE II.....	33
Tabela 4.3.	Relações de alcalinidades.....	35
Tabela 4.4.	Análises e métodos utilizados	37
Tabela 4.5.	Fases dos tratamentos de acordo com o aumento da temperatura.	43
Tabela 4.6.	Seqüências de iniciadores universais usados para a amplificação de PCR fragmentos de 16rDNA.....	45
Tabela 5.1.	Caracterização do efluente bruto utilizado nos sistemas de tratamento de efluentes por LAC e BRM.....	53
Tabela 5.2.	Condições operacionais dos sistemas de LAC e BRM	57
Tabela 5.3.	Parâmetros operacionais dos sistemas BRM nas três etapas de tratamentos em três temperaturas (35, 45 e 55 °C).....	67
Tabela 5.4.	Caracterização do efluente bruto, tratado e eficiência de tratamento dos sistemas de tratamento BRM nas Etapas I, II e III.	69
Tabela 5.5.	Análise estatística das eficiências de remoções de <i>DQO</i> em função da temperatura. Médias seguidas de letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente; Tukey, $p=5\%$	70
Tabela 5.6.	Análise estatística das concentrações finais de <i>DQO</i> em decorrência da temperatura. Médias seguidas de letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente; Tukey, $p=5\%$	71
Tabela 5.7.	Análise estatística das concentrações finais de <i>DQO</i> para cada temperatura, em função da carga inicial. Médias seguidas das mesmas letras, na mesma linha, não diferem entre si estatisticamente; Tukey $p=5\%$	71
Tabela 5.8.	Análise estatística das concentrações de turbidez no efluente tratado, para cada etapa, em função da temperatura. Médias seguidas das mesmas letras, na mesma linha, não diferem entre si estatisticamente; Tukey $p=5\%$	75
Tabela 5.9.	Abundância das Unidades Taxonômicas Operacionais (UTOs) do gel de DGGE, nas diferentes temperaturas.	83

RESUMO

SOUSA, Claudio Arcanjo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2008. ***Tratamento termofílico de efluentes de máquina de papel utilizando biorreator a membranas.*** Orientador: Cláudio Mudado Silva. Co-Orientadores: Ann Honor Mounteer e Frederico Vieira Passos.

Fábricas de papel consomem elevadas quantidades de água nos seus processos industriais gerando, conseqüentemente, grande volume de efluentes. Aumentar o reuso de água é uma forma que as empresas encontram para reduzir o consumo de água nas fábricas de papel. A reutilização da água nem sempre é possível devido a sua qualidade, o que requer um tratamento prévio. Biorreatores a membranas constituem uma nova tecnologia de tratamento, ainda pouco utilizada em decorrência do desconhecimento técnico e científico para sua implementação. O presente estudo verificou a viabilidade técnica de utilização de biorreatores a membranas para o tratamento termofílico de efluentes de máquinas de papel. O estudo foi dividido em três experimentos. O objetivo principal do primeiro experimento foi comparar o desempenho de um sistema de tratamento de efluentes por Lodos Ativados Convencional (LAC) e um sistema de tratamento de efluentes por Biorreator a Membranas (BRM), cuja porosidade das membranas era de 0,02 μ m, para remover os contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água branca de uma máquina de papel para imprimir e escrever em três diferentes temperaturas: 35, 45 e 55 °C. Neste experimento foram utilizados dois sistemas laboratoriais de tratamento de efluentes composto de um LAC e um BRM. No experimento I, os estudos mostraram que o BRM foi mais eficiente do que o LAC para remover parte dos contaminantes presentes no efluente. As percentagens médias de remoção de *DQO* para o LAC foram 70, 78,1 e 76,7% e para o BRM foram 81,4, 81,9 e 78,7%, para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C, respectivamente. As concentrações de *SST* no efluente tratado no sistema LAC foram 39, 54 e 88 mg.L⁻¹ para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C. No BRM não foi detectado *SST* no efluente tratado. A turbidez do efluente tratado pelo LAC foi 16, 35 e 165 UNT para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C. No BRM não houve turbidez no efluente tratado. As concentrações de alcalinidade e de dureza no efluente tratado para o LAC foram inferiores às taxas obtidas pelo BRM. O objetivo principal do Experimento II foi comparar os desempenhos dos sistemas de tratamentos de efluentes por BRM em condições mesofílica (35 °C),

termotolerante (45°C) e termofílica (55°C). No Experimento II foi utilizado um sistema de BRM composto de três reatores, operando em paralelo, em três temperaturas diferentes. Este Experimento foi dividido em três etapas, sendo que, cada etapa foi utilizada uma carga diferente de *DQO*: Etapa I – 2,57 Kg.m⁻³.d⁻¹; Etapa II – 4,75 Kg.m⁻³.d⁻¹ e Etapa III – 9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹. Os resultados demonstraram que o aumento da temperatura ocasionou uma redução nas eficiências de remoção de *DQO*. As taxas de remoções de *DQO* na Etapa I, para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, foram 95,5, 94,2 e 91,9%, respectivamente. Para a Etapa II, as taxas foram 97,4, 95,6 e 95,0% para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente. Para a Etapa III, as taxas de remoções de *DQO* foram 95,6, 93,3 e 89,7% para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente. Em nenhum tratamento foi detectada concentrações de *SST* no efluente tratado. A turbidez nos efluentes tratados aumentou à medida que aumentou a temperatura dos tratamentos. As médias de turbidez dos efluentes tratados, para a Etapa I, foram 0,11, 0,24 e 1,13 UNT; na Etapa II foram 0,10, 0,16 e 1,01 UNT e na Etapa III foram 0,87, 2,00 e 4,34 UNT para as temperatura de 35, 45 e 55°C, respectivamente. A média das condutividades dos efluentes tratados foram 1812, 1937 e 2927µS.cm⁻¹ para as Etapas I, II e III, respectivamente. A cor nos efluentes tratados foi maior para os tratamentos realizados à temperatura de 55°C. As médias das concentrações de cor, para a Etapa I, foram 23, 23 e 102 mg.L⁻¹ Pt; na Etapa II foram 31, 36 e 127 e na Etapa III foram 46, 58 e 163 mg. L⁻¹ Pt, para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente. Quanto à concentração de dureza nos efluentes tratados, na Etapa I as médias foram 258, 203 e 160 mg.L⁻¹. Na Etapa II, as médias foram 439, 350 e 292 mg.L⁻¹ e na Etapa III, as médias foram 639, 565 e 495 mg.L⁻¹, para as temperaturas de 35, 45 e 55°C. Não foram encontradas bactérias filamentosas na temperatura de 55°C e a floculação foi deficiente. O Experimento III teve como principal objetivo avaliar a diversidade biológica dos microrganismos em dois BRMs aeróbios, nas condições mesofílica e termofílica. Este experimento verificou que o aumento da temperatura reduziu a diversidade e a riqueza dos microrganismos presentes no lodo. A partir de 45°C estabeleceu-se uma nova comunidade microbiana, diferente das comunidades presentes nos reatores à temperatura de 35°C.

ABSTRACT

SOUSA, Claudio Arcanjo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2008. ***Thermophilic treatment of paper machine effluent in a membrane bioreactor***. Adviser: Cláudio Mudado Silva. Co-Advisers: Ann Honor Mounter and Frederico Vieira Passos.

Paper mill industrial processes consume large quantities of water consequently leading to large mill effluent volumes. One way to reduce water consumption is by increasing water reuse in the paper mill. Direct water reuse is not always possible because of poor effluent quality and effluent treatment may be necessary to permit reuse. Membrane bioreactors are a new treatment technology that are little used, mainly due to the lack of scientific and technical knowledge of their implementation. The present study examined the technical viability of thermophilic treatment of paper machine effluents in a membrane bioreactor. The study was divided into three experiments. The main objective of the first experiment was to compare performance of laboratory-scale conventional activated sludge (CAS) and a membrane bioreactor (MBR) with 0,02 μm porosity membranes in treating printing and writing paper machine white water at 35, 45 and 55 $^{\circ}\text{C}$. Results showed that the MBR was more efficient than the CAS in removing part of the effluent contaminant load. Average percent removals of chemistry oxygen demand (COD) in the CAS were 70.0, 78.1 and 76.7% and in the MBR 81.4, 81.9 and 78.7% at temperatures of 35, 45 and 55 $^{\circ}\text{C}$, respectively. Treated effluent total suspended solids (TSS) values in the CAS were 39, 54 and 88 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ at 35, 45 and 55 $^{\circ}\text{C}$. No TSS were detected in the MBR treated effluent. Turbidities of effluents treated in the CAS were 16, 35 and 165 NTU at temperatures 35, 45 and 55 $^{\circ}\text{C}$. MBR treated effluent presented no turbidity. Alkalinity and hardness of effluent treated by CAS were lower than for effluent treated by the MBR. The main objective of Experiment II was to compare performance of MBR effluent treatment under mesophilic (35 $^{\circ}\text{C}$), thermotolerant (45 $^{\circ}\text{C}$) and thermophilic (55 $^{\circ}\text{C}$) conditions. In Experiment II an MBR system composed of three reactors operating in parallel at the three different temperatures were used. This experiment was divided into three stages, with different COD loads in each: Stage I – 2.57 $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$; Stage II – 4.75 $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ and Stage III – 9.43 $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$. The results showed that the increase in temperature led to reduction in COD removal efficiencies. Removals of COD in Stage I were 95.5,

94.2 and 91.9%, at temperatures of 35, 45 e 55°C, respectively. In Stage II, removal efficiencies were 97.4, 95.6 and 95.0% at 35, 45 and 55°C, respectively. In Stage II, removal efficiencies were 95.6, 93.3 and 89.7% at 35, 45 and 55°C, respectively. No TSS were detected in any of the treated effluents. Treated effluent turbidity increased with increased treatment temperature. Average turbidity of treated effluents were 0.11, 0.24 and 1.13 NTU in Stage I, 0.10, 0.16 and 1.01 NTU in Stage II and 0.87, 2.00 and 4.34 NTU in Stage III for treatment at 35, 45 e 55°C, respectively. Average conductivities of treated effluents were 1812, 1937 and 2927 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ for Stages I, II and III, respectively. Treated effluent color was greater for treatment at 55°C. Average color was 23, 23 and 102 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pt in Stage I, 31, 36 and 127 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pt in Stage II and 46, 58 and 163 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pt in Stage III for temperatures of 35, 45 and 55°C, respectively. Average hardness values in treated effluents were 258, 203 and 160 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in Stage I, 439, 350 and 292 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in Stage II and 639, 565 and 495 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in Stage III, for treatments at 35, 45 and 55°C. No filamentous bacteria were found at 55°C and flocculation was deficient. The main objective of Experiment III was to evaluate sludge microbial diversity in aerobic MBRs operating under mesophilic and thermophilic conditions. It was found that increased temperature reduced reactor sludge microbial diversity and richness. A new microbial community was established above 45°C that differed structurally from the community present in the MBR operated at 35°C.

1. INTRODUÇÃO

Fábricas de papel demandam grandes volumes de água nos seus processos e os volumes de efluentes gerados variam de acordo com o tipo de papel produzido, tipo de matéria-prima utilizada, equipamentos (fábricas mais velhas tendem a consumir mais água do que as mais novas), e a gestão ambiental adotada. Em geral, as fábricas consomem de 5 a 20 m³ de água fresca para cada tonelada de papel produzido, embora existam fábricas onde o consumo médio de água fresca pode chegar a 100 m³ por tonelada de papel produzido.

Na fabricação de papel, diversos aditivos são incorporados à polpa celulósica, tais como cargas minerais, agentes de colagem, agentes de retenção, corantes, auxiliares de drenagem e retenção, microbiocidas, anti-espumantes, inibidores de corrosão e outros. Estes aditivos têm como finalidade conferir características desejáveis ao papel, proporcionando ganhos nas qualidades físico-mecânicas e ópticas, dentre outros.

Parte dos aditivos é agregada ao papel e parte é carregada no efluente geral da máquina de papel, que é encaminhado para a estação de tratamento de efluentes. O efluente geral é comumente denominado de “água branca” e caracteriza-se pela elevada carga orgânica e inorgânica, a qual necessita ser removida por de um sistema de tratamento.

Restrições quanto à disponibilidade de água, o elevado custo de implantação das estações de tratamento de água, as limitações na capacidade de tratamento dos efluentes, as crescentes imposições ambientais legais e a necessidade de minimização dos custos de implantação e operação têm forçado diversas empresas a adotarem tecnologias que buscam reduzir e reutilizar a água no processo.

Captar, tratar e utilizar água no processo, depois tratar e descartar os efluentes nos cursos d'água tem sido a forma convencional de se gerenciar os recursos hídricos nas fábricas. Uma alternativa mais racional seria tratar os efluentes e reutilizá-los no processo, fechando, assim, os circuitos de água. No entanto, devido às exigências da qualidade de água nos processos industriais, aliadas às limitações dos tratamentos convencionais de efluentes, o reuso total da água branca não tem sido amplamente adotado.

Dentre as diversas formas de tratamento de efluentes de máquinas de papel, tem sido comum a adoção de sistema primário visando à remoção de sólidos suspensos seguido de um sistema biológico para remoção de matéria orgânica solúvel. Os tratamentos biológicos convencionais requerem temperaturas do efluente que estejam, preferencialmente, na faixa mesofílica (entre 20 e 40°C). Na medida em que se reutiliza a água no processo, a temperatura da água branca tende a elevar-se a valores superiores aos 40 °C, exigindo um resfriamento antes do tratamento biológico.

O tratamento da água branca por meio de sistemas biológicos termofílicos teria como vantagens a possibilidade de tratar os efluentes nas mesmas temperaturas em que são gerados, sem a necessidade de equipamentos de resfriamentos e a vantagem de alcançar eficiências satisfatórias na remoção dos contaminantes. No entanto, processos biológicos termofílicos, utilizando sistemas de Lodos Ativados Convencionais, têm a sua aplicação limitada devido, sobretudo, à deficiência na formação dos flocos biológicos, causando uma dispersão da massa microbiana, gerando efluentes com alta concentração de sólido e elevada concentração de turbidez. Nesse sentido, a utilização deste sistema se torna inviável para tratar os efluentes e recirculá-los no processo.

Atualmente, existem processos em escala comercial onde se associam reatores biológicos aos sistemas de filtração por membranas para separação do lodo; são denominados Biorreatores a Membranas (BRM). O princípio de funcionamento do sistema baseia-se na separação das fases líquida e sólida através de uma diferença de pressão, aplicada a uma estrutura porosa que possui poros de diâmetro médio da ordem de 0,01 a 1 µm (ultra e microfiltração). Partículas maiores do que os poros são retidas enquanto o efluente tratado, isento de sólidos, passa através da membrana.

Existe ainda uma lacuna na literatura a respeito da aplicação de BRM no tratamento de água branca em condições termofílicas e a possibilidade de reuso desta água.

No presente trabalho estudou-se a aplicação de tratamentos biológicos termofílicos de água branca de fábrica de papel utilizando Biorreatores a Membranas.

2. OBJETIVOS

Os estudos foram conduzidos em três Experimentos e teve os seguintes objetivos para cada um deles:

- * Experimento I. Comparar o desempenho entre um sistema de tratamento de efluentes por Lodos Ativados Convencional (LAC) e um sistema de tratamento de efluentes por Biorreator a Membranas (BRM) para remover os compostos orgânicos da água branca de uma máquina de papel nas temperaturas de 35, 45 e 55°C.
- * Experimento II. Comparar o desempenho de um sistema de tratamento de efluentes por BRM em condições mesofílica (35°C), termotolerante (45°C) e termofílica (55°C); determinar as taxas de crescimento e a produção de lodo dos sistemas de BRM nas três temperaturas e avaliar a diversidade microbiológica dos sistemas.
- * Experimento III. Avaliar a diversidade biológica dos microrganismos em dois BRMs aeróbios, nas condições mesofílica e termofílica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Efluentes de Fábricas de Papel

Comparadas com outras indústrias, as fábricas de papel estão dentre as que mais utilizam grandes volumes de água fresca (água captada de rio e ou lagoas). A água fresca é apresentada diversas utilizações na fábrica de papel tais como transporte e dispersão das matérias primas, formação da folha de papel, limpeza, resfriamento, selagem e lubrificação (WÖSTER e COSTA, 1997). Desde a invenção do papel, a água é utilizada para a diluição da massa fibrosa, e independentemente do tamanho ou do tipo de papel produzido a água é o principal insumo em uma planta de papel e celulose (SANTIAGO, 2002).

Em vista da crescente modernização dos sistemas industriais de produção e aliadas às crescentes exigências ambientais, novas tecnologias vêm facilitando a purificação e o retorno de água para o processo. Por isso, o consumo específico de água tem sido reduzido, consideravelmente, nos últimos anos, passando de 25 a 40 m³.t⁻¹ para 7 a 15 m³.t⁻¹ de papel (MARINO et al., 2000; FOELKEL, 2007).

O volume de água fresca utilizada nos processos e o volume de efluentes descartados pelas fábricas de papel dependem, principalmente, do tipo de papel produzido (MEHTA *et al.*, 1996). Por exemplo, utiliza-se dez vezes mais o volume de água em uma fábrica integrada de celulose Kraft branqueada e de papel imprensa do que normalmente é utilizado em uma fábrica de linerboard, cuja produção baseia-se somente em OCC (Old Corrugated Containers) (WÖSTER e COSTA, 1997). Este volume de água consumida também varia em função dos equipamentos utilizados, ou seja, fábricas mais velhas geralmente utilizam mais água fresca do que fábricas mais modernas. Existem fábricas mais antigas que sequer conhecem ou têm dimensão do volume de água fresca consumida. Os volumes típicos de consumo de água fresca para os diversos tipos de papéis estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Consumo específico de água para vários tipos de papéis

Tipo de Papel	Gramatura, g.m ⁻²	Consumo Específico, m ³ .t ⁻¹	
		Convencional	Projeção Futura
Imprimir e escrever	36 a 120	14 a 20	6 a 8
Absorventes	12 a 40	35 a 50	13 a 15
Kraft e Cartão	127 a 450	15 a 20	2 a 5
Papelão Laminado	500 a 1150	10 a 15	4 a 7
Papéis finos	20 a 90	50 a 60	20 a 22
LWC ¹	38 a 90	40 a 50	13 a 15

¹revestido e de baixa gramatura

Fonte: ROMERO (2003).

Os efluentes da máquina de papel, originados da formação e da prensagem da folha, denominados de “água branca”, contribuem significativamente para o aumento da demanda química de oxigênio (*DQO*), devido à presença de fibras celulósicas, resíduos de cola, agentes branqueadores, amidos, sais e outros químicos utilizados no processo (BARROS *et al.*, 2002). A água branca possui elevadas concentrações de sólidos suspensos totais (*SST*), cujos valores variam de 100 a 20.000 mg.L⁻¹, em função dos equipamentos recuperadores de fibras ,utilizados no processo, bem como da forma de gerenciamento da água (BARROS *et al.*, 2002).

A recuperação de efluentes em um processo de fabricação de papel tem a vantagem de recuperar, além da água branca, as fibras que retornam para os tanques de estocagem. A recuperação de 5 a 10% de fibras boas, carreadas na água branca e descartadas, resulta em ganhos econômicos e em acréscimo na qualidade do produto acabado (BOLTON, 2000).

Devido à baixa toxicidade da água branca, bem como a elevada concentração de material orgânico, o tratamento biológico da água branca torna-se atrativo. Segundo SPRINGER (1993) e SANTIAGO (2002), os padrões físico-químicos mínimos, com os limites máximos permissíveis para a água de processo, para os diversos tipos de papéis estão apresentados na Tabela 3.2. Esses parâmetros são úteis na definição dos sistemas de recuperação de água para os diversos processos.

Tabela 3.2. Características físico-químicas da água após clarificação e filtração capaz de atender as especificações da Technical Association Pulp and Paper Industry (TAPPI).

Substância – Max: mg/L	Fibra de papel	Papel Kraft		Papel de Pasta Mecânica	Celulose Processo Sulfito
		Branqueado	Não Branqueado		
Turbidez - SiO ₂	10	40	100	50	25
Cor	5	25	100	30	5
Dureza Total como CaCO ₃	100	100	200	200	100
Dureza Cálcio como CaCO ₃	50				50
Alcalinidade – M como CaCO ₃	75	75	150	150	75
Ferro como Fe ⁺	0,1	0,2	1	0,3	0,1
Manganês como Mn	0,05	0,1	0,5	0	0,05
Cloro residual como Cl ₂	2				
Sílica (Solúvel) como SiO ₂	20	50	100	50	20
Sólidos Totais Dissolvidos	200	300	500	500	250
CO ₂ livre	10	10	10	10	10
Cloretos como Cl		200	200	75	75
Dureza Magnésio como CaCO ₃					50

Fonte: Extraída e adaptada de SPRINGER, (1993) e SANTIAGO, (2002)

ROMERO (2003) caracteriza os diversos tipos de água utilizados dentro de uma fábrica de papel como: a) Água fresca – água coletada nos rios e ou lagos. É tratada posteriormente, ficando livre de contaminantes e utilizada diretamente no processo. Não contém fibras e sólidos totais dissolvidos ou em suspensão, apresenta valores de CaCO₃ que variam de 30 a 150 mg.L⁻¹, com temperatura máxima de 30 °C. b) Água fresca quente – semelhante à água fresca, porém a sua temperatura é superior aos 30 °C. c) Água branca – água do desaguamento de máquina de papel, com teores de fibras entre 700 a 4.000 mg.L⁻¹; sua temperatura varia entre 40 e 50 °C, apresenta elevada concentração de produtos químicos (cola, carga mineral, amido e outros). d) Água clarificada – água de retorno da máquina de papel que foi submetida a algum processo para remoção dos sólidos suspensos. Apresenta concentração de SST, que varia de 100 a 700 mg.L⁻¹. e) Água superclara – água clarificada com tratamento adicional para remover os sólidos; a concentração de sólidos encontrada nela geralmente é inferior a 50 mg.L⁻¹ e sua temperatura varia de 30 a 40 °C.

As principais utilizações de água por tipologia, descritas por COLDICOTT (1986) e por BARTON *et al.* (1996) são: a) Água fresca – utilizada em sistemas para troca térmica, ou seja, nos condensadores de calor, cilindros resfriadores e enroladeiras, nos sistema de ar condicionado, chuveiros para limpeza química dos feltros e telas, gaxetas de bombas, nas bombas de vácuo e sistema de calor, refrigeração da prensa de colagem e outros. O destino destas águas geralmente são os sistemas de água quente ou morna. b) Água quente – as águas quentes são provenientes dos trocadores de calor e, por serem aquecidas, podem ser utilizadas em diversos setores tais como chuveiros das telas formadoras, feltros e telas secadoras, na preparação de aditivos (amidos, agentes de retenção, corantes, sais e tintas), nas limpezas de equipamentos e piso. Devido ao grande consumo dos chuveiros, existem estudos para substituir a água quente ou fresca por água de reaproveitamento (água clara ou superclara). O destino desta água geralmente é a estação de tratamento de efluentes (ETE). c) Água branca – Geralmente são utilizadas para diluições de massa no *hidropulper*, no controle de consistência e como água de diluição no sistema de preparação de massa. Para que a água branca possa ser reutilizada, os sólidos suspensos são removidos anteriormente. d) Água clara e superclara – Geralmente utilizam-se engrossadores, peneiras e filtros para a separação das fibras da água branca, produzindo,então, a chamada “água clara” ou “superclara”. A concentração de finos nesta água tem de ser bastante reduzida a fim de evitar entupimentos nos equipamentos (chuveiros e bicos lavadores de telas). Devido à falta de padronização da qualidade desta água, muitas vezes seu uso é limitado. Uma vez livre de sólidos, esta água pode ser utilizada em diversos lugares na fábrica, tais como: chuveiros, rolos que retornam à tela, caixa de entrada e aplicação de produtos químicos.

Em muitos casos pode-se elevar o nível da qualidade da água adotando-se tecnologias mais complexas como a micro e ultrafiltração e a evaporação-cristalização. No entanto, devido ao custo elevado destas tecnologias, ainda são pouco utilizadas.

3.2. Lodos Ativados

O O sistema de tratamento biológico mais utilizado no mundo é o sistema de Lodos Ativados. Este sistema foi criado em 1914 por Arden e Lockett, sendo

amplamente utilizado para o tratamento que requeira elevada qualidade do efluente tratado e a restrição dos requisitos de área. No entanto, o sistema de Lodos Ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maiores consumos de energia elétrica (METCALF e EDDY, 2003; von SPERLING, 2005).

O sistema de Lodos Ativados consiste basicamente de um reator biológico aerado, comumente denominado “tanque de aeração”, seguido por um decantador secundário e uma linha de recirculação do lodo decantado para o reator biológico, contribuindo para manter elevada a concentração de sólidos suspensos totais no reator biológico. Um esquema do sistema de lodos ativados é apresentado na Figura 3.1.

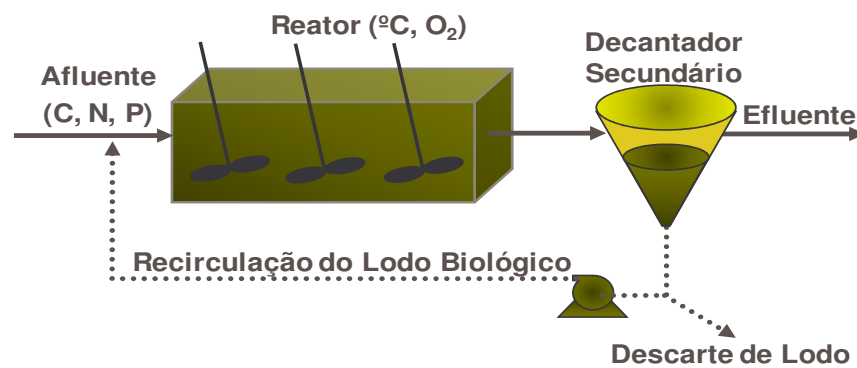


Figura 3.1. Esquema das unidades de tratamento do sistema de lodos ativados convencional.

No reator biológico a água residuária é estabilizada biologicamente por uma comunidade microbiana, constituindo-se basicamente de bactérias heterotróficas, fungos, protozoários e alguns metazoários. Esta biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver. Durante o desenvolvimento desta biomassa, há o fenômeno de floculação, formando o floculo biológico insolúvel (von SPERLING, 2005). Segundo JENKINS *et al.* (2003), este floculo insolúvel é formado de dois tipos de componentes: os componentes biológicos e os componentes não biológicos composto por partículas orgânicas e inorgânicas. A esses floculos biológicos dá-se o nome de “Lodos Ativados” (von SPERLING, 2005). A decantação do lodo é possível, graças à formação dos floculos pelo crescimento de bactérias heterotróficas, principalmente dos gêneros

Zooglea, *Achromobacterium*, *Alcaligenes*, *Citromonas*, *Flavobacterium* e *Pseudomonas*; além de fungos, protozoários e matéria inerte em suspensão. Estas bactérias degradam a matéria orgânica presente no efluente, obtendo energia para reprodução e síntese de exopolímeros, o que favorece a floculação (JENKINS *et al.*, 2003).

O processo aeróbio de tratamento de efluentes de águas residuárias consiste na degradação biológica de substâncias orgânicas complexas em presença de oxigênio livre, o qual é o fator limitante para a estabilização. (DE CRISTO, 2004). O suprimento de oxigênio para o sistema é fornecido pela injeção de oxigênio no meio, através de aeradores superficiais, sopradores de ar com difusores submersos e ou pela injeção de oxigênio puro (METCALF e EDDY, 2003). A decomposição aeróbia da matéria orgânica presente nos efluentes decorre de reações de síntese e de oxidação de matéria orgânica, realizadas, principalmente, pelas bactérias presentes nos reatores aeróbios (GRADY *et al.*, 1999). Nesses processos, parte da matéria orgânica é oxidada para liberar energia para os processos vitais de locomoção e de síntese de novas células. Quando a matéria orgânica torna-se escassa, as células passam a metabolizar suas reservas (respiração endógena). Os produtos finais da oxidação podem ser compostos orgânicos de oxidação incompleta, ou de oxidação completa, liberando CO₂ e H₂O (LEHNINGER, 2002; von SPERLING, 2005; GASPAR, 2003; JENKINS *et al.*, 2003).

No decantador secundário ocorre a separação dos flocos biológicos do efluente tratado pela ação da gravidade. Parte do lodo sedimentado no decantador é descartada a fim de controlar a eficiência do sistema; outra parte é recirculada para o biorreator, de forma a manter a concentração de microrganismos elevada, aumentando as taxas de depuração do efluente. A qualidade final do efluente tratado depende, sobretudo, da perfeita separação da fase sólida (lodo biológico) da fase líquida (efluente tratado) (JENKINS *et al.*, 2003).

A floculação é resultado do metabolismo bacteriano. Neste processo, as bactérias tendem a flocularem-se quando as concentrações de matéria orgânica se encontram abaixo do nível necessário para sustentar um crescimento logarítmico. Nesse sentido, a floculação ocorrerá, principalmente, na condição de déficit alimentar e nutricional, ou seja, quando a disponibilidade de alimento for

limitada. Tal fenômeno pode ser explicado pela maior produção de exopolissacarídeo (EPS) nesta condição.

Segundo SUTHERLAND (2001), não existem razões conclusivas sobre a produção de EPS pelas células. Entretanto, algumas suposições sobre a necessidade fisiológica dos EPS para a célula são bem aceitas. De acordo com PHILIPPIS e VICENZINI (1998), os EPS servem de barreira entre a célula e o meio ambiente. Eles cumprem o papel de protetor das células contra dessecação, agentes antibacterianos (antibióticos, anticorpos, bacteriocinas, fagos, células fagocíticas), predação por protozoários e por outros organismos superiores. Dessa forma, o aumento na produção de EPS pode ser uma resposta a algum tipo de estresse que a célula esteja submetida (SUTHERLAND, 2001), o que explica melhores floculações quando a disponibilidade de alimento é baixa. Segundo JENKINS *et al.* (2003) e von SPERLING (2005), altas taxas de alimento disponível em relação à massa celular, ou seja, alta relação A/M beneficiam o crescimento disperso em detrimento à floculação.

SUTHERLAND (2001) verificou que a síntese de EPS não é somente em função da taxa de alimento disponível em relação à concentração de massa celular, mas dependente da disponibilidade de substrato de carbono (dentro e fora da célula) e, principalmente, do balanço entre carbono e nutrientes. O excesso de carbono disponível e a limitação de nutrientes (nitrogênio, potássio e fosfato) promoverá a síntese de EPS.

SPONZA (2002) avaliou a produção de EPS em dois estágios fisiológicos de crescimento da célula em estado estacionário e não estacionário. Foram utilizados cinco efluentes diferentes a fim de avaliar a composição e a produção desses compostos. Variaram-se as condições ambientais: presença e ausência de oxigênio, deficiência alimentar e sobrecarga, e deficiência de nutrientes. Verificou-se que a proporção entre os principais componentes do EPS foi diferente para cada tipo de efluente, ou seja, a qualidade do efluente influencia nas características do EPS. As concentrações de proteínas, DNA e carboidratos aumentaram quando as concentrações de OD estavam entre 0,5 a 2 mg.L⁻¹, mas caíram quando a concentração de OD foi reduzida para 0,1 mg.L⁻¹. Quanto ao efeito dos nutrientes, foi verificada que as deficiências de nitrogênio não foram tão relevantes para o acréscimo na produção de EPS quanto a redução de fósforo,

que proporcionou um aumento nos níveis de proteínas e carboidratos, aumentando a sedimentabilidade do lodo.

Existem dois grupos principais de bactérias considerando-se a formação do floco, as bactérias formadoras de flocos e as bactérias filamentosas. Os principais problemas detectados em sistemas de lodos ativados estão relacionados à baixa sedimentabilidade devido ao excesso de bactérias filamentosas no lodo. O equilíbrio entre estes dois grupos favorece a formação de flocos, os quais se sedimentarão, sem problemas, no decantador, separando o lodo do efluente tratado. De acordo com JENKINS *et al.* (2003), quase toda a má sedimentação do lodo no decantador secundário, por intumescimento, é resultado do crescimento desbalanceado devido a vinte espécies de bactérias filamentosas, no máximo.

Estes problemas de equilíbrio estão relacionados aos diversos fatores; entre eles: substrato facilmente biodegradáveis (como carboidratos simples, ácidos graxos voláteis de cadeia curta), baixa relação A/M, deficiência de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, deficiência de aeração, variação de temperatura, baixo pH e outros (JENKINS *et al.*, 2003).

3.3. Tratamento Termofílico

Embora pesquisas com tratamento biológico termofílico datem da década de 1950, poucos sistemas têm sido implementados em grande escala, mesmo que os tratamentos aeróbios termofílicos ofereçam diversos benefícios. As principais características físicas, químicas e biológicas dos sistemas termofílicos são bastante diferentes dos sistemas de Lodos Ativados Convencional, atualmente conhecidos (LAPARA e ALLEMAN, 1999; LAPARA *et al.*, 2001).

A temperatura é um dos fatores ambientais mais importantes, responsável pelo crescimento e pela sobrevivência dos microrganismos. A temperatura interfere em dois aspectos no metabolismo microbiano. Existe uma faixa onde o aumento da temperatura causa um aumento na velocidade de reações enzimáticas, favorecendo o crescimento microbiano. Acima de certo limite, o aumento da temperatura poderá acarretar em morte celular (MADIGAN *et al.*, 2004).

BROCK, (1997) definiu que os microrganismos termofílicos são aqueles que crescem tendo como temperaturas ótimas valores entre 55-60°C. Para o tratamento biológico de efluentes, no entanto, a terminologia comum geralmente

inclui alguns processos realizados à temperatura de 45°C ou como sendo mais termofílicos. Esta definição distingue estes processos de alta temperatura dos sistemas de transição como digestores anaeróbios, que operam entre os 35 e 40°C (LAPARA e ALLEMAN, 1999).

Os microrganismos termofílicos possuem temperaturas ótimas de crescimento entre 45 e 80°C e são, naturalmente, encontrados em fontes termais e outros ambientes de alta temperatura. Em geral, há uma forte correlação entre a termofilia do organismo e a termoestabilidade de suas proteínas (intra e extracelulares). Em geral, as enzimas de microrganismos termofílicos são usualmente moléculas mais termoestáveis do que as proteínas presentes em mesofílicos. Essa termoestabilidade é gerada por um maior número de ligações iônicas entre os aminoácidos e originada pelo denso empacotamento das proteínas. Certos solutos podem ser sintetizados para auxiliar a estabilização protéica como o di-inositol fosfato e diglicerol fosfato (MADIGAN *et al.*, 2004).

Os processos industriais requerem enzimas funcionais que operem em temperaturas superiores aos 70°C, por isso, há um grande interesse comercial na busca desses novos catalisadores, que, necessariamente, deverão ser fornecidos por microrganismos termofílicos (ANDRADE *et al.*, 1999). Além da termoestabilidade das proteínas celulares, microrganismos termofílicos possuem a membrana celular com uma composição diferenciada. Na membrana celular desses organismos há uma maior presença de lipídios, ricos em ácidos graxos saturados, que estabilizam e tornam a membrana funcional em altas temperaturas (MADIGAN *et al.*, 2004).

A biologia dos reatores termofílicos aeróbios difere daquela dos Lodos Ativados Convencionais, pois bactérias nitrificantes, bactérias formadoras de flocos, protozoários e outras formas de vida não estão presentes. As razões pelas quais as bactérias termofílicas formam discretos flocos permanecem pouco elucidadas. Os fatores contribuintes podem incluir: a ausência de espécies formadoras de flocos (*Zooglea ramigera*); ausência de condições físico-químicas que conduzem à formação dos flocos; condições físico-químicas que inibam a agregação e condições impróprias à seleção favorável de formadores de floco (especialmente quando protozoários não estão presentes) (LAPARA e ALLEMAN, 1999). ZITA *et al.*(1997) citam que a baixa capacidade de floculação, sob condições termofílicas, ocorre porque altas temperaturas reduzem a tensão

superficial líquida, ocasionando um enfraquecimento da capacidade de formação de flocos biológicos.

No processo de tratamento aeróbio termofílico, a capacidade de remover compostos orgânicos demonstra que os organismos dominantes são aeróbios ou anaeróbios facultativos heterotróficos. Dos microorganismos termofílicos já descritos, somente certas espécies de *Bacillus* e *Thermus* podem proliferar nestes reatores. *Bacillus spp.* termofílicos constituem grupo heterogêneo que têm sido isolado de áreas termais com fontes quentes e profundas fendas oceânicas, bem como fontes não termais como solos, compostos, águas de superfície, naturais ou não. (SHARP *et al.*, 1992). A distribuição de *Thermus spp.* é consideravelmente menos freqüente na natureza. Estas bactérias são quase exclusivamente encontradas em fontes geotermiais e fendas oceânicas, embora elas já tenham sido encontradas em aquecedores domésticos de água e montes de compostagem (LAPARA e ALLEMAN, 1999).

LAPARA e ALLEMAN (1999) citam que RUDOLFS e AMBERG (1953) foram os precursores do estudo com os sistemas termofílicos e demonstraram coletivamente três características comuns para os sistemas estudados: (1) apresentam altas taxas de biodegradação; (2) baixa concentração de oxigênio devido à menor solubilidade e às elevadas taxas de biodegradação; (3) floculação deficiente e dificuldade de sedimentação dos microorganismos. A inativação rápida de microorganismos patogênicos e as baixas taxas de geração de lodo são também vantagens dos sistemas termofílicos. Elevados índices de biodegradação reduzem o tempo de detenção de tratamento e também o custo capital por facilitar a construção das estações. Além disso, em caso de distúrbios, os altos índices de biodegradação podem permitir estabilidade e recuperação do processo em menor tempo, se comparado aos sistemas mesofílicos (ROZICH e COLVIN, 1997; LAPARA *et al.*, 2001). Outra grande vantagem dos sistemas termofílicos em relação aos sistemas mesofílicos é o menor gasto em energia, pois não há necessidade resfriar-se o efluente industrial ao sair da fábrica, antes que entre na estação de tratamento.

As desvantagens dos processos aeróbios termofílicos são: baixa floculação bacteriana e problemas de entupimento nas tubulações, ocasionados pela precipitação e deposição de sais de cálcio, aumento da corrosão, pelo desgaste com o calor e a depreciação dos equipamentos, ocasionada por maiores

temperaturas. Além disso, a baixa geração de lodo dos processos aeróbios termofílicos faz com que haja maior requerimento de oxigênio do que processos mesófilos análogos. Mais substrato é convertido em CO₂ e H₂O do que em massa celular. Estima-se que este requerimento de oxigênio seja 14% maior do que o necessário aos processos aeróbios convencionais (Sürücü *et al.*, 1976 citado por LAPARA e ALLEMAN, 1999). Processos de tratamento aeróbios termofílicos quase sempre apresentam pobres características de sedimentabilidade, resultado de um crescimento de microrganismos dispersos. Conseqüentemente, a separação de biomassa torna-se extremamente dificultada e freqüentemente limita a eficiência do tratamento em sistemas termofílicos (LAPARA e ALLEMAN, 1999). Segundo LAPARA e ALLEMAN (1999), apesar de diversos pesquisadores terem vislumbrado o tratamento termofílico como uma melhor alternativa para o tratamento de efluentes, nenhum deles obteve êxito em uma adequada floculação, restringindo sua utilização na prática.

GEHM (1956), citado por LAPARA e ALLEMAN (1999), realizou durante três meses consecutivos um estudo-piloto para o tratamento do efluente de uma indústria de celulose Kraft à temperatura entre 48 e 50 °C. Operando em faixas de pH entre 9,5 a 9,8, a remoção da *DQO* foi similar à dos experimentos com baixas temperaturas (30-38 °C). Um fato observado neste experimento foi que, a esta temperatura, não havia concentrações de oxigênio dissolvido disponível, o que não influenciou negativamente no desempenho do sistema.

Apesar de ROZICH e COLVIN (1997) e LAPARA *et al.* (2001) afirmarem que o tratamento termofílico apresenta maiores índices de remoção de matéria orgânica, por causa da maior capacidade metabólica dos microrganismos termofílicos, apresentando, conseqüentemente, uma menor geração de lodo biológico, algumas controvérsias têm sido reportadas. Em alguns estudos comparativos de processos aeróbios, sob diferentes temperaturas, indicam que pode ocorrer um aumento na remoção de matéria orgânica (COUILLARD e ZHU, 1993; BARR *et al.*, 1996; LIM., 2001) como também uma queda (TRIPATHI e ALLEN, 1999; LAPARA *et al.*, 2001; VOGELAAR *et al.*, 2002), fatos explicados pela redução na diversidade da comunidade microbiana em altas temperaturas bem como pelo arraste de sólidos no efluente tratado (TRIPATHI e ALLEN, 1999).

Pouco se sabe sobre o estudo da comunidade microbiana por causa da dificuldade em se isolar estes microrganismos e cultivá-los fora do habitat natural.

De acordo com TORSVIK *et al.* (1990), menos de 10% das bactérias enumeradas pela técnica de contagem microscópica direta, numa determinada amostra, poderia ser cultivada. No entanto, com o advento das técnicas moleculares modernas de identificação, é possível identificar determinadas espécies sem necessariamente cultivá-las. Além disso, o avanço no desenvolvimento de métodos moleculares de identificação tem permitido uma melhor sensibilidade em relação aos métodos convencionais de isolamento no estudo da ecologia e da diversidade dos microrganismos presente nos sistemas de tratamento biológico. A amplificação de regiões conservadas do DNA ribossomal, gel de eletroforese com gradiente desnaturante (DGGE), análises de restrição do DNA ribossomal marcado terminalmente (TRFLP) e hibridização *in situ* com sondas fluorescentes (FISH), como também análises de perfil de ácidos graxos através da técnica dos ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) têm permitido um estudo da biodiversidade microbiana, sem necessitar de culturas isoladas dos microrganismos (NUBEL *et al.*, 1999; TESKE *et al.*, 1996; WERKER *et al.*, 2003; SANS e KÖCHLING, 2007).

De acordo com SANS e KÖCHLING (2007), a técnica de DGGE é utilizada preferencialmente quando se deseja monitorar as mudanças dinâmicas em uma determinada comunidade microbiana. LAPARA *et al.* (2000) utilizaram a técnica do DGGE para analisar a diversidade biológica entre dois sistemas de tratamentos de efluentes de uma indústria farmacêutica nas condições mesofílica e termofílica. SILVEY *et al.* (2000) analisaram as mudanças nas comunidades bacterianas em um digestor anaeróbio, tratando resíduos sólidos urbanos, utilizando a DGGE. UENO *et al.* (2001) adotaram a DGGE para estudar as mudanças nas comunidades bacterianas em um reator aeróbio de mistura completa devido às alterações nas taxas de diluições. PEREIRA *et al.* (2002), estudando um reator de leito de lodo granular expandido, verificaram as variações nas comunidades microbianas em diferentes paredes do leito de lodo, como também as mudanças ao longo do tempo. ROEST *et al.* (2005) monitoraram populações microbianas em reatores UASB para o tratamento de efluentes de fábricas de papel, durante três anos. Com a combinação de diferentes técnicas, os autores foram capazes de descrever precisamente os componentes biológicos do processo utilizando a técnica de DGGE.

A análise do perfil de ácidos graxos é uma importante ferramenta na caracterização de comunidades microbianas de sistemas de tratamento biológico pois, além ser utilizada para avaliar diversidade microbiana em sistemas, pode ser uma ferramenta para correlacionar a cinética de crescimento microbiano e a eficiência de remoção de matéria orgânica de um sistema. Através do perfil de ácidos graxos de uma amostra de lodo pode-se avaliar em que condições fisiológicas um sistema biológico de tratamento está operando (WERKER *et al.*, 2003).

3.4. Biorreator de Membranas

Membranas podem ser definidas como sendo uma barreira, onde diferentes componentes são separados pelo seu tamanho ou por diferença de composição química. A separação por membrana é baseada no princípio onde uma mistura de compostos pode ser parcialmente fracionada pela sua passagem, ou não, através de uma estrutura de poros, na qual tende a retardar a passagem de um composto e permitir a passagem de outro, sendo o transporte realizado pela diferença de pressão, de concentração ou de temperatura (GLUTEK *et al.*, 1985; ZAIDI *et al.*, 1991).

As membranas podem possuir diferentes propriedades físicas ou químicas, sendo classificadas de acordo com sua natureza e morfologia. De acordo com a sua natureza, as membranas podem ser classificadas como sintéticas ou biológicas, sendo as membranas biológicas essenciais para a manutenção da integridade física das células, enquanto que as membranas sintéticas são fabricadas e podem ser de natureza orgânica ou inorgânica (MULDER, 1991).

As membranas inorgânicas são geralmente produzidas por três tipos de materiais: cerâmica, vidro ou componentes metálicos, apresentando um tempo de vida útil normalmente maior, em relação às membranas poliméricas, além de apresentarem uma alta estabilidade térmica (MULDER, 1991).

As membranas orgânicas ou poliméricas são geralmente produzidas por polímeros, os quais são compostos de alto peso molecular, constituídos de várias unidades básicas denominadas “monômeros”. Além disso, as membranas orgânicas podem também ser divididas em membranas porosas e não-porosas, sendo classificadas normalmente pelo tamanho de seus poros.

Os processos de membranas são tipicamente classificados de acordo com os tamanhos dos poros: a) microfiltração - tamanho do poro varia de 0,1 a 10 μm ; b) ultrafiltração - o poro varia de 0,02 a 0,1 μm ; c) nanofiltração - o tamanho dos poros varia de 0,001 a 0,01 μm , com um ponto de corte de 500 a 20.000 Dalton; d) osmose reversa - o ponto de corte é menor do que 500 Dalton, o tamanho dos poros varia de 0,0001 a 0,001 μm (SILVA, 1999; METCALF e EDDY, 2003). A Tabela 3.3 apresenta um resumo da classificação das membranas. A dimensão dos poros determina a seletividade da membrana, embora a eficiência da separação não dependa somente das dimensões dos poros, mas também da temperatura, pressão, velocidade e concentração do fluido na superfície da membrana. O pH pode ser também um importante parâmetro da filtração (MULDER, 1991).

Tabela 3.3. Representação do espectro de filtração e sua respectiva faixa de pressão utilizada.

Espectro	Tamanho do poro (μm)	Peso molecular (Daltons)	Diferença de Pressão (KPa)
Microfiltração	0,1 – 10	–	70 – 350
Ultrafiltração	0,002 – 0,1	–	170 – 850
Nanofiltração	–	500 – 20.000	500 – 1500
Osmose inversa	–	< 500	3500 – 5000

Fonte: MULDER (1991)

O Biorreator a Membranas (BRM) é uma variante do processo de lodos ativados, onde o decantador secundário é substituído por um processo de separação por membranas de microfiltração (MF) e ou ultrafiltração (UF) (MANEM *et al.*, citados por HONG *et al.*, 2002; SHIM *et al.*, 2002; METCALF e EDDY, 2003). Recentemente esta tecnologia tem ganhado popularidade como uma alternativa avançada para o tratamento de efluentes (HONG *et al.*, 2002).

A alimentação do sistema ocorre de forma análoga ao sistema de lodos ativados, e a retirada do efluente tratado ocorre através da aplicação de uma pressão negativa (vácuo), comumente aplicado nos sistemas onde o módulo de membrana fica submerso no biorreator (Figura 3.2 A) ou por meio de pressão positiva, em que geralmente o módulo fica externo ao biorreator (Figura 3.2 B).

A Tabela 3.4 apresenta valores típicos operacionais e os dados das qualidades dos efluentes para um biorreator a membranas.

Tabela 3.4. Valores típicos operacionais e dados das qualidades dos efluentes para biorreator a membranas.

Parâmetro	Unidade	Faixa
Operacionais		
Carga de DQO	$\text{Kg.m}^{-3}.\text{d.}^{-1}$	1,2 - 3,2
SST	mg.L^{-1}	5.000 - 20.000
SSV	mg.L^{-1}	4.000 - 16.000
A/M	$\text{g COD.gSSV}^{-1}.\text{d}^{-1}$	0,1 - 0,4
TDH	H	4 - 6
Fluxo	$\text{L.m}^{-2}.\text{d}$	600 - 1100
Idade do Lodo	Dias	5 - 20
Vácuo Aplicado	KPa	4 - 35
Oxigênio Dissolvido	mg.L^{-1}	0,5 - 1,0
Qualidade do Efluente		
DBO	mg.L^{-1}	<5
DQO	mg.L^{-1}	<30
NH3	mg.L^{-1}	<1
NT	mg.L^{-1}	<10
Turbidez	UNT	<1

Fonte: METCAL e EDDY, (2003).

A ultrafiltração é uma separação por pressão dirigida, baseada na permeabilidade de uma membrana. Esta permeabilidade é controlada por interações entre a membrana e moléculas de soluto ou solvente, entre o peso molecular e as configurações dos constituintes, e entre as interações eletrostáticas. O fluxo através da membrana é controlado por três fatores: a pressão transmembrana; a resistência oferecida pela crescente concentração do material rejeitado na superfície da membrana e densidade desta camada à qual controla a velocidade mantida na superfície da membrana. O entupimento da membrana ocorre quando seus poros são obstruídos e o seu fluxo inicial somente é restabelecido quando da limpeza das mesmas (RAGONA e HALL, 1998; CHEREMISINOFF, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Quanto à configuração de funcionamento, os sistemas de BRM apresentam duas configurações básicas, como apresentadas na Figura 3.2. (A) O módulo de membrana é integrado ao próprio reator, onde as membranas ficam submersas diretamente no lodo biológico. (B) O módulo de membrana fica localizado externamente ao reator, o lodo concentrado volta para o reator enquanto o efluente tratado e filtrado é retirado do sistema.

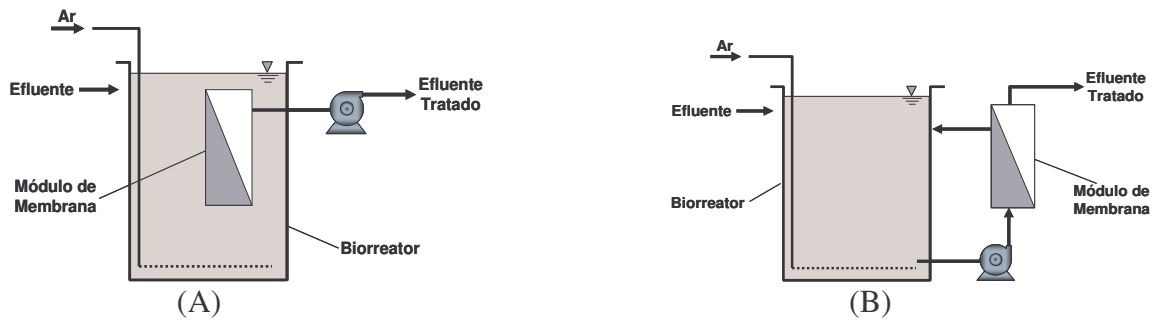


Figura 3.2. Diagrama esquemático de dois biorreatores a membranas. (A) Módulo integrado no reator. (B) Biorreator com um módulo de ultrafiltração externo (METCALF e EDDY, 2003).

A Figura 3.3 mostra o esquema básico da filtração através de uma única membrana de ultrafiltração.

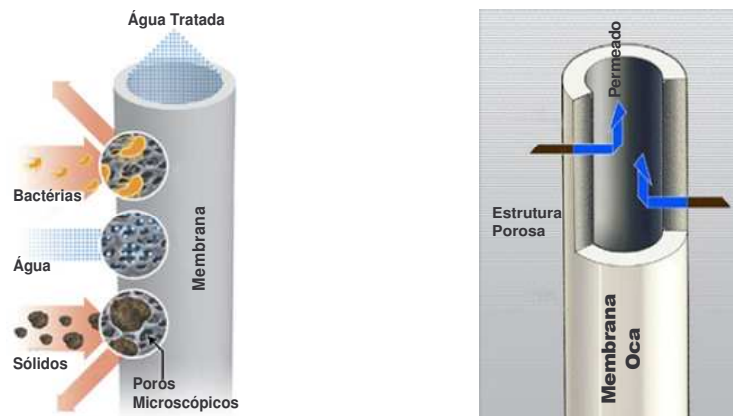


Figura 3.3. Esquema básico de funcionamento de uma membrana (MEMBRANE DIAGRAM, 2007).

As principais vantagens de um sistema Biorreator de Membranas em relação ao tratamento biológico convencional são:

- Possibilidade de operação de um biorreator a altas concentrações de biomassa. No BRM existe um desaparelhamento completo do tempo de retenção de sólidos (TRS) com o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), permitindo longas idades de lodo e possibilidade de degradação de compostos de baixa biodegradabilidade e maior controle sobre o processo biológico (THOMAS *et al.*, 2000).
- A produção de efluentes livres de sólidos suspensos e índices de turbidez inferiores a 0,5 UT (CHIEMCHAI SRI *et al.*, 1993), bactérias e baixas concentrações de DQO. Devido ao ponto de exclusão dos poros das

membranas, o efluente torna-se praticamente desinfectado (CÔTE *et al.*, 1997).

- O efluente tratado apresenta baixas concentrações de sólidos suspensos, pois os diâmetros dos poros das membranas utilizadas para a microfiltração variam de 0,05 a 0,1 μm e, para a ultrafiltração, de 0,001 a 0,1 μm (THOMAS *et al.*, 2000).
- O sistema de tratamento composto por um BRM pode operar com concentrações elevadas de carga no reator. Estes valores podem estar acima de 20 kg DQOm³.d⁻¹, permitindo, desse modo, que haja reduções nos tamanhos das plantas (SHIM *et al.*, 2002).
- O Biorreator de Membranas apresenta alta eficiência na remoção de compostos nitrogenados (CHAIZE *et al.*, 1991; LÜBBECKE *et al.*, 1995).
- A produção do lodo é baixa, < 0,25 Kg SS/Kg DQO para uma longa idade (FAKHRU'L-RAZI, 1994; FAN *et al.*, 1996; GHYOOT *et al.*, 1999), fato que torna-o bastante atrativo quando comparado com um sistema típico de lodos ativados, pois sendo a produção de lodo baixa, há a redução de unidades de tratamentos para o desaguamento e o destino final do lodo produzido.
- A eficiência de operação do sistema independe da sedimentabilidade do lodo, bem como da sua floculação, possibilitando combiná-lo com tratamentos nas condições termofílicas (RAGONA e HALL, 1998; TARDIF e HALL, 1997).

Os Biorreatores de Membrana constituem uma ótima opção para o tratamento de água branca em máquina de papel, pois seu sistema é capaz de remover o excesso de matéria coloidal dissolvida, causadora dos principais problemas que afetam a qualidade do papel. Além disso, possibilita o aumento da degradação dos compostos de difícil degradabilidade. Este sistema ocupa espaço mínimo e opera em altas temperaturas (45°C-65°C), nas quais são produzidas as águas brancas, produzindo um efluente tratado de alta qualidade (TARDIF e HALL, 1997).

A grande desvantagem dos sistemas dos BRM está no custo elevado para a implantação de um sistema de tratamento, na vida útil dos módulos de filtração/ultrafiltração e na redução do fluxo ocasionado pela queda com o tempo

(MUKAI *et al.*, 2000; METCALF e EDDY, 2003), devido ao entupimento dos poros, denominado de *fouling*.

O *fouling* é caracterizado como o bloqueio gradual dos poros presentes na membrana, durante o processo de filtração, devido ao acúmulo de sujeira neles ou na superfície da membrana (HONG *et al.*, 2002). Este fenômeno reduz gradualmente o fluxo do permeado (efluente tratado), aumentando os custos com a troca do módulo e com a necessidade de limpeza das membranas (BOUHABILA *et al.*, 2001). Diante do problema de entupimento das membranas, atualmente os custos para a operação de um sistema de Biorreator de Membranas são elevados quando comparados com um sistema típico de tratamento de efluentes. Segundo DEFRANCE *et al.*, (2000), para reduzir-se os custos devido às trocas dos módulos de membranas, causado principalmente pelo seu entupimento, deve-se estudar os principais mecanismos envolvidos no entupimento das membranas e a sua origem, buscando solucionar ou reduzir este inconveniente.

De acordo com THOMAS *et al.*, (2000), a solução contida no reator, onde está submerso o módulo de membrana, apresenta grandes concentrações de material dissolvido e suspenso. A presença destes materiais no meio, segundo o autor, é que irá influenciar o comportamento do fluxo do permeado na membrana. Segundo THOMAS *et al.* (2000), estudos recentes têm demonstrado que a formação do entupimento na membrana ocorre em dois estágios, um inicial e outro a longo prazo. O declínio do fluxo inicial é influenciado pela concentração de polarização, e, principalmente, pela deposição de EPS (NAGAOKA *et al.*, 1996; CHO *et al.*, 2005). A presença de substâncias dissolvidas na solução causará o acúmulo de solutos no lado externo da membrana. Esta parede é pouco permeável à água; a alta pressão osmótica poderá, mais adiante, reduzir o fluxo do permeado e o entupimento a longo prazo é causado pela adsorção do soluto e pela deposição de partículas (parede gelatinosa e formação da *torta* externa e entupimento interno dos poros). A alta concentração dos solutos na superfície da membrana pode causar a precipitação e a formação da parede gelatinosa. Partículas em suspensão são transportadas para a superfície da membrana e formam depósitos. A parede gelatinosa e a formação da *torta* reduzem a permeabilidade hidráulica e o permeado do fluxo.

Muitos pesquisadores têm observado que o desempenho da membrana varia significativamente de acordo com as propriedades do lodo ativado, o qual afeta a camada de sujidade depositada, *torta*, sobre a superfície e nos poros da membrana (BRINDLE e STEPHENSON, 1996). SATO e ISHII (1991) demonstraram que o grau do entupimento em um Biorreator de Membranas, em um sistema de lodos ativados utilizando a ultrafiltração foi influenciado principalmente pela Demanda Química de Oxigênio (DQO) solúvel, pela concentração de sólidos suspensos e pela viscosidade da suspensão do meio. YAMAMOTO e WIN (1991) observaram um aumento no declínio do fluxo do permeado com o aumento do tempo de residência celular (idade do lodo), concluindo, assim, que a concentração de sólidos foi o principal fator que afetou o entupimento das membranas. Eles também determinaram que existe uma concentração crítica (aproximadamente 40.000 mg/L), na qual houve uma redução drástica no fluxo do permeado.

ISHIGURO *et al.* (1994), por outro lado, baseados em estudo com membranas de ultrafiltração cujo peso molecular de corte era de 500.000 Dalton, sugeriram que a taxa do entupimento foi governado pelo Carbono Orgânico Dissolvido (COD) da suspensão do lodo ativado,.

O entupimento é o resultado de um fenômeno complexo, mas é essencialmente causado pelos exopolímeros produzidos durante a lise das bactérias (HODGSON *et al.*,1992; CHO *et al.*,2005). NAGAOKA *et al.* (1996) atribuíram o declínio drástico do fluxo do permeado durante a operação de um Biorreator de Membranas à formação de um concentrado de *cake* na superfície da membrana, o qual consistia de células bacterianas e de substâncias produzidas pelas bactérias, tais como os polímeros extra-celulares, denominados EPS. JUDD (2005), porém, sugere que existam outros constituintes na matriz do lodo, tais como os produtos da degradação microbiana, classificados como EPS, e que a perfeita caracterização e separação destes compostos é o principal desafio para pesquisas atuais.

JUDD (2005) cita que em sistemas com BRM utilizando membranas submersas existem basicamente três estratégias disponíveis, capazes de reduzir a influência do *fouling*, que são: a) reduzir o fluxo (J), b) aumentar a aeração na membrana, ocasionando a remoção física do *cake* depositado superficialmente nas membranas e c) aumentar a limpeza física ou química. A aeração com bolhas

grandes nas membranas aumenta o polimento da superfície das membranas, suprimindo a ação do *fouling*.

Devido às elevadas qualidades físico-químicas dos efluentes tratados utilizando-se os sistemas de BRM, sua adoção para o tratamento de efluente e o reuso destes efluentes como água de processo têm tornado o uso desta tecnologia bastante atrativo, embora a maioria dos trabalhos encontrados para aplicação desta tecnologia em fábricas de papel têm utilizado plantas-pilotos ao invés de sistemas em escalas industriais.

WEBB (2001) reportou que existem unidades de MBR em escala industrial instaladas em fábricas de papel nos Países Baixos e França, apresentando elevada qualidade de efluentes tratados em relação aos níveis de remoção de *DQO*, *DBO* e *SST*. RAGONA e HALL (1998) operaram um sistema de ultrafiltração e um BRM em paralelo para comparar as eficiências de remoção de *SST*, Sólidos Dissolvidos Totais (*SDT*) e *DQO* em um efluente a 55°C, proveniente de uma fábrica de papel jornal, e verificaram que, apesar do BRM ter apresentado melhores resultados comparados com o sistema de ultrafiltração, estes valores ainda foram baixos para este tipo de tratamento. OLIVEIRA *et al.* (2007) estudaram a aplicação da ultrafiltração à membranas para a remoção de metais da água branca de uma máquina de papel e verificaram uma remoção de 44% de *DQO*, 39% de *DBO*, 28% de dureza, 99% de turbidez e 100% de sólidos. A baixa remoção dos compostos orgânicos foi devido à inexistência de um sistema biológico para a sua remoção. LERNER *et al.* (2007) realizaram um estudo comparativo entre um sistema industrial de lodos ativados e uma planta laboratorial composta por um Biorreator a Membranas e verificaram que o efluente tratado no BRM apresentou concentrações muito baixas de sólidos suspensos, no entanto, para os parâmetros de *DQO*, *DBO*, fósforo total e nitrogênio amoniacal não mostraram diferenças substanciais entres os sistemas. LOURES (2007) realizou estudos comparativos entre dois sistemas de tratamento anaeróbios, em escala laboratorial, para tratar efluentes de fábrica de papel. Um sistema composto de tratamento anaeróbio convencional e o outro sistema composto por um biorreator anaeróbio a membranas. Ela verificou que os sistemas BRM mostraram ser mais eficientes comparados com o sistema anaeróbio convencional.

O objetivo deste estudo é verificar a capacidade de remoção dos contaminantes orgânicos e inorgânicos da água branca de uma fábrica de papel, utilizando dois sistemas de tratamentos biológicos, um sistema de Lodos Ativados Convencional (LAC) e um sistema de Biorreator a Membranas (BRM), nas condições mesofílica, termotolerante e termofílica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa em três experimentos:

Experimento I – Desempenho dos sistemas LAC e BRM;

Experimento II – Desempenho dos sistemas de BRM em diferentes temperaturas;

Experimento III – Estudo da diversidade genéticas nos sistemas BRM em três temperaturas.

4.1. EXPERIMENTO I – DESEMPENHO DOS SISTEMAS LAC E BRM

Nesta fase foi estudado o desempenho dos sistemas de tratamentos de efluentes por lodos ativados convencional e dos sistemas por biorreator a membranas.

4.1.1. Efluentes

O efluente geral utilizado nesta fase experimental foi coletado em uma máquina de papel de imprimir e escrever, gramatura 75 a 90 g.m⁻², de uma fábrica integrada de celulose Kraft branqueada de fibra de eucalipto, da Companhia Suzano S.A., unidade Mucuri, BA. Este efluente é comumente denominado “água branca da máquina de papel”.

Após a coleta, o efluente geral da máquina foi acondicionado em recipientes de polipropileno (bombonas) de 50 litros e armazenado em câmara fria à temperatura de 5°C até a sua utilização. As fibras presentes nos efluentes foram previamente separadas com peneiras de 120 mesh.

Após a separação das fibras, o pH foi corrigido para faixa de 7,0±0,2 e, para suprir as deficiências de nitrogênio e fósforo, foram adicionados uréia e mono amônio fosfato (MAP). A concentração de nitrogênio presente no MAP foi considerada no cálculo das dosagens dos nutrientes. As concentrações iniciais de *N* e *P* presentes nos efluentes foram desconsideradas. A dosagem dos nutrientes obedeceram à relação *DQO:N:P* de 100:5:1.

Os efluentes de alimentação dos reatores biológicos permaneceram sob lenta agitação mecânica, com agitador de paletas, sendo o efluente repostado diariamente. A alimentação dos sistemas foi realizada de forma contínua.

4.1.2. Adaptação do lodo biológico

O lodo utilizado durante os tratamentos foi coletado de uma estação de tratamento de efluentes por lodos ativados de uma fábrica de papel reciclado e foi adaptado durante 15 dias com as novas características do efluente.

Inicialmente, o lodo foi alimentado durante cinco dias com a mistura 50% de efluente originário da fábrica de papel reciclado e 50% de efluente da fábrica de papel de fibra virgem. Após este período, alimentou-se o lodo durante mais cinco dias com a mistura de 25% de efluente da fábrica de papel reciclado e 75% de efluentes da fábrica de papel de fibra virgem. Finalmente, alimentou-se o lodo com 100% de efluentes da fábrica de papel de fibra virgem. Esta adaptação foi realizada, inicialmente, à 35°C, sendo realizada a correção do pH do efluente para a faixa de $7\pm 0,2$ e feita a adição de nutrientes para a relação de *DQO:N:P* para 100:5:1. A ambientação foi realizada em reatores tipo *batelada*, com volume útil de 5 litros.

4.1.3. Sistemas de tratamento biológicos laboratorial

Foram utilizados dois sistemas laboratoriais de tratamento biológico de efluentes: LAC (Lodos Ativados Convencional) e BRM (Biorreator a Membranas), trabalhando à temperatura de 35, 45 e 55°C. Os dois sistemas não operaram em paralelo, mas em série. Ambos são descritos a seguir.

4.1.3.1. Lodos Ativados Convencional (LAC)

O sistema de LAC foi composto de um tanque de armazenamento com volume útil de 20 litros de efluente bruto, equipado com um sistema de agitação mecânica lenta. A alimentação do biorreator foi realizada utilizando-se uma bomba peristáltica *Masterflex*, Modelo *HV 07523-50*, montada com dois cabeçotes *Masterflex*, Modelo *7518-00* (alimentação e recirculação do lodo). Para garantir as temperaturas de operação do sistema, o reator foi envolto por uma camisa metálica pela qual recirculava água aquecida proveniente de um banho-maria, através de outra bomba peristáltica idêntica à anterior. Em sistemas industriais,

esse aquecimento não é necessário, uma vez que o efluente sai da máquina de papel com elevada temperatura. Após o aquecimento do biorreator, a água fria voltava para o banho-maria. O volume útil do reator biológico era de 4,2 litros. A vazão de alimentação do sistema, de $396 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$, proporcionando um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10,6 horas. Após o período de reação, o lodo era encaminhado por vaso comunicante para o decantador secundário; o lodo decantado era recirculado para o reator biológico através da bomba de alimentação (2° cabeçote). As idades dos lodos (θ_c), para as três temperaturas ($35, 45$ e 55°C), foram de 10,5 dias. O decantador secundário possuía uma área superficial de $0,0177 \text{ m}^2$ e a razão de recirculação (R) adotada foi igual a 1,0. A aeração do sistema era realizada por compressor de ar e a concentração de oxigênio dissolvido (OD) foi mantida sempre acima de $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O descarte do lodo realizou-se a partir do próprio reator biológico.

Na Figura 4.1 e 4.2 são apresentados, respectivamente, um esquema e a fotografia do sistema de tratamento biológico de efluente por lodos ativados utilizado durante os estudos desta fase.

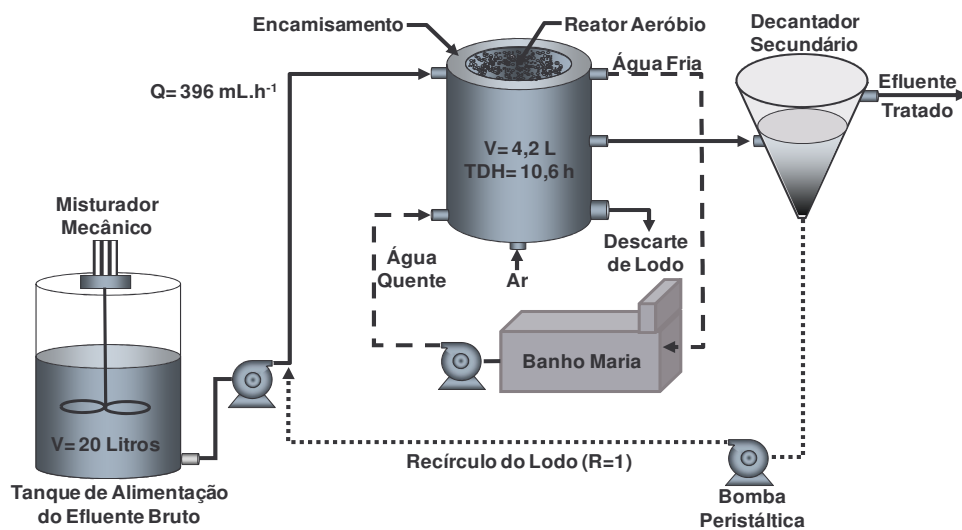


Figura 4.1. Esquema de tratamento do efluente por lodos ativados convencional do Experimento I.



Figura 4.2. Unidade laboratorial do sistema de lodos ativados convencional utilizado durante o Experimento I.

4.1.3.2. Biorreator a Membranas (BRM)

O sistema de tratamento biológico por Biorreator a Membranas possuía as mesmas configurações e dimensões do sistema de tratamento de efluentes por Lodos Ativados Convencional (LAC), descrito no item 4.1.3.1, com exceção do decantador.

Na Figura 4.3 é apresentado um esquema do sistema de tratamento biológico de efluente por Biorreator a Membranas.

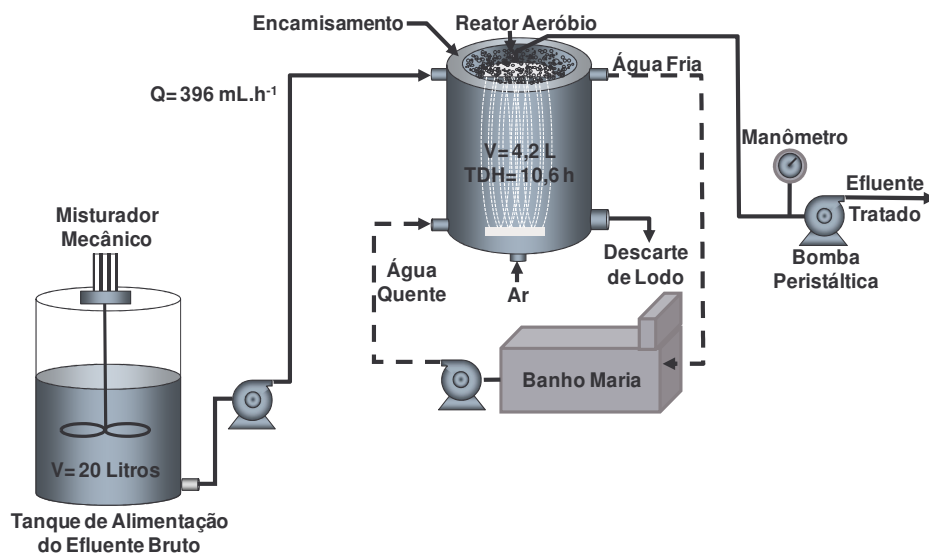


Figura 4.3. Esquema de tratamento do efluente por biorreator a membranas do Experimento I.

Neste sistema, o decantador secundário foi substituído por um módulo de membranas submersas ocas, de ultrafiltração, da *Zenon®*, modelo *Zee Weed-1*

(ZW-1), próprio para testes em bancada de laboratório. O diâmetro médio dos poros e o ponto de corte nominal do ZW-1 é de $0,02 \mu\text{m}$. O módulo utilizado possuía área superficial total de filtração de $0,047 \text{ m}^2$, e operava com um fluxo médio de $9,4 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$. O módulo utilizado está apresentado na Figura 4.4.

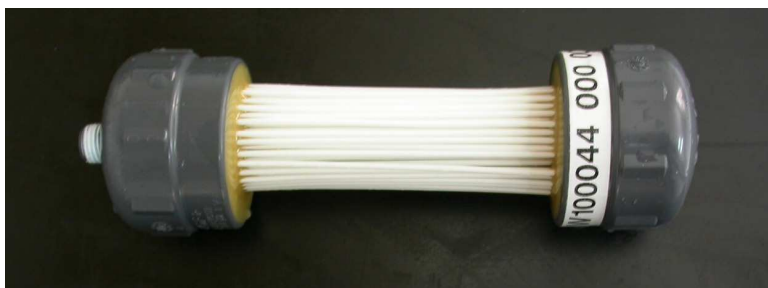


Figura 4.4. Módulos de membranas para ultrafiltração da Zenon®, modelo Zee Weed-1 (ZW-1), utilizados para a ultrafiltração do lodo biológico durante o tratamento com o biorreator a membranas.

Semanalmente, os módulos de membranas foram submetidos a lavagens e retrolavagens com sabão neutro, por uma hora, seguindo-se lavagem e retrolavagem com solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,5% de cloro ativo, por mais uma hora, para remoção das incrustações e deposições superficiais e para garantir o fluxo constante sem alterar as condições hidráulicas do reator; impedindo, conseqüentemente, a elevação do nível do lodo biológico. Durante o período em que o módulo estava sendo lavado, a vazão de alimentação do sistema era reduzido, a fim de evitar transbordos, porém, um pequeno acúmulo de efluente no reator foi inevitável. Ele voltou ao nível normal por ocasião da recolocação do módulo no reator. Em sistemas industriais esta lavagem ocorre em intervalos curtos, por meio da retrolavagem com o próprio efluente tratado. O tempo total para a limpeza completa do módulo era de três horas.

4.1.4. Tratamento do efluente

Em cada sistema de tratamento de efluentes (LAC e BRM) foi monitorado o desempenho nas três temperaturas ($35, 45$ e 55°C), totalizando seis tratamentos distintos.

O regime de alimentação dos reatores foi contínuo. O descarte do lodo foi diretamente realizado no reator, de modo que a idade do lodo (θ_c), fixada em 10,5 dias, foi controlada sistematicamente.

Durante os períodos de mudança das temperaturas, o sistema operou normalmente durante 10 dias, até a sua adaptação às novas condições de temperatura. A fim de evitar choques de temperatura na microbiota, a temperatura foi elevada gradualmente (2°C/d). Quando atingida a nova temperatura, o sistema trabalhava normalmente, durante cinco dias, até o início das coletas de dados. Durante este período de adaptação do lodo, foram monitorados somente os valores de *DQO*, os quais foram utilizados para a determinação do desempenho dos sistemas. Nas mudanças de LAC para BRM, para a mesma temperatura, não foi necessário o intervalo de adaptação, uma vez que o lodo já estava ambientado, por isso, houve somente a substituição do decantador pelo módulo de membranas.

4.1.5. Coleta e periodicidade das amostras

Na Tabela 4.1 estão representados os locais, a periodicidade e o tipo de amostragem das análises realizadas durante o experimento.

Tabela 4.1. Locais de coleta de amostra e análises, periodicidade e tipo de amostragem, realizados durante o Experimento I.

Análise	Local			Periodicidade	Amostragem
	Entrada	Reator	Tratado		
Vazão	X			Diária	Simple
Temperatura		X		Diária	Simple
pH	X			Diária	Simple
OD		X		Diária	Simple
DQO Bruta	X		X	Diária	Simple
SST	X	X	X	Diária	Simple
Alcalinidade	X		X	Diária	Simple
Turbidez	X		X	Diária	Simple
Dureza	X		X	Diária	Simple
Condutividade	X		X	Diária	Simple
Cor	X		X	Diária	Simple
Microbiológica		X		Semanal	Simple

4.2. EXPERIMENTO II – DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE BRM EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Nesta fase foram utilizadas três unidades laboratoriais de BRM, operando em paralelo, nas temperaturas de 35, 45 e 55°C. Em cada temperatura de tratamento foram aplicadas três cargas orgânicas crescentes de *DQO* (2,57; 4,75 e 9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹) objetivando verificar a capacidade suporte máxima e a eficiência de remoção dos contaminantes pelos sistemas.

4.2.1. Efluentes

Os efluentes utilizados nos tratamentos foram os efluentes gerais, coletados mensalmente nas duas unidades fabris, totalizando cinco coletas distintas. Os efluentes originaram das seguintes unidades produtoras de papel:

- i) Companhia Suzano S.A., unidade Mucuri, BA - Fábrica integrada de celulose Kraft branqueada de fibra de eucalipto, para a produção de papel de imprimir e escrever gramatura 65 e 90 g.m⁻².
- ii) Fábrica de Papéis Klabin, unidade Ponte Nova, MG - Fábrica de papel reciclado para produção de papel capa e miolo com gramatura igual 120 e 160 g.m⁻², respectivamente.

Os procedimentos de acondicionamento, armazenamento, remoção das fibras, correção de pH e nutrientes e alimentação dos sistemas foram idênticos aos praticados no Experimento I.

Para a obtenção das cargas de *DQO* de 2,57; 4,75 e 9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹, foram realizadas análises prévias de *DQO* dos dois efluentes e, posteriormente, misturados, proporcionalmente, os efluentes, a fim de obterem-se os valores pré-definidos.

4.2.2. Aparato Laboratorial

Foram utilizadas três plantas laboratoriais com volume útil de 2,0 litros. A vazão para cada planta foi 200 mL.h⁻¹, proporcionando um tempo de detenção hidráulica (*TDH*) de 10 horas. A idade do lodo foi fixada em 10 dias. Buscou-se manter a concentração de oxigênio dissolvido sempre acima de 2,0 mg.L⁻¹. As plantas operaram com as temperaturas de 35, 45 e 55°C, que foram controladas por sistemas micro processados da marca *Full Gauge*, Modelo *TIC 17*.

A alimentação dos sistemas foi realizada utilizando-se bomba peristáltica *Masterflex*, Modelo *HV 07523-50* montada com três cabeçotes *Masterflex*, Modelo *7518-00*. A ultrafiltração do lodo foi realizada por uma bomba com um conjunto de cabeçotes idêntico ao sistema de alimentação. Os módulos de membranas foram construídos a partir de membranas poliméricas da Marca *Zenon*[®]. O diâmetro médio dos e o ponto de corte nominal dos módulos de membranas do Experimento II foi de 0,02 μm . A área superficial nominal de cada módulo de membrana utilizado na ultrafiltração foi 0,0158 m^2 . O fluxo médio específico para cada membrana foi de 12,5 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$.

Foram construídos seis módulos de ultrafiltração, e, enquanto três módulos estavam sendo utilizados para a ultrafiltração, os demais permaneciam imersos na solução de hipoclorito de sódio (*NaClO*) a 0,5%. O tempo de imersão na solução de *NaClO* foi de 24 horas. Após este período, os módulos foram lavados com água corrente de torneira para remoção das incrustações superficiais.

As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam esquema, fotografia do sistema e vistas superiores dos três Biorreatores a Membranas, utilizados nesta fase do estudo.

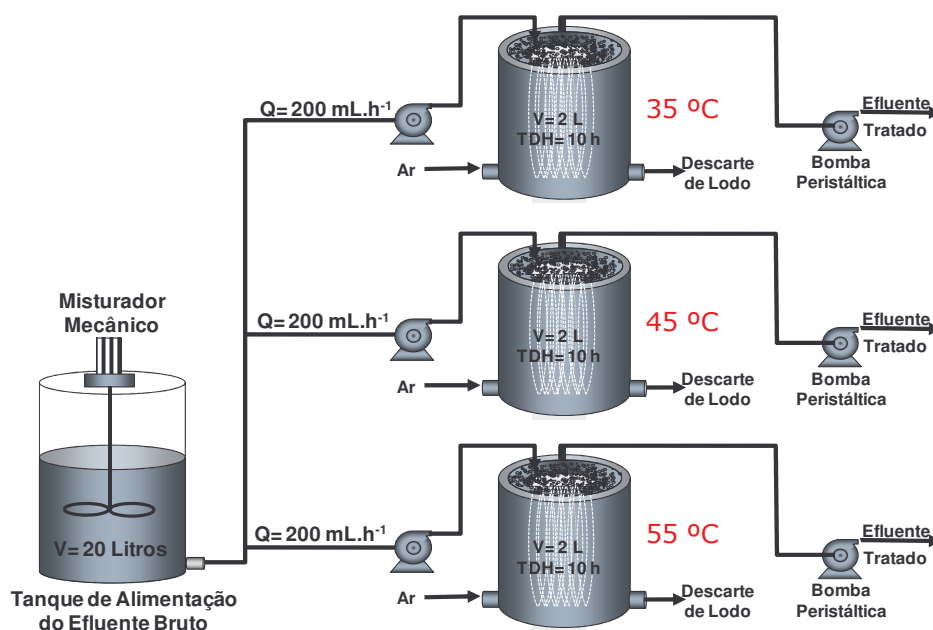


Figura 4.5. Esquema dos sistemas de tratamento do efluente composto por três biorreatores a membranas no Experimento II.



Figura 4.6. Fotografia das plantas piloto laboratoriais composta por três biorreatores a membranas nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C do Experimento II.



Figura 4.7. Detalhes dos biorreatores a membranas para 35, 45 e 55 °C no Experimento II.

4.2.3. Tratamentos realizados

O Experimento II foi realizado em três etapas. Cada etapa compreendeu o tratamento do efluente em três temperaturas diferentes, por um período de 30 dias ininterruptos, com uma carga orgânica volumétrica de DQO de $2,57 \text{ Kg.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ na Etapa I; $4,75 \text{ Kg.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ na Etapa II e $9,43 \text{ Kg.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ na Etapa III.

4.2.4. Coleta e periodicidade das análises

Na Tabela 4.2 estão representados os locais, a periodicidade e o tipo de amostragem das análises realizadas durante o experimento da FASE II.

Tabela 4.2. Locais de análises, periodicidade e tipo de amostragem das análises realizadas durante o experimento da FASE II.

Análise	Local			Periodicidade	Amostragem
	Entrada	Reator	Tratado		
Vazão	X			Diária	Simples
Temperatura		X		Diária	Simples
pH	X			Diária	Simples
OD		X		Diária	Simples
DQO Solúvel	X		X	Diária	Simples
SST	X	X	X	Diária	Simples
SSV	X	X	X	Diária	Simples
SSF	X	X	X	Diária	Simples
Turbidez	X		X	Diária	Simples
Dureza	X		X	Diária	Simples
Condutividade	X		X	Diária	Simples
Cor	X		X	Diária	Simples
Microbiológica		X		Semanal	Simples

Observação: Não foi possível determinar as concentrações de OD na temperatura de 55 °C.

4.2.5. Procedimentos analíticos

Os parâmetros analisados nos efluentes bruto e tratado, compreenderam, em todos os processos realizados durante as duas fases: demanda química de oxigênio (*DQO*) solúvel, sólidos suspensos totais (*SST*), sólidos suspensos voláteis (*SSV*) sólidos suspensos fixos (*SSF*), condutividade, turbidez, alcalinidade, temperatura e pH.

Nos biorreatores foram analisados: concentração de oxigênio dissolvido (*OD*), concentração de *SST*, *SSV*, *SSF* e feitas análises microbiológicas do lodo.

4.2.5.1. Demanda química de oxigênio (*DQO*)

O método utilizado para a análise de *DQO* foi o método colorimétrico, refluxo fechado, segundo *APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. (1998). O método baseia-se no princípio de que grande parte dos compostos orgânicos presentes no efluente podem ser oxidados, quando digeridos na presença de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Após a digestão, o $K_2Cr_2O_7$ remanescente é lido em espectrofotômetro a 420 ou 600 nm. O $K_2Cr_2O_7$ consumido e o material orgânico oxidado são calculados em termos de equivalente de oxigênio.

Foi utilizada uma cubeta de reação na qual foram colocados 2,5 mL da amostra, 1,5 mL da solução de digestão e 3,5 mL do reagente ácido sulfúrico. As

amostras foram digeridas durante 120 minutos à temperatura de 148 °C, em um termorreator da marca *MERCK* modelo *TR300*.

Após a digestão das amostras de concentração entre 100 e 1000 mg/L, estas foram resfriadas e lidas em um fotômetro com comprimento de onda de 600 nm. Para a determinação da concentração de *DQO* foi feita uma curva padronizada de 100 a 1000 mg/L de *DQO*, utilizando-se para isso o fitalato hidrogênio de potássio (*HOCC₆H₄COOK*).

Quanto às amostras de concentração entre 0 e 100 mg/L, após a sua digestão, estas foram resfriadas e lidas em um fotômetro com comprimento de onda de 420 nm. Para o cálculo da concentração de *DQO* foi feita uma curva padronizada de 0 a 100 mg/L de *DQO*, utilizando-se novamente o fitalato hidrogênio de potássio (*HOCC₆H₄COOK*).

4.2.5.2. Série sólidos (*SST*, *SSF* e *SSV*)

As concentrações de *SST* foram determinadas filtrando-se 25 mL de amostras em membranas de fibra de vidro, de porosidade igual a 1,2 µm, previamente secas e tratadas. Após as filtrações, os filtros e as amostras foram levados à estufa, à temperatura de 103±2°C, para determinação de peso seco. As amostras permaneciam na estufa até atingirem peso constante. A concentração de *SST* foi efetuada por diferença de massa do filtro, com e sem amostra.

As concentrações de *SSF* foram determinadas a partir das amostras de *SST*. Após análise de *SST*, o filtro e a amostra foram colocados na mufla e calcinados à temperatura de 550°C, durante 20 minutos, para determinação dos sólidos suspensos fixos (*SSF*). Por diferença de massa foi obtido o valor do *SSF*.

Por diferença de massa entre o *SST* e o *SSF* calculou-se a concentração de *SSV*.

4.2.5.3. Alcalinidade

A alcalinidade foi determinada titulometricamente através da titulação da amostra com solução de ácido sulfúrico a 0,02N. A determinação consiste em titular a amostra do pH inicial até pH 8,3, na presença de fenolftaleína (*F*) e anotar os valores de solução titulante gasta. Em seguida, prosseguir a titulação até pH 4,0, na presença do indicador metilorange (*M*) e anotar os volumes gastos do

titulante. A determinação das concentrações de alcalinidade é feita de acordo com as Equações 01 e 02.

$$\text{Alcalinidade Fenolftaleína } (F)_{\text{pH } (8,3)} = \frac{\text{Volume total de } H_2SO_4 \times 1000}{\text{Volume da amostra (ml)}} \quad (01)$$

$$\text{Alcalinidade Total } (M)_{\text{pH } (4,3)} = \frac{\text{Volume total } H_2SO_4 \times 1000}{\text{Volume da amostra (ml)}} \quad (02)$$

As alcalinidades relativas aos hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos são calculadas conforme a Tabela 4.3 seguinte:

Tabela 4.3. Relações de alcalinidades.

Resultado da titulação	Alcalinidade de hidróxidos, mg.L ⁻¹ CaCO ₃	Alcalinidade de carbonatos, mg.L ⁻¹ CaCO ₃	Alcalinidade de bicarbonatos, mg/L CaCO ₃
F=0	0	0	T
F<1/2T	0	2P	T-2F
F=1/2T	0	2P	0
F>1/2T	2F-T	2(T-F)	0
F=T	T	0	0

F = Alcalinidade até pH 8,3

T = Alcalinidade até pH final

4.2.5.4. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica do efluente foi determinada utilizando-se um condutímetro da marca *Digimed*, modelo *DM-3*.

4.2.5.5. Turbidez

A turbidez do efluente foi determinada utilizando-se um turbidímetro da marca *Digimed*, modelo *DM-C2* e calculada de acordo com a Equação 03.

$$\text{Turbidez} = A \times f \quad (03)$$

Onde:

Turbidez = NTU (unidade nefelométrica de turbidez);

A= leitura do aparelho;

f = fator de diluição.

4.2.5.6. Dureza

A dureza do efluente foi determinada a partir da titulação de 50 mL da amostra com ethylene-diamine-tetra-acético (*EDTA*) a 0,01M em meio alcalino (hidróxido de amônio) com pH 10. Utilizou-se o *Negro Ericromo* como indicador da dureza total. A concentração da dureza total fora determinada de acordo com a Equação 4.

$$\text{Dureza total} = \frac{V \text{ EDTA (mL)} \times fc \times 1000\text{mL/L}}{V \text{ amostra (mL)}} \quad (4)$$

Onde:

FC = Fator de correção = $\text{mg CaCO}_3\text{.mL}^{-1} \text{ EDTA}$.

4.2.5.7. Oxigênio dissolvido (*OD*)

A concentração de *OD* foi determinada utilizando um oxímetro da marca *WTW*, modelo *OXI 320*.

4.2.5.8. pH

Os índices de pH foram determinados utilizando um pHmetro da marca *WTW*, modelo *pH 315i*.

4.2.5.9. Observações microscópicas do lodo

Foram realizadas observações microscópicas frescas e fixadas do lodo, nas duas fases, para acompanhar e verificar as alterações morfológicas das espécies dos microrganismos presentes nas amostras.

Para a realização das observações microscópicas, foi utilizado um microscópio de contraste de fase, da marca *LEICA*, modelo *DMLS* com uma máquina digital adaptada para obtenção das fotomicrografias.

4.2.5.10. Identificação e concentração de microrganismos filamentosos

A identificação dos microrganismos filamentosos foi realizada a partir de observações microscópicas frescas e fixadas das amostras de lodo biológico do reator. A técnica das colorações consiste na utilização de corantes específicos para as estruturas celulares de interesse e, posteriormente, na observação dessas estruturas em microscopia de campo claro e de contraste de fase. Após as etapas de fixação, coloração e observação microscópicas, os microrganismos

filamentosos foram identificados de acordo com a chave dicotômica para determinação da espécie desenvolvida por Eikelboom (1981) e proposta por JENKINS et al., (2003). A técnica baseia-se na morfologia de cada espécie bem como sua interação com os flocos biológicos e demais microrganismos presentes no lodo.

As colorações utilizadas foram: coloração de Gram, coloração de Neisser (grânulos de polifosfatos), coloração de PHB e observadas em aumento de 1000 vezes em microscopia de luz direta. Lâminas com preparações frescas foram submetidas às observações 1.000 vezes aumentadas, em contraste de fase, para determinação do teste de oxidação do sulfeto (grânulos de enxofres) e para identificação da bainha nos filamentos, formas, tamanhos das células e filamentos, associação destes com os flocos. Esta metodologia está de acordo com a metodologia desenvolvida por Eikelboom (1981) citado por JENKINS et al., (2003).

A Tabela 4.4 apresenta o resumo das análises físico-químicas e biológicas utilizadas.

Tabela 4.4. Análises e métodos utilizados

LOCAL	PARÂMETRO	MÉTODO
Efluente de Entrada e Saída	DQO	Método 5220 D (método colorimétrico de refluxo fechado), digestão em termorreator, marca <i>Merck</i> , modelo <i>TR 420</i> , e leitura em espectrofotômetro, marca <i>Merck</i> , modelo <i>NOVA 400</i>
	SST	Método 2540 D (sólidos suspensos totais secos à 103-105 °C)
	SSV	Método 2540 E (sólidos fixos e voláteis calcinados à 550 °C)
	SSF	Método 2540 E (sólidos fixos e voláteis calcinados à 550 °C)
	Condutividade	Método 2510 com leitura direta em condutivímetro, marca <i>Digimed</i> , modelo <i>DM-3</i>
	Turbidez	Método 2130 com leitura direta em turbidímetro, marca <i>Digimed</i> , modelo <i>DM-C2</i>
	Alcalinidade	Método Kapp e método 2320 B (método titulométrico)
	Temperatura	Método 2550 Método com termômetro de mercúrio
	pH	Método 4500 com leitura direta em pHmetro, marca <i>Digimed</i> , eletrodo modelo <i>DMECV3</i>
Biorreatores a Membranas	SST	Método 2540 D (sólidos suspensos totais secos à 103-105 °C)
	SSF	Método 2540 E (sólidos fixos e voláteis calcinados à 550 °C)
	SSV	Método 2540 E (sólidos fixos e voláteis calcinados à 550 °C)
	OD	4500-O G Método Eletrodo de membrana
	Carboidrato total	Antrona- JENKINS et al., (2003)
	Perfil Genético	Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante – DGGE
	Perfil de ácidos graxos	Análise de ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES)
	Análise Microbiológica	JENKINS et al., (2003)
	Identificação bactérias filamentosas	JENKINS et al., (2003)

4.2.6. Parâmetros operacionais de controle

Os parâmetros operacionais de controle das plantas-piloto, durante as Fases 1 e 2, foram:

4.2.6.1. Idade do Lodo (θ_c)

A idade do lodo determina o tempo de detenção da massa microbiana no reator biológico (METCALF e EDDY, 2003; SPERLING, 2005). Ela é controlada através dos volumes de descarte do lodo biológico por unidade de tempo, geralmente, expressa em dias. A idade do lodo foi determinada através das análises das concentrações de *SST* do reator principal, do efluente tratado e do lodo de descarte. O descarte do lodo foi realizado pelo reator principal. Os cálculos para a determinação da idade do lodo foram efetuados de acordo com a Equação 05.

$$\theta_c = \frac{V_{ta} \cdot X_{ta}}{Q_d \cdot X_{ta} + (Q_a - Q_d) X_e} \quad (05)$$

Onde:

- θ_c = Idade do lodo (d);
- V_{ta} = Volume do tanque de aeração (L);
- X_{ta} = Concentração de sólidos no tanque de aeração (mg.L^{-1});
- Q_d = Vazão de descarte do lodo (mL.d^{-1});
- Q_a = Vazão afluente (mL.d^{-1});
- X_e = Concentração de sólidos no efluente tratado (mg.L^{-1}).

4.2.6.2. Relação Alimento/Microrganismo (A/M)

A relação A/M é a quantidade de alimento disponível por unidade de massa de microrganismos no biorreator. É determinada através da carga de *DQO* do sistema, dividida pela concentração de *SST* no reator principal. Os cálculos para a determinação da relação alimento/microrganismos foram propostos por METCALF e EDDY, (2003); SPERLING, (2005) e efetuados de acordo com a Equação 06.

Para os cálculos do A/M utilizaram-se valores de *DQO* do afluente.

$$A/M = \frac{Q_{ta} \cdot DQO_a}{V_{ta} \cdot X_{ta}} \quad (06)$$

Onde:

- A/M = Taxa alimento/microrganismo (mg DQO.mg SSV⁻¹d⁻¹);
 DQO_a = Demanda química de oxigênio do afluente (mg.L⁻¹);
 V_{ta} = Volume do tanque de aeração (mL);
 Q_a = Vazão afluente (mL.d⁻¹);
 X_{ta} = Concentração de sólidos no tanque de aeração (mg.L⁻¹).

4.2.6.3. Taxa de Utilização de Substrato (U)

A taxa de utilização de substrato determina a relação entre o substrato disponível (A/M) e o substrato removido (% DQO) (METCALF e EDDY, 2003; SPERLING, 2005). A U foi quantificada a partir dos valores de A/M multiplicados pela eficiência de remoção da DQO do sistema como apresentado na Equação 07.

$$U = \frac{Q_{ta} \cdot (DQO_a - DQO_e)}{V_{ta} \cdot X_{ta}} \quad (07)$$

Onde:

- U = Taxa de utilização de substrato (Kg DBO.Kg SSV⁻¹d⁻¹);
 DQO_e = Demanda química de oxigênio do efluente (mg.L⁻¹);
 Q_{ta} = Vazão afluente (L.d⁻¹).

4.2.6.4. Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)

O TDH é o tempo em que o líquido permanece no sistema (biorreator) e foi quantificado através dos valores das vazões de entrada dos efluentes divididos pelo volume do reator. Os cálculos para a determinação do tempo de retenção hidráulica foram efetuados de acordo com a Equação 08.

$$TDH = \frac{V_{ta}}{Q_a} \quad (08)$$

Onde,

TRH = Tempo de detenção hidráulica (h);

V_{ta} = Volume das unidades (L);

Q_a = Vazão afluyente (mL.h^{-1}).

4.2.6.5. Concentração de *OD*

As concentrações de *OD* das unidades foram obtidas diretamente por oxímetro da marca *WTW*, modelo *OXI 320*.

4.2.6.6. Análise de pH

As leituras de pH foram obtidas diretamente por pHmetro da marca *WTW*, modelo *pH 315i*.

4.2.6.7. Remoção de *DQO*

As taxas de remoção de *DQO* foram determinadas através dos valores de *DQO* de entrada e *DQO* de saída das unidades. Os cálculos para a determinação da remoção de *DQO* foram efetuados de acordo com a Equação 09.

$$\%DQO = \frac{DQO_a - DQO_e}{DQO_a} \times 100 \quad (09)$$

Onde,

$\%DQO$ = Remoção de *DQO* (%) solúvel;

DQO_a = *DQO* afluyente (entrada) (mg.L^{-1});

DQO_e = *DQO* efluyente (saída) (mg.L^{-1}).

4.2.6.8. Análise estatística

Foram realizadas análises estatísticas para os tratamentos, a fim de verificar a existência de contrastes significativos entre as médias.

Foram utilizados o Teste F e o Teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o *software GENES*.

4.3. EXPERIMENTO III – DIVERSIDADE GENÉTICA E PERFIL DOS ÁCIDOS GRAXOS DAS COMUNIDADES MICROBIOLÓGICAS

Esta etapa teve como objetivo verificar a diversidade genética e o perfil dos ácidos graxos na condição mesofílica e termofílica de tratamento.

Foi avaliada a diversidade genética presente nas amostras de lodo biológico em cinco temperaturas (35, 40, 45, 50 e 55°C), utilizando-se a técnica de Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante – DGGE. Para a análise do perfil dos ácidos graxos, utilizou-se a técnica dos ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES).

O tratamento biológico dos efluentes foi realizado no Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. As análises da diversidade genética e dos perfis dos ácidos graxos das comunidades microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia e Biodiversidade para Meio Ambiente (LBBMA) do Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa, MG.

4.3.1. Efluentes

Os efluentes utilizados neste experimento foram coletados na Fábrica de Papéis Klabin, unidade Ponte Nova, MG - Fábrica de papel reciclado para produção de papel capa e miolo com gramatura igual 120 e 160 g.m⁻², respectivamente.

Os procedimentos de acondicionamento, armazenamento, remoção das fibras, correção de pH e nutrientes e alimentação dos sistemas foram idênticos aos praticados no Experimento I e II.

A carga média de *DQO* aplicada neste experimento foi de 2,28 kg.m⁻³.d⁻¹.

4.3.2. Aparato laboratorial

Foram utilizadas duas plantas laboratoriais com volume útil para cada planta de 2,0 litros. A vazão para cada planta foi 114 mL.h⁻¹, proporcionando um tempo de detenção hidráulica (*TDH*) de 17,5 horas. A idade do lodo foi fixada em 20 dias. Buscou-se manter a concentração de oxigênio dissolvido sempre acima de 2,0 mg.L⁻¹. A planta 01 operou com temperatura fixa de 35°C e a planta 02 operou com temperatura variável e ascendente (35, 40, 45, 50 e 55°C). As temperaturas

foram controladas por sistemas micro processados da marca *Full Gauge*, Modelo *TIC 17*.

A alimentação dos sistemas foi realizada utilizando-se bomba peristáltica *Masterflex* Modelo *HV 07523-50*, montada com dois cabeçotes *Masterflex* Modelo *7518-00*. A ultrafiltração do lodo foi realizada por uma bomba com um conjunto de cabeçotes idêntico ao utilizado no sistema de alimentação.

Os módulos de membranas foram idênticos aos utilizados no Experimento II. O fluxo médio específico para cada membrana foi de $7,22 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Foram construídos quatro módulos de ultrafiltração e, enquanto dois deles estavam sendo utilizados para a ultrafiltração, os outros dois permaneciam imersos na solução de hipoclorito de sódio (*NaClO*) a 0,5%. O tempo de imersão na solução de *NaClO* foi de 24 horas. Após este período, os módulos foram lavados com água corrente de torneira para remoção das incrustações superficiais.

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam o esquema e a fotografia do aparato laboratorial utilizado durante este experimento.

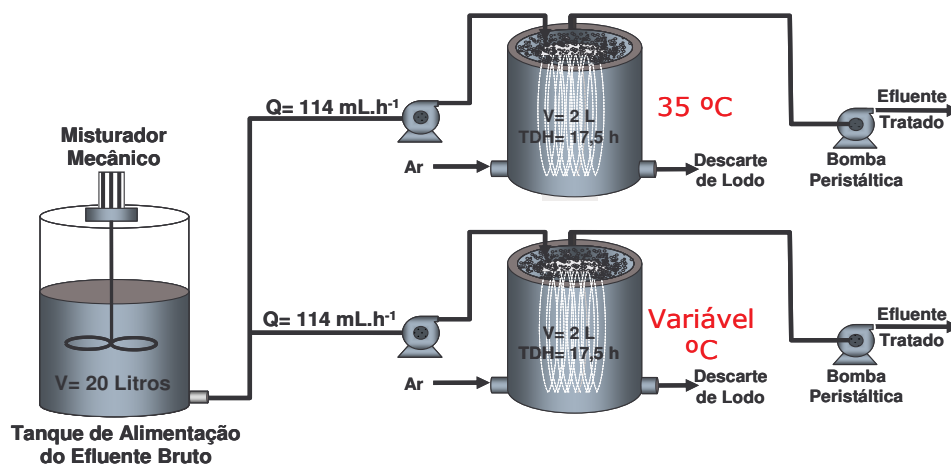


Figura 4.8. Esquema dos sistemas de tratamento do efluente composto por dois biorreatores a membranas no Experimento III.



Figura 4.9. Fotografia das plantas pilotos laboratoriais composta por dois biorreatores a membranas utilizadas durante o Experimento III.

4.3.3. Tratamentos realizados

O experimento foi realizado em três fases, descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Fases dos tratamentos de acordo com o aumento da temperatura.

Fases	Características
1ª Fase	Essa etapa compreende os primeiros 15 dias do experimento, em que a temperatura do reator termofílico atingiu 45°C.
2ª Fase	Etapa intermediária com uma duração de 15 dias, onde a temperatura foi aumentada gradualmente de 45°C para 55°C.
3ª Fase	Etapa em que o reator termofílico foi mantido na temperatura de 55°C, com a duração de 9 dias.

Ambos os reatores iniciaram os tratamentos com a temperatura de 35°C. A temperatura de reator 01 se manteve fixa enquanto que, no reator 02, a temperatura sofreu os acréscimos seguintes:

- No segundo dia, a temperatura foi aumentada para 37°C; após dois dias, aumentada para 39°C. No sexto dia, a temperatura atingiu 40°C. Na 1ª fase, a temperatura do reator termofílico atingiu a temperatura de 45°C, sendo que, no reator mesofílico, a temperatura foi mantida à 35°C.
- Na segunda fase, no tratamento termofílico, a temperatura do tratamento começou em 47°C, atingindo a temperatura de 48°C no terceiro dia, e, 50°C no quarto dia. Após 6 dias, a temperatura do reator termofílico atingiu 55°C, a temperatura foi sendo aumentada em 1°C por dia.
- Na 3ª fase, a temperatura foi mantida em 55°C.

4.3.4. Coleta, periodicidade e análises realizadas

Para o acompanhamento dos parâmetros operacionais da planta foram analisados os seguintes parâmetros nos efluentes bruto e tratado: *DQO*, cor, condutividade, *ST*, *SST*, dureza, pH, temperatura e vazão. No reator biológico foram analisados os seguintes parâmetros: *ST*, *SST* e oxigênio dissolvido.

As análises foram realizadas de acordo com (APHA, 1998) - *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. A obtenção dos parâmetros operacionais foi idêntica à obtenção dos parâmetros operacionais para o Experimento II.

4.3.5. Análise do perfil genético

Os perfis genéticos das comunidades microbianas presentes nos reatores foram avaliados pela técnica da Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante – DGGE (MUYZER *et al.*, 1993). Utilizou-se olígos iniciadores específicos para os grupos de bactérias totais. Na Tabela 4.7, estão representadas as seqüências dos *primers* para os grupos indicados.

4.3.5.1. Extração do DNA total

Para a extração do DNA total, a amostra foi coletada, centrifugada e lavada três vezes em tampão fosfato (KH_2PO_4 0,2M, Na_2PO_4 0,2M, pH 7,00). O precipitado, em torno de 200 mg de lodo biológico, foi ressuspensionado em 2 ml de solução de lise (150 mM de *NaCl*, 100 mM de *EDTA*, 5 mg de lisozima. ml^{-1}) e incubado à 37°C, durante 2 h. Em seguida, 5,0 mg de protease K. ml^{-1} (Sigma P5147) foram adicionados à solução e esta, incubada à 50°C, por 15 minutos. Em seguida, adicionou-se, à mistura, 2 ml da solução de SDS (100 mM de *NaCl*, 500 mM de Tris *HCl*, 10% de SDS), incubando a mistura por 5 minutos, em temperatura ambiente. Após esta etapa, a solução foi congelada em nitrogênio líquido e descongelada à 65°C, em três ciclos.

Para a separação do DNA, misturou-se a amostra utilizando-se vortex por 3 a 5 minutos, adicionando-se, em seguida, 500 μ L de fenol- clorofórmio, e 500 μ L de clorofórmio: álcool iso-amílico (24:1, v/v). A amostra foi novamente agitada no vortex e centrifugada à 7000 rpm, por 30 minutos. Recuperou-se a sua fase aquosa e adicionou-se a ela 30 ml de acetato de sódio 3 M pH 5,0-6,0 (usando, alternativamente, acetato de amônio). Precipitou-se o DNA adicionando-se 2,5

volumes de etanol absoluto (*overnight*). Em seguida, centrifugou-se a amostra à 3000 rpm, por 10 minutos. Lavou-se o DNA com 300 ml de etanol 70%, invertendo-se o tubo várias vezes. Centrifugou-se a amostra rapidamente, descartando-se dela o sobrenadante e secando-a à temperatura de 37°C. Ressuspendeu-se o precipitado em 100 ml, em água milli-Q esterilizada. O DNA foi, posteriormente, purificado utilizando-se o Kit *Wizard DNA Clean-Up System* (Promega), segundo as instruções de uso do fabricante.

4.3.5.2. Reação de Polimerase em Cadeia (PCR)

Para amplificar a região do gene rDNA 16S, foram utilizados os iniciadores universais F984GC/ R1378 (Tabela 4.6). De modo a proceder à amplificação, em cada tubo de reação foram adicionados: 5 ml do tampão da enzima 5 X, 200 mM de cada deoxinucleotídeo trifosfatado ; 0.2 mM do *primer* F984GC; 0,2 mM *primer* R1378; 1,0 µL de BSA – albumina sérica bovina, 0,5µl de formamida deionizada - ; 10 ng de DNA de cada amostra; 2,5 U de GoTaq DNA polimerase® (Promega), água Milli-Q esterilizada, para um volume final de 25 ml de reação.

A PCR foi realizada em termociclador (*Mastercycler Gradient, Eppendorf – Germany*), nas seguintes condições: inicialmente, a amplificação foi realizada utilizando-se um *touchdown* PCR (DON *et al.*, 1991; VAN ELSAS e WOLTERS, 1995) para a redução de amplificações inespecíficas. Durante essa etapa, a temperatura de anelamento foi de 10°C acima da temperatura de anelamento esperada (65°C), caindo de 2 em 2°C até à temperatura de 55°C, gerando 11 ciclos iniciais. Após essa etapa, 25 ciclos foram repetidos, com a temperatura de anelamento de 55°C. A etapa de desnaturação inicial das fitas de DNA foi de 5 minutos à 94 °C e, após a etapa de anelamento, seguiu-se a etapa de extensão de 2 minutos à 72°C, para todos os ciclos, sendo o último ciclo com extensão final de 10 minutos, à 72°C.

Tabela 4.6. Seqüências de iniciadores universais usados para a amplificação de PCR fragmentos de 16rDNA.

Primers	Seqüência 5' → 3' (16S rDNA Targed)	Referência
F984GC	AACGCGAAGAACCCTTAC (Bacteria totais)	HEUER & SMALLA, 1997
R1378	CGGTGTGTACAAGCCCCGGGAACG (Bacteria totais)	HEUER & SMALLA , 1997
GC-Clamp	CGCCCGGGGCGCGCCCCGGGCGGGGCGGG GGCACGGGGG, 5' Ligado a F984GC	

4.3.5.3. Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante (DGGE)

A eletroforese foi realizada utilizando-se o equipamento *DCodeã Universal Mutation Detection System* (BIO-Rad – Califórnia USA). Os produtos de PCR foram aplicados em volume de 20 µL, diretamente no gel de poliacrilamida (acrilamida:bisacrilamida 37,5:1) a 0,8 % (p/v), em tampão trisacetato-EDTA – TAE 1X (Tris base 40 mM; ácido acético glacial 20 mM; $Na_2.EDTA.2H_2O$ 10 mmol L⁻¹, pH 8,0), preparado com gradiente desnaturante variando de 40 a 58%. O gradiente foi formado a partir da mistura de duas soluções-estoque de poliacrilamida, uma com 100% dos agentes desnaturantes, formamida deionizada 40% e uréia 7 mol.L⁻¹, e outra, sem esses agentes desnaturantes, pelo formador de gradiente (Modelo *475 Gradient Delivery System* – BIO-Rad Califórnia, USA). Além das soluções-estoque para a formação do gradiente, foram utilizados 125 µL de persulfato de amônio – APS (polimerizador) -, 16 µL de TEMED – N,N,N',N'-tetrametiletileno diamino (catalisador) -, e 100 µL do corante para visualização do gradiente de desnaturação (azul de bromofenol 0,5 %, xileno cianol 0,5 % e TAE 1X). O gel foi mantido no estande de montagem para polimerização. A eletroforese foi conduzida em temperatura de 60°C e voltagem constante de 50 V, durante 16 horas, condições estas consideradas as mais adequadas para as amostras em estudo. Ao término da eletroforese, o gel foi corado por 20 minutos com solução 1X de *SYBR GOLD*® (Sigma-Aldrich), conforme as recomendações do fabricante. A imagem do gel sob luz UV foi capturada e digitalizada pelo *Eagle Eye (II Still Video System)* (Stratagene – Califórnia USA).

4.3.5.4. Análise da diversidade genética

A análise da diversidade genética foi realizada utilizando-se da imagem do perfil do gel obtido pela técnica DGGE, na forma de arquivos digitais (padrão Tiff), com o auxílio do programa *Gel Pro Analyser*® 3.1 (*Media Cybernetics Inc., Maryland-USA*). Essas análises foram realizadas para o arquivo digital correspondente a cada gel, ou seja, a cada uma das amostras de lodo biológico. Os ajustes básicos do programa foram os seguintes:

- largura da raia: 10 pixels;
- altura mínima de banda: 2%;
- separação mínima de bandas: 0,5% Rf;
- raias retilíneas;

- correção de *Background*: nenhuma.

Dessa forma, e de modo interativo, as raias foram posicionadas e as bandas identificadas. É importante registrar que esses ajustes foram os que propiciaram a maior concordância entre as bandas detectadas pelo programa e as bandas detectadas visualmente, sendo, estas últimas, observações realizadas em imagens de fundo claro e bandas escuras. Obtidos os valores para os ajustes referidos, nos poucos casos em que as bandas detectadas pelo programa não correspondiam às detectadas visualmente, utilizou-se o recurso do programa para adição ou exclusão manual de bandas.

A diversidade de uma comunidade microbiana é função de dois componentes: o número total de diferentes classes, chamada de “Riqueza” e o índice de diversidade (NÜBEL *et al.*, 1999). No perfil eletroforético, obtido pela técnica de DGGE, as bandas exibidas podem não corresponder às diferentes espécies bacterianas, uma vez que várias espécies bacterianas possuem múltiplas cópias do 16S rDNA (diferentes operons rrN) com seqüências que apresentam microheterogeneidade e, assim, podem ser discriminadas pela técnica, resultando no aparecimento de várias bandas para uma mesma espécie (NÜBEL *et al.*, 1996). Desse modo, vários autores referem-se às bandas resultantes do gel de DGGE como unidades taxonômicas operacionais (UTOs). Estas correspondem às classes. Juntas compõem a “Riqueza”. Para medir a diversidade microbiana de comunidades complexas, como as encontradas no solo, faz-se o uso de índices de diversidade, como o Índice de Shannon-Weaver (também denominado Índice de Shannon-Wiener), índice mais comumente utilizado pelos ecologistas. Nele, as classes individuais (componentes da “Riqueza”) são ponderadas pelas suas abundâncias relativas. Este índice estima o grau de incerteza atrelado à identidade (classe a que pertence) de qualquer elemento individual (indivíduo), aleatoriamente selecionado de uma comunidade, o qual aumenta paralelamente à “Riqueza” (NÜBEL *et al.*, 1996; TÓTOLA & CHAER, 2002). O Índice de Diversidade de Shannon-Weaver apresenta valores mais altos na medida em que o número de elementos individuais está mais uniformemente distribuído entre as classes. Por exemplo, as UTOs existentes em dada comunidade.

Diferentes comunidades podem apresentar o mesmo índice de diversidade, porém, podem ser distintamente divergentes quanto a sua “Riqueza” (TÓTOLA & CHAER, 2002).

A estrutura da comunidade microbiana, presente nas amostras de lodo biológico, de acordo com o resultado da técnica de DGGE, foi avaliada com base nas seguintes variáveis: Riqueza (R) e Índice de Diversidade de Shannon-Weaver (H') (ATLAS & BARTHA, 1998; DILLY *et al.*, 2004).

A variável R foi obtida com base em uma matriz binária, na qual a ausência da banda, correspondente a cada UTO , era codificada como zero (0) e a presença, como um (1). Para cada temperatura, obteve-se a frequência de ocorrência de cada UTO pela contagem do número de presenças. O índice H' foi calculado com base na abundância, expressa como densidade ótica da banda na raia do gel, pela seguinte Equação 1.

$$H' = 2,3/N (N \log N - \sum ni \log ni) \quad (1)$$

Onde:

N = densidade ótica da raia, obtida pelo somatório das densidades óticas das bandas da raia;

ni = densidade ótica de cada banda, na raia.

4.3.6. Análise do perfil de ácidos graxos

A análise de ácidos graxos celulares pode ser utilizada para determinar-se a estrutura de comunidades microbianas e a condição fisiológica da comunidade microbiana presente nos reatores biológicos. O perfil desses ácidos graxos extraídos das amostras de cada reator servirá para detectar a composição da comunidade microbiana (WHITE, 1995; PIETINAKAINEN, *et al.* 200).

Os FAMES são identificados pelo tempo de retenção na coluna, comparativamente aos tempos de retenção dos padrões submetidos ao mesmo processo. A quantificação de cada ácido graxo é feita com base na determinação dos picos nos cromatogramas.

A análise de ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) consiste na esterificação dos lipídeos extraídos da amostra, seguindo-se da separação e identificação por cromatografia gasosa. Os FAMES são identificados pelo tempo de retenção na coluna, comparativamente aos tempos de retenção dos padrões submetidos ao mesmo processo. A quantificação de cada ácido graxo é feita com

base na determinação dos picos nos cromatogramas. Foi empregado o sistema *Sherlock Microbial Identification System* (MIDI, Microbial IDO, Newark, DE, EUA) para a análise da estrutura da comunidade microbiana que compunha as amostras de lodo biológico.

4.3.6.1. Preparo dos reagentes:

Reagente 1:

Adicionou-se 45 g de hidróxido de sódio (*NaOH*) em 150 ml de metanol (com qualidade para cromatografia) e em 150 ml de água deionizada. Homogeneizou-se a solução.

2. Reagente 2

Adicionou-se, lentamente, 325 ml de ácido hipoclorídrico 6N em 275 ml de metanol (com qualidade para cromatografia), homogeneizou-se a solução.

3. Reagente 3

Adicionou-se 200 ml de hexano (com qualidade para cromatografia) em 200 ml de éter de etil-terc-metil (com qualidade para cromatografia) e agitou-se.

4. Reagente 4

Adicionou-se 54 g de hidróxido de sódio (*NaOH*) e 120 g de cloreto de sódio (*NaCl*) em 450 ml de água deionizada.

4.3.6.2. Preparo das amostras:

Foi coletado e centrifugado em tubos de microcentrífugas cerca de 1ml de lodo biológico, à 7000 rpm, por 10 minutos. Após essa etapa, em torno de 40mg de lodo foram pesados em tubos de ensaio com tampa.

4.3.6.3. Etapas

a) Saponificação:

Adicionou-se 1 ml do reagente 1 e agitou-se no vortex, por 10 segundos. Verificou-se se os tubos estavam bem fechados, os quais foram colocados em banho-maria, por 5 minutos, à 100°C. Verificou-se novamente se os tubos estavam bem fechados. Foram agitados novamente no vortex, por 10 segundos e colocados em banho-maria por 25 minutos, à 100°C. Resfriou-se a mistura rapidamente, em água à temperatura ambiente.

b) Metilação

Adicionou-se 2 ml do reagente 2. Verificou-se novamente se as tampas estão bem fechadas. Os tubos foram colocados no banho-maria, por 10 minutos, à 80°C. Resfriou-se a mistura rapidamente, em água à temperatura ambiente.

c) Extração

Adicionou-se 1,25 ml do reagente 3; a solução foi agitada em agitador circulatório, em baixa rotação, por 10 minutos. A fase aquosa (inferior) foi removida e descartada.

d) Lavagem

Adicionou-se 3 ml do reagente 4. Agitou-se novamente a mistura em agitador com baixa rotação, por 5 minutos. Retirou-se dela 2/3 da fase superior. Essa quantidade é suficiente para a análise em cromatografia gasosa.

Os ácidos graxos foram extraídos, metilados e analisados por cromatografia gasosa empregando-se o sistema *Sherlock Microbial Identification System* (MIDI, Microbial IDO, Newark, DE, EUA) para a análise da estrutura da comunidade microbiana que compunha as amostras de lodo biológico.

Essa técnica é largamente utilizada para avaliação da distribuição temporal e espacial de populações bacterianas; é amplamente utilizada em estudos de microbiologia ambiental e ecologia microbiana (MUYZER, 1999).

O objetivo da análise do perfil genético das comunidades microbianas foi verificar se, com o aumento da temperatura, quando transicionadas da faixa mesofílica para a faixa termofílica, essas comunidades mudariam ou se adaptariam às novas condições do meio.

Para verificar tal alteração das características e os comportamentos da microbiota, foram montados dois sistemas de BRM, em paralelo, com o mesmo lodo mesofílico utilizado nas Fases I e II. Os dois sistemas partiram da temperatura inicial de 35°C. No primeiro sistema BRM, a temperatura foi mantida constante durante todo o desenvolvimento do estudo. No segundo BRM, a temperatura foi gradativamente aumentada em 1°C/dia até a temperatura final de 55°C. Para a comparação da microbiota, foram retiradas amostras dos dois reatores (temperatura fixa em 35°C e temperatura crescente). As amostras foram

retiradas a cada aumento de 5°C (35, 40, 45 50 e 55°C) e comparadas com as amostras mantidas à temperatura-padrão de 35°C.

Os perfis genéticos das comunidades microbianas presentes nos reatores foram realizados no Laboratório de Biotecnologia e Biodiversidade para Meio Ambiente (LBBMA) do Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa.

A técnica utilizada foi a da Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante DGGE (MUYZER et al., 1993). Utilizou-se oligos iniciadores específicos para os grupos de bactérias totais. A análise do perfil genético teve as seguintes fases:

- Extração do DNA total.
- Amplificação da região do gene rDNA 16s pela Reação de Polimerase em Cadeia (PCR).
- Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante (DGGE) em gel de poliacrilamida variando de 40 a 58%. A eletroforese foi conduzida em temperatura de 60°C e voltagem constante de 50 V, durante 16 horas, condições estas consideradas as mais adequadas para as amostras em estudo. Ao término da eletroforese, o gel foi corado por 20 minutos com solução 1X de *SYBR GOLD®* (Sigma-Aldrich), conforme as recomendações do fabricante. A imagem do gel, sob luz UV, foi capturada e digitalizada pelo *Eagle Eye (II Still Video System)* (*Stratagene – Califórnia/USA*)
- Análise da diversidade genética foi realizada utilizando-se a imagem do perfil do gel obtida pela técnica DGGE, na forma de arquivos digitais (padrão Tif), com o auxílio do programa *Gel Pro Analyser® 3.1* (*Media Cybernetics Inc., Maryland-USA*).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. EXPERIMENTO I - COMPARAÇÃO E DESEMPENHO DOS SISTEMAS LAC E BRM

5.1.1. Caracterização do efluente

Os efluentes utilizados neste experimento foram caracterizados anteriormente ao tratamento biológico. Os resultados da caracterização do efluente bruto estão descritas na Tabela 5.1. As médias encontradas foram obtidas a partir de 15 medições.

Pode-se observar que todos os parâmetros físico-químicos variaram consideravelmente, o que pode ser constatado pelos elevados valores dos desvios padrões das análises. Tal variação não foi proposital, mas devido a estes efluentes terem sido coletados diretamente na indústria, a qual apresenta grandes variações no processo e na qualidade da matéria-prima, tal variação se torna comum quando se trabalha com este tipo de efluente. Podem-se evitar estas variações na qualidade utilizando-se efluentes sintéticos, embora eles não representem à realidade.

Tabela 5.1. Caracterização do efluente bruto utilizado nos sistemas de tratamento de efluentes por LAC e BRM

PARÂMETRO	LOCAL	BIORREATORES					
		LAC			BRM		
		T1-35°C	T2-45°C	T3-55°C	T4-35°C	T5-45°C	T6-55°C
Vazão, L.h ⁻¹	Entrada	0,396±0,2	0,396±0,2	0,396±0,2	0,396±0,2	0,396±0,2	0,396±0,2
Temperatura, °C	Reator	35±0,2	45±0,2	55±0,2	35±0,2	45±0,2	55±0,2
pH	Entrada	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2
DQO, mg.L ⁻¹	Entrada	346±89	562±133	767±135	444±136	403±40	362±100
	Saída	100±26	121±31	179±50	77±16	71±19	74±14
	E (%)	70±8	78±5	77±5	81±5	82±6	79±4
Carga de DQO, Kg.m ⁻³ .d ⁻¹	Entrada	0,78±0,20	1,27±0,30	1,74±0,30	1,01±0,31	0,93±0,25	0,82±0,23
	Saída	0,23±0,06	0,27±0,07	0,41±0,11	0,18±0,01	0,19±0,01	0,18±0,01
	E (%)	70±8	78±5	77±5	81±4	79±3	77±6
SST, mg.L ⁻¹	Entrada	350±140	581±713	1128±685	559±401	309±240	435±306
	Saída	39±20	54±19	88±113	100	100	100
	E (%)	89±8	73±23	92±6	100	100	100
Turbidez, UNT	Entrada	896±310	435±445	1515±1246	841±359	337±271	378±166
	Saída	7±5	35±21	165±90	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
	E (%)	99±1	87±8	74±32	100±0,0	100±0,0	100±0,0
Alcalinidade, mg.L ⁻¹ HAc.	Entrada	578±159	499±120	404±94	439±98	565±159	503±102
	Saída	66±22	59±25	50±22	14±7	22±1	19±5
	E (%)	89±3	87±8	86±8	96,9±1,3	95,9±1,1	95,9±1,6
Dureza, mg.L ⁻¹ CaCO ₃	Entrada	322±47	519±85	384±38	282±36	439±88	387±35
	Saída	267±18	447±67	281±47	231±23	307±36	216±23
	E (%)	16±11	13±13	27±11	18±8	29±8	44±6

A *DQO* foi o parâmetro de controle adotado para analisar o desempenho das eficiências de tratamento dos sistemas. Os gráficos com os valores de *DQO* no efluente bruto estão apresentados na Figura 5.1. As concentrações de *DQO* do efluente de entrada do LAC apresentaram variações significativas para o Teste Tukey durante os tratamentos a 35, 45 e 55 °C. Estas variações ocorreram apesar do controle eficaz no aparato laboratorial de tratamento, tendo sido ocasionadas pelas variações dos efluentes industriais. LOURES (2007), trabalhando com efluentes industriais, verificou este comportamento nas concentrações de *DQO* em outras circunstâncias nas quais foram utilizados efluentes industriais.

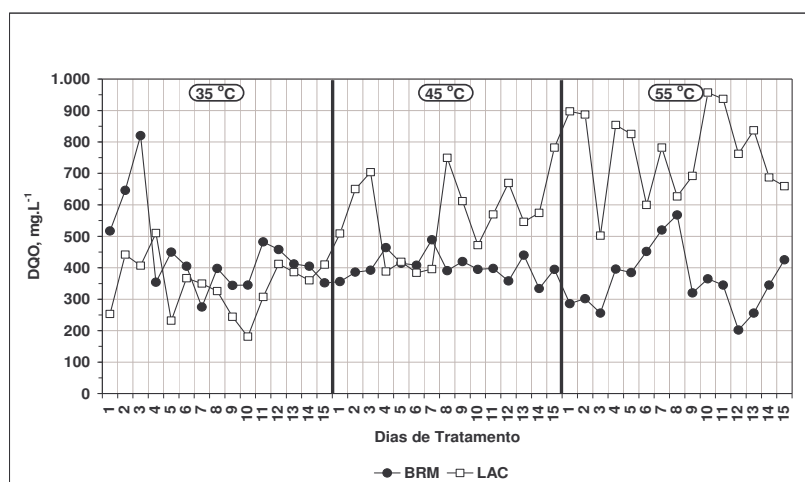


Figura 5.1. Valores de *DQO* no efluente bruto antes dos tratamentos biológicos com os sistemas de LAC e BRM.

Possivelmente, esta variação significativa dos valores de *DQO* bruta nos efluentes de entrada foi devida às variações das concentrações de *SST* dos efluentes brutos (Figura 5.2), contribuindo, dessa forma, para a variação dos valores de *DQO* bruta.

Durante o período de tratamento nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, as diferenças entre os valores de *DQO* dos efluentes de alimentação do LAC e do BRM foram significativas ao nível de 5% de probabilidade para o Teste F. Durante os tratamentos, o LAC sempre operou, para cada temperatura, com uma maior concentração de *DQO*, se comparado ao BRM (Figura 5.1).

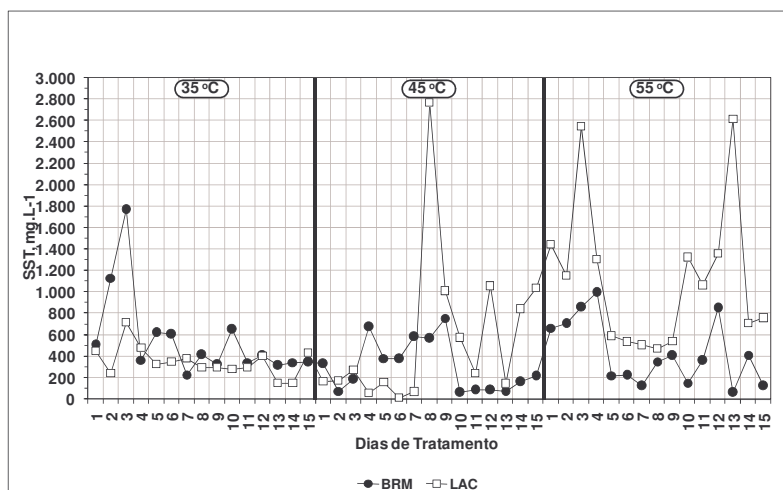


Figura 5.2. Concentrações de SST no efluente bruto na entrada dos biorreatores biológicos dos sistemas LAC e BRM.

Foram verificadas também variações para as concentrações de turbidez, assim como ocorreu com as concentrações de SST, como se observa na Tabela 5.1.

Porque os efluentes originaram-se da mesma máquina de papel, esperava-se maior uniformidade nas concentrações dos compostos físico-químicos analisados. No entanto, devido às diferenças nos processos e nos insumos químicos, esta variação foi inevitável, o que influenciou também os parâmetros.

Esta variação interfere diretamente na condução do experimento, uma vez que dificulta a comparação entre os tratamentos. Poderiam ser evitadas essas variações entre tratamentos tratando-se os efluentes paralelamente. Dessa forma, toda variação verificada em um sistema afetaria ambos os sistemas.

5.1.2. Condições operacionais dos sistemas

A Tabela 5.2 apresenta as condições operacionais dos sistemas LAC e BRM durante a condução do estudo. As taxas e os parâmetros que foram utilizados neste estudo estão de acordo com os dados da literatura (METCALF e EDDY, 2003; SPERLING, 2005), bem como os diversos parâmetros adotados e utilizados em sistemas de tratamento de efluentes em escalas industriais.

A temperatura da água branca, no momento da coleta, na fábrica de papel, foi de 48°C. No entanto, a temperatura de tratamento inicial foi de 35°C, estando de acordo com as temperaturas praticadas para os sistemas mesofílicos. Segundo BROCK (1997), BAILEY *et al.* (1986), BITTON (2005), as faixas de temperatura para os microrganismos mesofílicos variam entre 15 e 45°C,

podendo chegar até 47°C. METCALF e EDDY (2003) definiram uma faixa de temperatura para os termofílicos entre 35 e 75°C, com crescimento ótimo entre 55 e 65°C. Devido às divergências entre os autores, sobre as faixas de temperatura ótimas para os desenvolvimentos dos microrganismos, adotaram-se, neste estudo, as temperaturas de 35°C como mesofílica, 45°C como termotolerante e 55°C como termofílica. No Brasil, a resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, determina que a temperatura máxima de lançamento de efluentes nos corpos d'água seja inferior aos 40°C. Dessa forma, os efluentes tratados nas temperaturas de 45 e 55°C devem ser resfriados antes de seu lançamento nos cursos d'água ou, ainda, reutilizados no processo como água quente para lavagem de áreas e/ou como água de selagem das bombas, embora a sua utilização, nas selagens das bombas, nessas temperaturas, sempre acarretará em perda de eficiência (MATIDA, 2002).

O pH foi corrigido antes do tratamento, de forma a garantir a neutralidade dos efluentes. Segundo GRADY *et al.* (1999), o pH neutro, próximo de 7, é ideal para o desenvolvimento da maioria dos microrganismos que atuam na degradação dos compostos presentes no efluente.

Embora as cargas de *DQO* tenham variado entre os tratamentos, os valores das cargas orgânicas aplicadas podem ser considerados usuais para este tipo de sistema. METCALF e EDDY (2003) citam a faixa típica de carga de *DBO* para sistemas de Lodos Ativados Convencional de mistura completa da ordem de 0,3 a 1,6 Kg *DBO*.m⁻³.d⁻¹. De igual modo, a carga hidráulica está dentro das faixas ideais adotadas em sistemas industriais e citadas em literatura (METCALF e EDDY, 2003; SPERLING, 2005).

As concentrações de *SST* nos reatores estão dentro das faixas usuais adotadas para sistemas de LAC (METCALF e EDDY, 2003; SPERLING, 2005). Nos sistemas BRM, as concentrações adotadas de *SST* no biorreator são, geralmente, da ordem de 5.000 a 20.000 mg.L⁻¹ (METCALF e EDDY, 2003).

As concentrações de alimento/microrganismo (*A/M*), taxa de utilização de substrato (*U*), oxigênio dissolvido (*OD*) e idade do lodo (θ_c) estão dentro dos limites recomendados por METCALF e EDDY (2003) e VON SPERLING (2005).

Tabela 5.2. Condições operacionais dos sistemas de LAC e BRM

PARÂMETRO	UNIDADE	BIORREATORES					
		LAC			BRM		
		T1-35°C	T2-45°C	T3-55°C	T4-35°C	T5-45°C	T6-55°C
Vazão	L.h ⁻¹	0,396	0,396	0,396	0,396	0,396	0,396
Temperatura	°C	35±0,2	45±0,2	55±0,2	35±0,2	45±0,2	55±0,2
pH	-	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2	7,0±0,2
Carga Orgânica ¹	Kg.m ⁻³ .d ⁻¹	0,78±0,20	1,27±0,30	1,74±0,30	1,01±0,31	0,93±0,25	0,82±0,23
Carga hidráulica	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	2,26±0,10	2,26±0,10	2,26±0,10	2,26±0,10	2,26±0,10	2,26±0,10
SST Reator	mg.L ⁻¹	5577±635	4496±588	4418±771	6604±868	4845±941	5227±344
A/M	Kg DQO.Kg SSV ⁻¹ .d ⁻¹	0,14±0,04	0,28±0,08	0,41±0,10	0,15±0,06	0,21±0,11	0,16±0,05
U	Kg DQO.Kg SSV ⁻¹ .d ⁻¹	0,10±0,03	0,22±0,07	0,31±0,08	0,12±0,05	0,17±0,01	0,12±0,05
OD ²	mg.L ⁻¹	3,2±0,8	2,8±0,6	-	3,6±0,5	3,0±1,2	-
Idade do Lodo	Dias	10,3±0,4	10,4±0,5	10,5±0,8	10,5±0,2	10,5±0,2	10,5±0,2
TDH	Horas	10,6±0,1	10,6±0,1	10,6±0,1	10,6±0,1	10,6±0,1	10,6±0,1

¹Como DQO; ²Não foi possível medir os níveis de OD na temperatura de 55°C por limitação do equipamento.

5.1.3. Eficiências de tratamento

As eficiências dos sistemas estão apresentadas na Tabela 5.3. A Figura 5.3 apresenta os resultados de remoção de *DQO* para o LAC e BRM, nas três temperaturas estudadas.

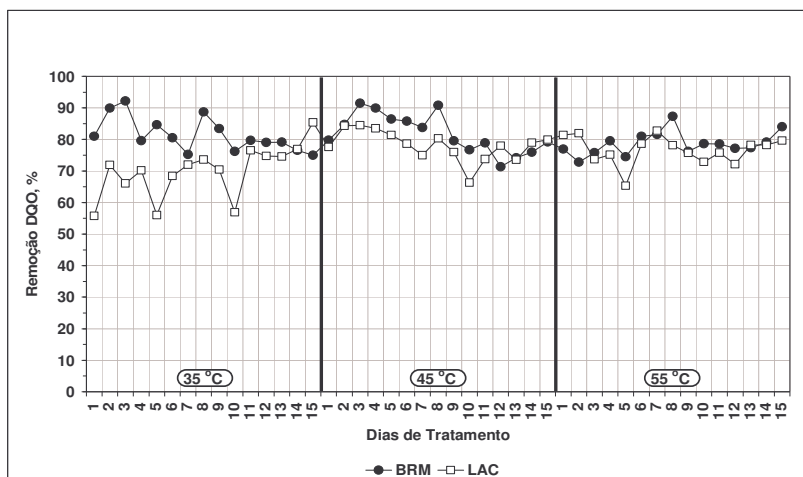


Figura 5.3. Comparação da Eficiência de remoção de DQO entre o BRM e LAC nas temperaturas de 35, 45 e 55° .

Todos os sistemas tiveram remoções médias de *DQO* acima de 70%. Percentual de uma boa remoção; porém, as concentrações de *DQO* dos efluentes tratados nos sistemas de BRM foram quase sempre menores se comparados com os valores obtidos nos sistemas LAC, independentemente das cargas aplicadas (Figura 5.4).

LERNER *et al.*, (2007), em um estudo comparativo realizado para verificar os desempenhos entre um sistema de Lodos Ativado Convencional e um sistema de Biorreator a Membranas, ambos tratando água branca de máquina de papel, verificaram aproximadas eficiências de remoções de *DQO* entres os dois sistemas, embora o sistema BRM tenha se mostrado um pouco mais eficaz.

No tratamento realizado à temperatura de 35°C, as eficiências de remoções de *DQO* do BRM e do LAC foram significativas (Tukey, $p= 0,05$), enquanto que, nas demais temperaturas, tal significância não foi observada. Entretanto, esta diferença não pode ser atribuída ao efeito “temperatura”, uma vez que os efluentes de entrada sofreram variações significativas (Figura 5.1).

A Figura 5.4 mostra as concentrações de DQO nos efluentes tratados para LAC e BRM.

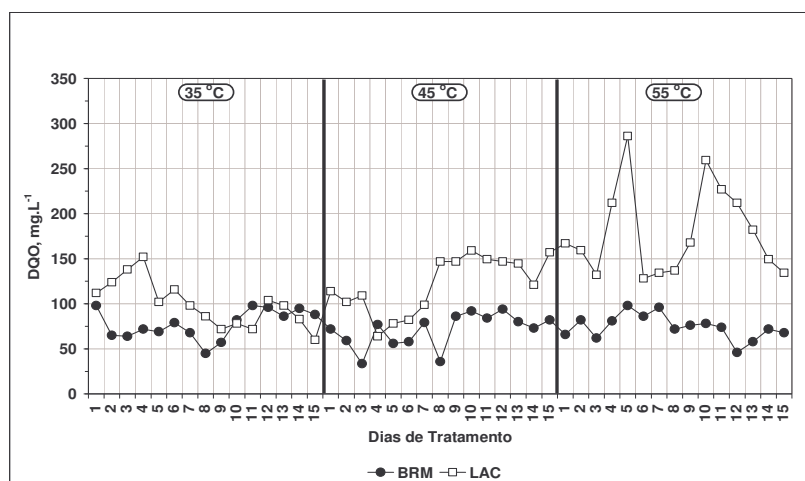


Figura 5.4. *DQO* no efluente tratado pelos sistemas de LAC e BRM nas temperaturas de 35°C (mesofílica), 45°C (termotolerante) e 55°C (termofílica).

As maiores *DQO*'s nos efluentes tratados dos sistemas LAC foram, possivelmente, devidas à sua ineficiência em reter os *SST*, sobretudo, após o aumento da temperatura de 35°C para 45°C e, posteriormente, para 55°C. Outro aspecto que possivelmente tenha contribuído para uma maior concentração de *DQO* no efluente tratado foi o fato de que a *DQO*, na entrada dos reatores, foi maior para o LAC, o que pode ter influenciado na floculação e, conseqüentemente, na retenção de sólidos.

As concentrações de *SST* no efluente tratado para o LAC foram superiores às concentrações de *SST* no sistema BRM. Os valores médios de *SST* nos efluentes tratados para o LAC foram iguais a 39 ± 20 , 54 ± 19 e 88 ± 113 mg.L⁻¹, para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente, enquanto que, para os efluentes tratados do BRM, não foram detectados, como era esperado.

LAPARA e ALLEMAN, (1999) citaram diversos trabalhos de pesquisadores que utilizaram sistemas termofílicos como alternativa de tratamento biológico. Porém, devido à floculação deficiente dos sistemas, estes não obtiveram êxito. De acordo com JENKINS *et al.* (2001), os sistemas de LAC apresentam elevada eficiência de remoção dos compostos orgânicos. No entanto, a capacidade de floculação é bastante sensível às condições ambientais e às características dos reatores. Este inconveniente não é observado em sistemas de BRM, onde as concentrações de *SST* no efluente tratado independem da capacidade dos microrganismos de flocularem no biorreator.

As maiores concentrações de SST nos efluentes tratados do sistema LAC foram devidas, essencialmente, à baixa capacidade de floculação observada nestes sistemas. Na medida em que se aumentava a temperatura, a floculação foi prejudicada, o que produziu um efluente tratado com elevadas concentrações de turbidez, sobretudo na temperatura de 55°C. A Figura 5.5 apresenta os valores de turbidez para os efluentes tratados nas diferentes temperaturas.

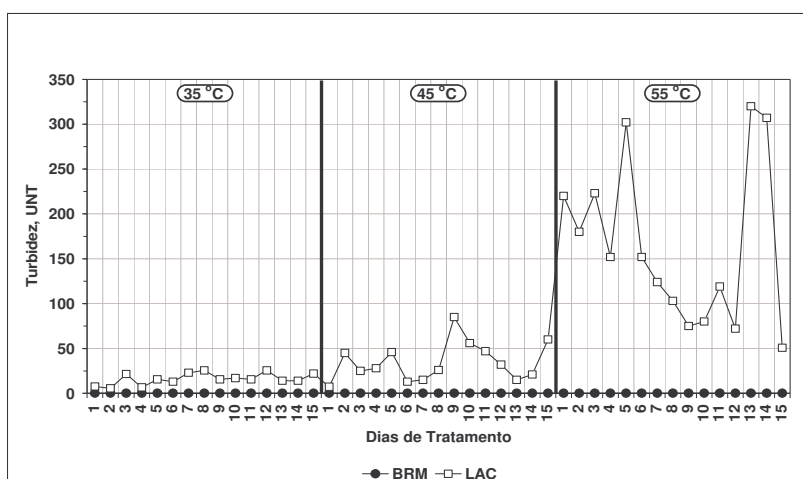


Figura 5.5. Turbidez nos efluentes tratados, nas três temperaturas de tratamento (35, 45 e 55°C) para BRM e LAC.

Os resultados da turbidez do efluente tratado não diferiram significativamente entre si em nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey para as temperaturas de 35 e 45°C. No entanto, o tratamento realizado à temperatura de 55°C mostrou diferenças significativas das demais temperaturas, pelo mesmo teste.

Embora o crescimento disperso tenha ocorrido também no BRM, não houve influência na qualidade do efluente tratado, devido à capacidade que o BRM tem de reter os sólidos no reator, demonstrando ser um sistema adequado para operar em condições termofílicas e para produzir um efluente tratado livre de sólidos e de baixa turbidez, que pode ser reutilizado no processo. O valor máximo de turbidez exigido para a água de processo é de 5 UNT (FILHO, 1981; SPRINGER, 1993; SANTIAGO, 2002). BARNES (1994) cita o valor de 10 UNT como padrão de qualidade da água utilizada na fabricação de papéis de imprimir e escrever. Devido a esta restrição, somente a água tratada através do BRM tem capacidade de ser reaproveitada sem causar maiores transtornos à máquina. As limitações nos valores de turbidez são devidas à presença de sólidos em suspensão que acarretam vários problemas: reduções de drenagens da água na

mesa plana e nas seções de desaguamento, aumento da sujidade no papel, aumento da colmatação das telas e dos feltros, redução da vida útil das telas e dos feltros, aumento dos desgastes dos equipamentos, entupimento dos chuveiros de alta pressão e aumento nos requerimentos dos produtos químicos (BARNES 1994). Outro problema ocasionado pela presença de sólidos em suspensão no efluente é que estes absorvem grandes quantidades de químicos e aditivos, inclusive de corantes (WÖSTER e COSTA, 1994).

O aumento da turbidez no efluente tratado do LAC, ao se aumentar também a temperatura de tratamento, pode ser visualizado a partir das análises microscópicas, de onde se detectou o crescimento disperso das bactérias formadoras de flocos. Embora tenha havido floculação à temperatura de 55°C, esta floculação foi deficiente e apresentou elevada concentração de bactérias dispersas na matriz do lodo (Figura 5.6).

O corante safranina cora células bacterianas ao reagir com a parede das células. À temperatura de 35°C, observou-se a coloração das bactérias formadoras de flocos e das bactérias filamentosas. Com o aumento da temperatura pode ser observado um aumento da coloração da matriz do lodo, confirmando o crescimento disperso, principalmente aos 55°C.

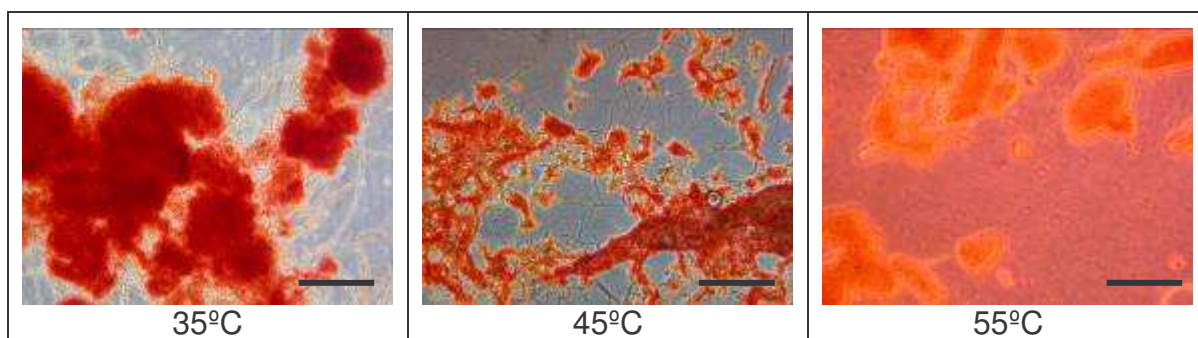


Figura 5.6. Fotomicrografias dos lodos utilizando safranina para evidenciar o crescimento disperso das células à temperatura de 55°C. (Microscopia de contraste de fase. Aumento 100x; barra= 500µm)

Embora diversos pesquisadores tenham verificado crescimento disperso em condições termofílicas, a razão desta baixa floculação ainda é desconhecida (LAPARA e ALLEMAN, 1999). No entanto, ZITA *et al.* (1997) citam que a baixa capacidade de floculação, sob condições termofílicas, ocorre porque altas temperaturas reduzem a tensão superficial líquida e isso interfere na hidrofobicidade bacteriana, ocorrendo um enfraquecimento da capacidade de formação de flocos biológicos. Outro fator que possivelmente contribuiu para o

crescimento disperso, à temperatura de 55°C, pode ter sido a ausência de bactérias filamentosas no lodo biológico (Figura 5.6 e 5.9). JENKINS *et al.* (2003) afirmam que as bactérias filamentosas têm a função de suporte para formação do floco biológico. Na temperatura de 55°C não houve crescimento de bactérias filamentosas, o que pode ter contribuído para o crescimento disperso. Na ausência de bactérias filamentosas, a floculação é prejudicada, pois ela ocorre somente pela adesão entre as bactérias formadoras de flocos resultando em flocos com baixas resistências físicas, os quais são facilmente dispersos com a turbulência do reator.

As análises microscópicas do lodo por microscopia de luz direta e contraste de fase permitiram verificarem-se as características morfológicas dos microrganismos presentes no LAC e BRM para as temperaturas de 35, 45 e 55°C.

A Figura 5.7 apresenta as fotomicrografias dos lodos, à temperatura de 35, 45 e 55°C nos reatores LAC e BRM, para a Fase I.

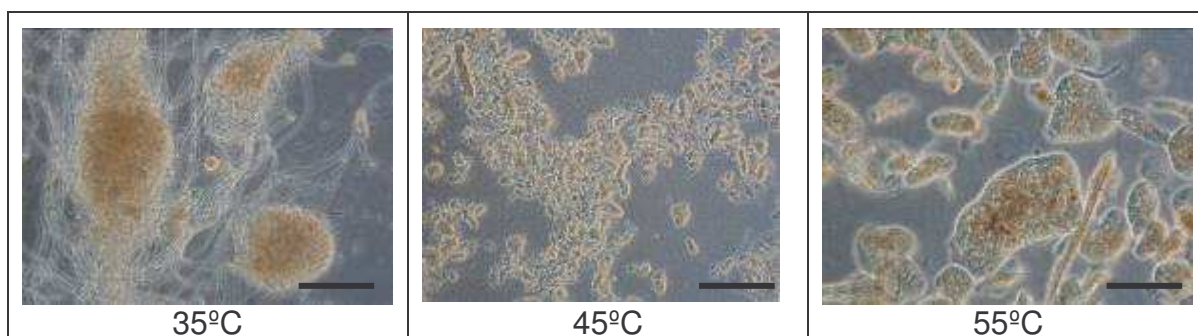


Figura 5.7. Fotomicrografias dos lodos à temperatura de 35, 45 e 55°C, mostrando alterações nas espécies da microbiota do lodo com a mudança de temperatura do meio. (Microscopia de contraste de fase. Aumento de 100x; barra= 500µm).

Verifica-se que no tratamento realizado à temperatura de 35°C houve a predominância de flocos grandes com diâmetros maiores que 500µm, compostos de bactérias formadoras de flocos e a presença de bactérias filamentosas Tipo 021N. Segundo JENKINS *et al.* (2003), esta concentração de bactéria é tida como abundante, e que, possivelmente, ocasiona problemas de intumescimento filamentoso do lodo, prejudicando a floculação e a decantabilidade do lodo no decantador secundário e arrastando os sólidos no efluente tratado. Na temperatura de 45°C, os flocos apresentaram-se pequenos, com diâmetros menores que 100µm, observando-se a presença excessiva de bactérias filamentosas Tipo 021N e Tipo 0581. Na temperatura de 55°C, os flocos foram

médios, com diâmetros variando entre 100µm e 500µm, sendo formados essencialmente de bactérias formadoras de flocos; não foi observada a presença de bactérias filamentosas.

A Figura 5.8 apresenta os resultados de remoção de alcalinidade entre os tratamentos utilizando-se o sistema de tratamento LAC e BRM.

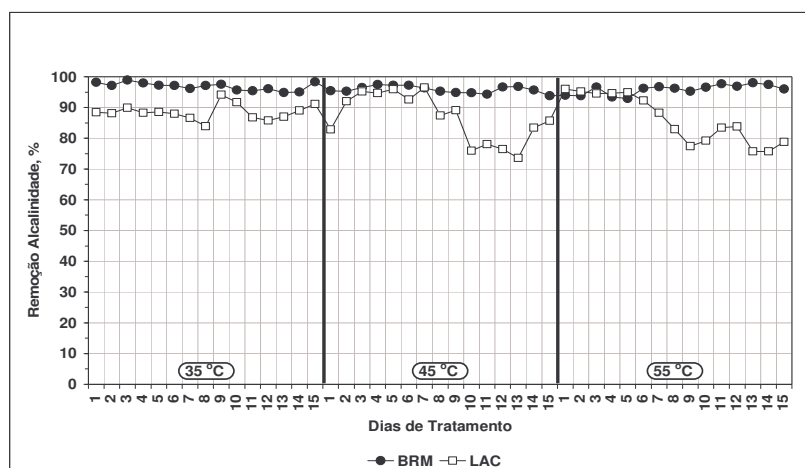


Figura 5.8. Remoção de alcalinidade pelos sistemas de tratamento por LAC e BRM para as três temperaturas de trabalho.

Nessa figura verifica-se que as remoções de alcalinidade nas três temperaturas (35, 45 e 55°C) foram superiores para o sistema de BRM. Este melhor desempenho foi devido, possivelmente, à precipitação e à retenção de carbonatos e bicarbonatos presentes no efluente. As médias das remoções de alcalinidade no sistema LAC foram $88,5 \pm 2,5$, $86,7 \pm 7,9$ e $86,2 \pm 7,8\%$ para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente. Para o BRM, as médias de remoção de alcalinidade foram $96,9 \pm 1,3$, $95,9 \pm 1,1$ e $95,9 \pm 1,6\%$ para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente.

Elevadas concentrações de alcalinidade na água branca tratada podem ser limitantes para a reutilização do efluente tratado na preparação de massa e na seção de formação da folha, por causarem mudanças nas cargas e interações químicas entre as fibras e o meio líquido. De acordo com BARNES (1994), os problemas que podem surgir com a elevação da alcalinidade estão relacionados ao aumento da corrosão, espumas, *pitch* - que são sujeiras na polpa e no papel -, deposições químicas, crescimento bacteriano e consumo de reagentes químicos. Este autor limita o valor máximo entre 40 e 75 mg.L⁻¹ de alcalinidade na água de processo.

As eficiências de remoção da dureza estão apresentadas na Figura 5.9.

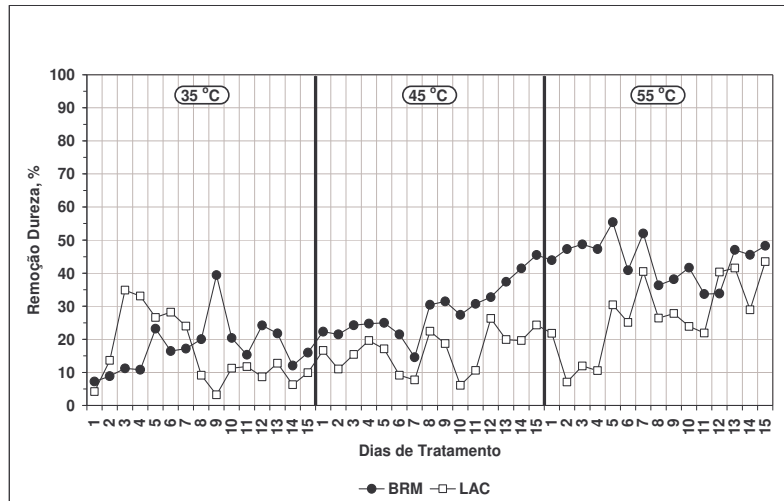


Figura 5.9. Remoção de dureza pelos sistema de tratamento por LAC e BRM, para as três temperaturas de trabalho.

Quanto à remoção da dureza, o sistema de tratamento de efluentes por LAC teve um desempenho inferior se comparado com o sistema BRM. Uma das explicações para este fato é que parte dos carbonatos e bicarbonatos presentes no efluente precipita e é retida no lodo que, no sistema LAC, é carregado no efluente tratado juntamente com os sólidos. Porém, no BRM, devido ao tamanho dos poros e à ausência de sólidos no efluente tratado, estes íons estão presentes em menor concentração. O maior valor de remoção da dureza para a temperatura de 55°C foi devido, possivelmente, à presença da dureza temporária ocasionada pelos bicarbonatos de cálcio e magnésio, os quais, pela ação do calor, levaram à precipitação os carbonatos destes íons.

A presença elevada de dureza na água de processo e, ou superclara, certamente, será um problema para o circuito de água da máquina de papel, uma vez que altas concentrações de dureza causam problemas de incrustações nas tubulações e equipamentos tais como chuveiros lavadores, telas desagüadoras, seção de secagem e outros. Adversidades como essas ocorrem em decorrência da cristalização e da precipitação dos sais de cálcio e magnésio (BARNES, 1994), principalmente, bem como dos silicatos, sulfatos e/ou oxalato (SPRINGER, 1993).

Os valores de dureza no efluente final para o tratamento com LAC foram 267 ± 18 , 439 ± 69 e 281 ± 47 mg.L^{-1} de CaCO_3 ; para o BRM foram de 231 ± 23 , 307 ± 36 e 216 ± 23 mg.L^{-1} CaCO_3 , para as temperaturas de 35, 45 e 55°C, respectivamente. Segundo BARNES (1994), o valor máximo exigido para a

dureza na água de processo é 100 mg.L^{-1} . FILHO (1981) cita valores genéricos de 150 mg.L^{-1} .

5.1.4. Conclusões do Experimento I

As principais conclusões verificadas para o Experimento I, com o qual se buscou comparar o desempenho de um sistema de LAC e um BRM no tratamento da água branca de uma máquina de papel, às temperaturas de 35, 45 e 55°C, foram:

- i) O BRM foi mais eficiente que o LAC na remoção dos compostos orgânicos e inorgânicos analisados, presentes na água branca da fábrica de papel.
- ii) Para remover os compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água branca, o BRM foi igualmente eficiente, tanto em condições termofílicas, quanto em condições mesofílicas.
- iii) O sistema BRM removeu praticamente todos os *SST* do efluente tratado, independentemente da temperatura e da carga aplicadas, enquanto que no LAC, com o aumento da temperatura, observou-se aumento da concentração de *SST*, devido ao crescimento biológico disperso.
- iv) A turbidez presente no efluente bruto foi quase integralmente removida pelo sistema BRM.
- v) Nos tratamentos termofílicos, tanto no LAC, quanto no BRM, houve uma mudança na estrutura e na composição dos flocos em relação ao tratamento mesofílico, não sendo observada a presença de bactérias filamentosas à temperatura de 55°C.

5.2. EXPERIMENTO II - DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE BRM SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA

Verificou-se, a partir dos resultados obtidos, que no EXPERIMENTO I do presente estudo havia melhor qualidade do efluente tratado no sistema BRM. Entre os resultados: maior retenção de sólidos, menores concentrações de turbidez, menores concentrações de alcalinidade, dureza e menores cargas orgânicas. No EXPERIMENTO II, por outro lado, foram estudados os desempenhos e os comportamentos de BRM operando nas condições mesofílicas (35 °C), termotolerantes (45 °C) e termofílicas (55 °C). Esta fase foi dividida em três etapas de acordo com a carga orgânica aplicada ao sistema: Etapa I, carga de 2,57 kg.m⁻³.d⁻¹; Etapa II, 4,75 kg.m⁻³.d⁻¹ e Etapa III, 9,43 kg.m⁻³.d⁻¹.

5.2.1. Condições operacionais dos sistemas

As condições operacionais dos sistemas BRM durante a Fase II estão apresentadas na Tabela 5.4. As cargas de *DQO* na Etapa I foram estabelecidas de acordo com METCALF e EDDY (2003), que determinam um faixa de 1,2 a 3,2 Kg *DQO*.m⁻³.d⁻¹. Na Etapa II, houve um aumento proposital de 84% para essas cargas. Na Etapa III, o aumento foi de 267% em relação à Etapa I e de 98% em relação à Etapa II. A carga hidráulica foi mantida constante em todas as etapas. As concentrações de *SST* e de *SSV* dos biorreatores mantiveram-se dentro das faixas recomendadas por METCALF e EDDY (2003) para *SST* (5 a 20 g.L⁻¹) e para *SSV* (4 a 16 g.L⁻¹). Comparando-se os valores da relação *A/M* com os dados apresentados por METCALF e EDDY (2003), verifica-se que os valores de *A/M* da Etapa I encontram-se dentro da faixa típica, que é de 0,1 a 0,4 Kg *DQO*.Kg *SST*⁻¹.d⁻¹ e acima, para as Etapas I e II.

Tabela 5.3. Parâmetros operacionais dos sistemas BRM nas três etapas de tratamentos em três temperaturas (35, 45 e 55 °C).

PARÂMETRO	UNIDADES	BIORREATORES A MEMBRANAS								
		ETAPA I, 2,57 kg.m ⁻³ .d ⁻¹			ETAPA II, 4,75 kg.m ⁻³ .d ⁻¹			ETAPA III, 9,43 kg.m ⁻³ .d ⁻¹		
		35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C
Carga Orgânica Volumétrica ¹	Kg.m ⁻³ .d ⁻¹	2,57±0,23	2,57±0,23	2,57±0,23	4,75±0,21	4,75±0,21	4,75±0,21	9,43±0,28	9,43±0,28	9,43±0,28
Carga hidráulica	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1
SST Reator	g.L ⁻¹	6,63±1,51	6,98±1,75	6,75±1,43	9,64±1,46	10,89±1,57	8,93±1,97	16,13±2,05	15,30±1,96	15,08±2,10
SSV Reator	g.L ⁻¹	3,54±0,90	3,79±0,89	3,60±0,63	5,86±1,37	5,84±1,31	4,62±1,40	10,53±2,00	9,25±1,81	8,31±1,71
SSF Reator	g.L ⁻¹	3,09±0,72	3,19±0,92	3,14±1,19	3,78±0,90	5,05±0,80	4,30±0,91	5,06±1,82	6,06±0,67	6,77±0,73
A/M	Kg DQO.Kg SSV ⁻¹ .d ⁻¹	0,37±0,09	0,35±0,09	0,36±0,08	0,46±0,09	0,40±0,07	0,50±0,12	0,54±0,08	0,56±0,08	0,57±0,09
U	Kg DQO.Kg SSV ⁻¹ .d ⁻¹	0,35±0,08	0,33±0,08	0,33±0,07	0,45±0,09	0,39±0,07	0,48±0,11	0,52±0,08	0,53±0,08	0,51±0,08
OD*	mg.L ⁻¹	2,60±0,8	2,8±0,6	-	2,60±0,6	2,5±0,8	-	1,20±0,5	1,0±0,4	-
Idade do Lodo	Dias	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1
TDH	Horas	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1	10,0±0,1

¹Como DQO. Vazão= 200 mL.h⁻¹, pH= 7±0,2 e n=30.

5.2.2. Caracterização do efluente e eficiência de tratamento

Os efluentes utilizados na Fase II foram caracterizados anteriormente ao tratamento biológico. Os resultados da caracterização físico-química dos efluentes brutos, efluentes tratados e eficiências de tratamentos estão descritas na Tabela 5.4. Verifica-se que o único parâmetro que sofreu variação em cada etapa foi a temperatura. Dessa forma, foi possível verificar o efeito da temperatura sobre as eficiências de remoção dos contaminantes. A vazão foi fixada em 200 mL.h^{-1} e o pH foi ajustado para a faixa de $7 \pm 0,2$.

A obtenção das cargas pré-estabelecidas de *DQO* foi alcançada a partir da mistura dos efluentes de duas fábricas de papel (papel imprimir e escrever, a partir de fibras virgens; papel miolo e capa, a partir de fibras secundárias) conforme descrito na metodologia. Os demais parâmetros variaram em função destas cargas de *DQO*.

Foram verificadas elevadas taxas de remoções de *DQO* para todos os tratamentos de efluentes realizados no Experimento II, utilizando-se o sistema de BRM. Entretanto, os tratamentos realizados às temperaturas de 35°C , demonstraram ser ligeiramente mais eficientes para remoção de *DQO*. Esta maior eficiência pode ser observada na Figura 5.10.

Tabela 5.4. Caracterização do efluente bruto, tratado e eficiência de tratamento dos sistemas de tratamento BRM nas Etapas I, II e III.

PARÂMETRO	LOCAL	BIORREATORES A MEMBRANAS								
		ETAPA I, 2,57 kg.m ⁻³ .d ⁻¹			ETAPA II, 4,75 kg.m ⁻³ .d ⁻¹			ETAPA III, 9,43 kg.m ⁻³ .d ⁻¹		
		35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C
Carga Orgânica Volumétrica, DQO, Kg.m ⁻³ .d ⁻¹	Entrada	2,57±0,2	2,57±0,2	2,57±0,2	4,75±0,2	4,75±0,2	4,75±0,2	9,43±0,3	9,43±0,3	9,43±0,3
	Saída	0,11±0,04	0,15±0,04	0,21±0,04	0,12±0,05	0,21±0,05	0,24±0,04	0,42±0,10	0,64±0,17	0,97±0,22
	E (%)	95,5±1,8	94,2±1,7	91,9±1,6	97,4±0,9	95,6±0,9	95,0±0,8	95,6±1,0	93,3±1,8	89,7±2,3
SST, g.L ⁻¹	Entrada	0,19±0,15	0,19±0,15	0,19±0,15	0,50±0,31	0,50±0,31	0,50±0,31	0,54±0,34	0,54±0,34	0,54±0,34
	Saída	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SSV, g.L ⁻¹	Entrada	0,10±0,08	0,10±0,08	0,10±0,08	0,29±0,08	0,29±0,08	0,29±0,08	0,36±0,08	0,36±0,08	0,36±0,08
	Saída	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SSF, g.L ⁻¹	Entrada	0,10±0,08	0,10±0,08	0,10±0,08	0,21±0,08	0,21±0,08	0,21±0,08	0,18±0,08	0,18±0,08	0,18±0,08
	Saída	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Turbidez, UNT	Entrada	247±127	247±127	247±127	296±103	296±103	296±103	479±135	479±135	479±135
	Saída	0,11±0,03	0,24±0,22	1,13±0,78	0,10±0,00	0,16±0,21	1,01±0,46	0,87±0,92	2,00±1,62	4,34±2,93
	E (%)	99,9±0,0	99,9±0,1	99,5±0,3	100,0±0,0	99,9±0,1	99,6±0,2	99,8±0,3	99,5±0,5	99,0±0,8
Condutividade, µS.cm ⁻¹	Entrada	1727±149	1727±149	1727±149	1969±251	1969±251	1969±251	2957±269	2957±269	2957±269
	Saída	1795±174	1809±265	1834±301	1894±208	1906±194	2012±210	2802±310	2845±438	3135±443
	E (%)	-3,9±3,1	-4,4±7,8	-5,8±9,9	1,4±10,2	0,8±10,6	-4,6±12,5	0,4±4,8	-0,1±9,7	-8,8±15,1
Dureza, mg.L ⁻¹ como CaCO ₃	Entrada	280±24	280±24	280±24	466±85	466±85	466±85	671±74	671±74	671±74
	Saída	258±30	203±41	160±20	439±97	350±91	292±64	639±87	565±85	495±93
	E (%)	7,9±5,9	28,0±10,9	42,9±6,0	6,4±7,2	25,1±12,0	36,9±10,6	4,9±4,9	16,0±6,7	26,4±9,6
Cor, mg.L ⁻¹ como Pt ¹	Entrada	31,6±11,3	31,6±11,3	31,6±11,3	111,7±70,4	111,7±70,4	111,7±70,4	217,9±64,5	217,9±64,5	217,9±64,5
	Saída	23,5±12,2	23,4±11,7	101,8±40,1	30,5±15,9	35,5±10,3	127,3±39,1	45,6±15,2	57,5±15,8	163,4±58,6
	E (%)	27,4±27,4	5,7±34,7	-58,1±68,8	61,8±41,0	46,6±45,9	39,6±14,4	51,5±15,5	39,6±14,4	22,6±21,2

¹Como CaCO₃; ²Como Pt; Vazão= 200 mL.h⁻¹, pH= 7±0,2. n= 30.

Observa-se, na Figura 5.10, que na Etapa I ocorreu uma queda da remoção de *DQO* nos tratamentos por BRM, em todas as temperaturas, a partir do quinto dia, indicando uma possível carga tóxica presente no efluente. Este evento durou, aproximadamente, sete dias e, após este período, os tratamentos aos 35°C e aos 45°C recuperaram a sua eficiência inicial, ao contrário do tratamento termofílico (55°C), indicando que a microbiota termofílica se mostrou mais sensível às variações da qualidade do efluente.

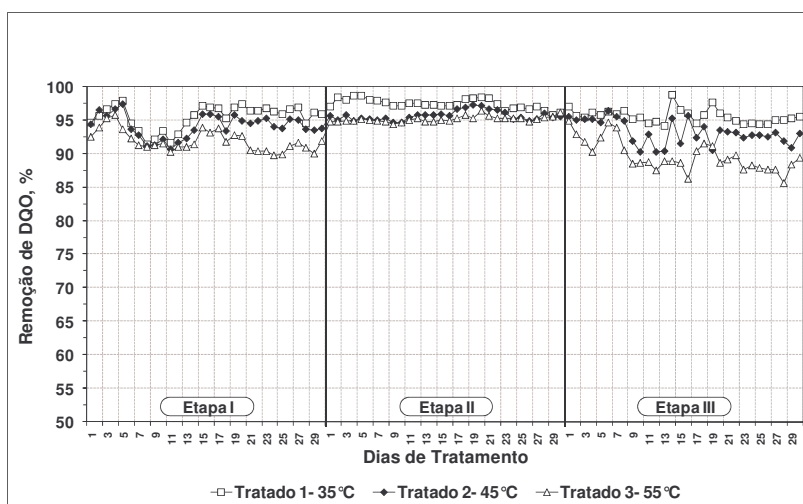


Figura 5.10. Eficiência de remoção de *DQO* para as Etapas I, II e III, para as cargas de 2,57, 4,75 e 9,43 Kg *DQO*.m⁻³.dia⁻¹, para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

Na Etapa II, as taxas de remoções de *DQO* mantiveram-se acima de 95%, com o aumento da carga de *DQO* para 4,75 Kg.m⁻³.d⁻¹. O tratamento realizado à temperatura de 35°C foi ligeiramente mais eficiente dos demais tratamentos.

Na Etapa III, com o aumento da carga orgânica volumétrica para 9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹, foi observada uma redução significativa nas eficiências de remoção de *DQO* em todas as temperaturas, sobretudo para a temperatura de 55°C.

A análise estatística utilizando o Teste Tukey p=5% demonstrou que, para cada etapa, o aumento da temperatura ocasionou reduções significativas nas taxas de remoções de *DQO* (Tabela 5.5).

Tabela 5.5. Análise estatística das eficiências de remoções de *DQO* em função da temperatura. Médias seguidas de letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente; Tukey, p=5%.

ETAPAS	ANÁLISE ESTATÍSTICA – REMOÇÃO DE DQO, %		
	35 °C	45 °C	55 °C
I	95,5a	94,2b	91,9c
II	97,4a	95,6b	95,0c
III	95,6a	93,3b	89,7c

Essas reduções nas eficiências de remoção de *DQO* também foram significativas nas concentrações de *DQO* no efluente tratado (Tabela 5.6).

Tabela 5.6. Análise estatística das concentrações finais de *DQO* em decorrência da temperatura. Médias seguidas de letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si estatisticamente; Tukey, $p=5\%$

ETAPAS	ANÁLISE ESTATÍSTICA – CONCENTRAÇÃO DE <i>DQO</i> , mg.L ⁻¹		
	35 °C	45 °C	55 °C
I	47,7a	62,0b	86,0c
II	51,8a	87,1b	98,4c
III	173,2a	264,7b	404,6c

Observando-se o efeito do aumento da carga para uma mesma temperatura, verificou-se que não houve diferenças significativas na concentração de *DQO* quando se aumentou a carga, de 2,57 para 4,75 Kg *DQO*.m⁻³.dia⁻¹. Porém, quando se aumentou a carga para 9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹, ocorreram reduções significativas nas concentrações de *DQO* no efluente tratado. A Tabela 5.7 apresenta o resultado do teste estatístico.

Tabela 5.7. Análise estatística das concentrações finais de *DQO* para cada temperatura, em função da carga inicial. Médias seguidas das mesmas letras, na mesma linha, não diferem entre si estatisticamente; Tukey $p=5\%$

T. °C	ANÁLISE ESTATÍSTICA – CONCENTRAÇÃO DE <i>DQO</i> , mg.L ⁻¹		
	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA III
35	47,7a	51,8a	173,2b
45	62,0a	87,1a	264,7b
55	86,0a	98,4a	404,6b

A Figura 5.11 apresenta as concentrações de *DQO* nos efluentes tratados para as Etapas I, II e III, nas três temperaturas testadas (35, 45 e 55 °C).

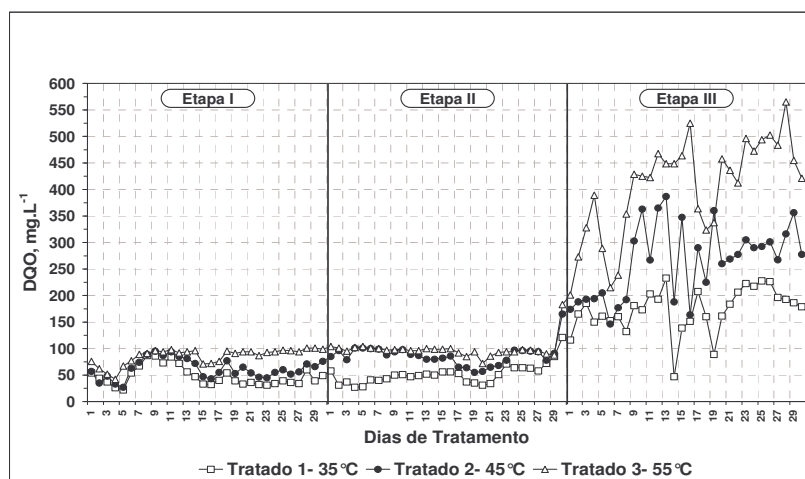


Figura 5.11. DQO no efluente tratado para as Etapas I, II e II nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

Observa-se que, durante as Etapas I e II, as concentrações de DQO no efluente tratado mantiveram-se sempre abaixo de 100 mg.L⁻¹, independentemente da temperatura e das cargas. Esta reduzida concentração de DQO no efluente tratado é fator importante porque possibilita a reutilização do efluente em diversas etapas do processo. As concentrações médias de DQO dos efluentes tratados à temperatura de 35°C foram sempre menores do que as demais. Quando houve o aumento das cargas de DQO de entrada para 9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹ (Etapa III), as médias das concentrações de DQO dos efluentes tratados aumentaram significativamente quando comparadas às médias das Etapas I e II. As médias de DQO dos efluentes tratados, para a Etapa III, foram de 173±42, 265±70 e 405±93 mg.L⁻¹, para 35, 45 e 55°C, respectivamente.

A carga de DQO do efluente tratado, na Etapa III, foi maior que as cargas das Etapas I e II. No entanto, as cargas removidas totais de DQO, na Etapa III, foram superiores às das etapas I e II. As cargas médias de DQO, removidas diariamente, foram 4,8 e 9,1 g para as Etapas I e II, respectivamente, enquanto que, para a Etapa III, a carga removida foi de 17,5 g.d⁻¹. Possivelmente, se houvesse um TDH maior para a Etapa III, as taxas de remoções de DQO também seriam maiores.

Analisando-se a Figura 5.11, verifica-se que o aumento da DQO no efluente tratado ocorreu quando a carga foi aumentada de 4,75 para 9,43 kg DQO.m⁻³.d⁻¹. Isso demonstra que o excesso de carga no efluente tratado deveu-se, principalmente, ao excesso de carga introduzida no sistema. De acordo com METCALF e EDDY (2003), a carga de DQO aplicada neste sistema varia de 1,2 a

3,2 kg.m⁻³.d⁻¹. A carga de *DQO* aplicada na Etapa III (9,43 Kg.m⁻³.d⁻¹) foi, aproximadamente, três vezes maior que a carga máxima recomendada por estes autores. A sobrecarga do *A/M* foi de, aproximadamente, 1,4 vezes maior que a relação recomendada, a qual varia de 0,1 a 0,4 Kg *DQO*.Kg *SSV*.d⁻¹.

Para que água tratada possa ser recirculada na máquina de papel, há a necessidade de reduzir-se a *DQO* a níveis menores do que os que foram conseguidos na Etapa III, a fim de evitar-se a formação de depósitos microbiológicos nas seções da formação da folha. Uma possível alternativa para reduzirem-se as concentrações de *DQO* no efluente tratado, seria aumentar o *TDH* do reator biológico, seja aumentando-se o seu volume ou instalando-se um segundo reator em série. No entanto, testes preliminares devem ser realizados, a fim de determinar a viabilidade técnica e comprovar a melhor alternativa ser utilizada.

Como pode ser observado na Figura 12, ocorreu uma redução nas taxas de crescimento a partir do décimo primeiro dia de tratamento na Etapa III. Estas reduções podem estar associadas às condições do meio tais como a presença de compostos tóxicos no efluente bruto, a presença de produtos celulares que inibiram enzimaticamente o crescimento (inibição por *feedback*), e, ou, devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido nos BRM. Esta reduzida concentração de oxigênio dissolvido foi devido principalmente à elevada carga orgânica e às elevadas concentrações de *SST* nos reatores para as temperaturas de 35 e 45 °C. Embora não tenha sido possível quantificar as concentrações de *OD* à temperatura de 55 °C, pode-se inferir que, a esta temperatura, a transferência de oxigênio é prejudicada e, conseqüentemente, a disponibilidade para os microrganismos.

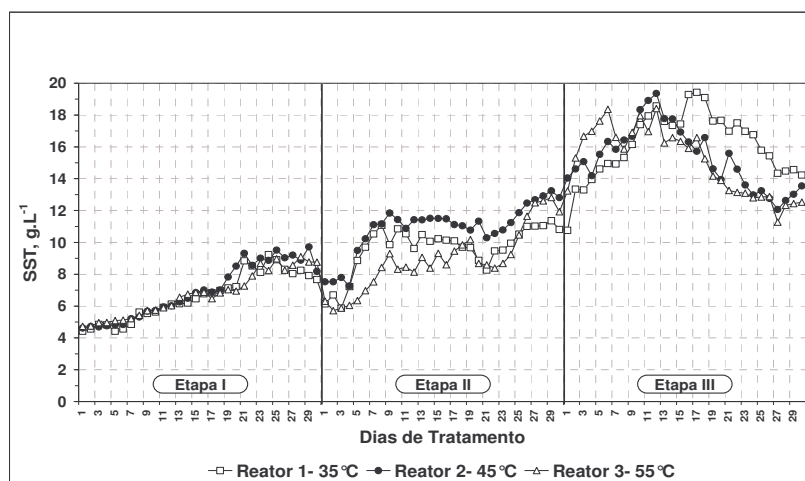


Figura 5.12. Concentração de SST nos BRM para as Etapas I, II e III, operando nas temperaturas de 35, 45 e 55°C.

Na Etapa I, os sólidos cresceram até valores de, aproximadamente, 8 g.L⁻¹ e estabilizaram-se neste patamar. Na Etapa II, quando houve o aumento das cargas de 2,57 para 4,75 kg.m⁻³.d⁻¹, observou-se uma ligeira redução das concentrações de SST, fato possivelmente ocorrido devido à adaptação da microbiota a essa nova condição de carga. O período de adaptação perdurou por três dias e, posteriormente, voltou a crescer até o valor de, aproximadamente, 12 g.L⁻¹. Na Etapa III, com o aumento da carga de DQO, de 4,75 para 9,43 kg.m⁻³.d⁻¹, não foi detectada uma etapa de adaptação. Nesta Etapa III, os SST alcançaram valores próximos de 20 g.L⁻¹ até o 12º dia de tratamento, a partir de então, os valores de SST decaíram até 13 g.L⁻¹.

Pelo método padrão gravimétrico, proposto por APHA (1998), não foi possível determinar as concentrações de SST no efluente tratado, conforme esperado, uma vez que as membranas retêm, quase que integralmente, os SST.

A completa remoção dos SST pelos sistemas BRM refletiu-se numa elevada remoção de turbidez, garantindo valores reduzidos desta variável nos efluentes tratados.

As médias e os desvios das concentrações de turbidez dos efluentes brutos e tratados e as remoções de turbidez para os tratamentos estão apresentados na Tabela 5.5. Pelo teste Tukey p= 5%, verificou-se que o tratamento do efluente na temperatura termofílica ocasiona aumento significativo nas concentrações de turbidez para uma mesma carga volumétrica de DQO.

A Tabela 5.8 apresenta o resultado do teste estatístico para as concentrações de turbidez, para cada etapa, relacionadas à temperatura.

Tabela 5.8. Análise estatística das concentrações de turbidez no efluente tratado, para cada etapa, em função da temperatura. Médias seguidas das mesmas letras, na mesma linha, não diferem entre si estatisticamente; Tukey $p=5\%$.

ETAPAS	ANÁLISE ESTATÍSTICA – CONCENTRAÇÃO DE TURBIDEZ, UNT		
	35 °C	45 °C	55 °C
I	0,11a	0,24a	1,13b
II	0,10a	0,16a	1,01b
III	0,87a	2,00a	4,34b

Embora tenha havido efeitos negativos nas concentrações de turbidez dos efluentes tratados, devido ao aumento da temperatura, as concentrações finais de turbidez destes reatores foram reduzidas. Os valores médios de turbidez obtidos durante os tratamentos foram 1,13; 1,01 e 4,34 UNT para as Etapas I, II e III, respectivamente. O efeito do aumento da temperatura nas concentrações finais de turbidez pode ser visualizado na Figura 5.13.

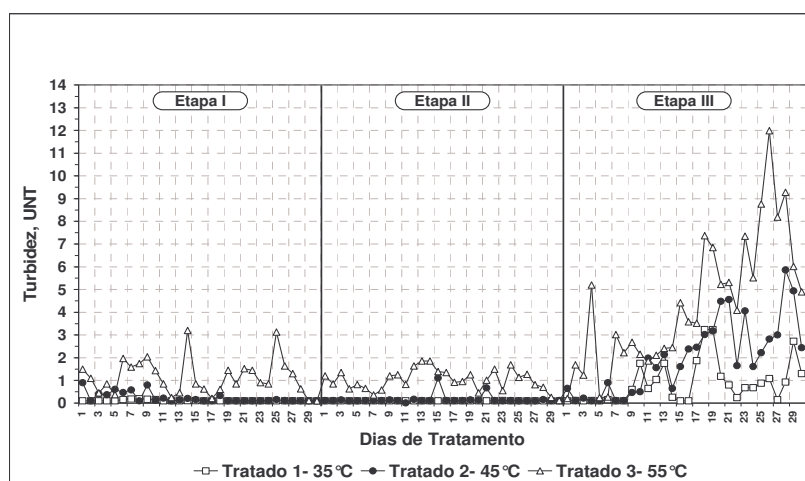


Figura 5.13. Turbidez nos efluentes tratados para as Etapas I, II e III, tratando os efluentes nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, com BRM.

Uma possível explicação para o aumento da turbidez, à temperatura de 55 °C, se deve ao fato de que há uma dilatação dos poros das membranas poliméricas, ocasionando arrastes de pequenas frações de sólidos e colóides. Outra possibilidade é de que, em altas temperaturas, haja a precipitação de compostos de cálcio após a ultrafiltração, ou seja, neste caso, acredita-se que a turbidez seja formada após o tratamento.

Verificou-se também que os valores da turbidez no efluente tratado aumentaram consideravelmente a partir do aumento da carga de DQO na Etapa III. Colocadas as maiores cargas, notou-se um aumento significativo da dureza,

corroborando com a hipótese do aumento da turbidez a partir da precipitação dos íons de cálcio.

Os valores de dureza no efluente de entrada, saída e eficiência de remoção estão apresentados na Tabela 5.6. O gráfico das remoções de dureza da água branca pelo BRM, para as Etapas I, II e III, operando nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C está apresentado na Figura 5.14.

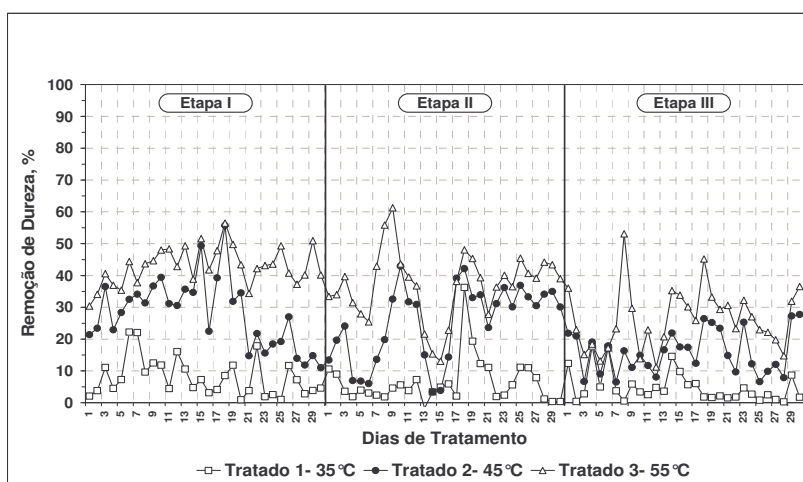


Figura 5.14. Remoção de dureza da água branca para as Etapas I, II e III, tratando os efluentes nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C com BRM.

Em relação à remoção de dureza da água branca, pode-se observar que o tratamento termofílico aeróbico de água branca, pelo sistema BRM, foi pouco eficiente. De acordo com a Figura 5.15, observou-se que os tratamentos realizados para remover a dureza presente nos efluentes da máquina de papel, à temperatura de 55 °C, foram mais eficientes, quando comparados com os demais (35 e 45 °C). Esta maior eficiência era esperada, uma vez que os bicarbonatos de cálcio e de magnésio, responsáveis por causarem a chamada “dureza temporária” precipitam-se com a ação de calor e são retidos pelas membranas.

Outro parâmetro de interesse industrial para as fábricas de papel de imprimir e escrever relaciona-se à cor da água branca. A Figura 5.15 apresenta as concentrações de cor no efluente tratado pelos sistemas BRM, às temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

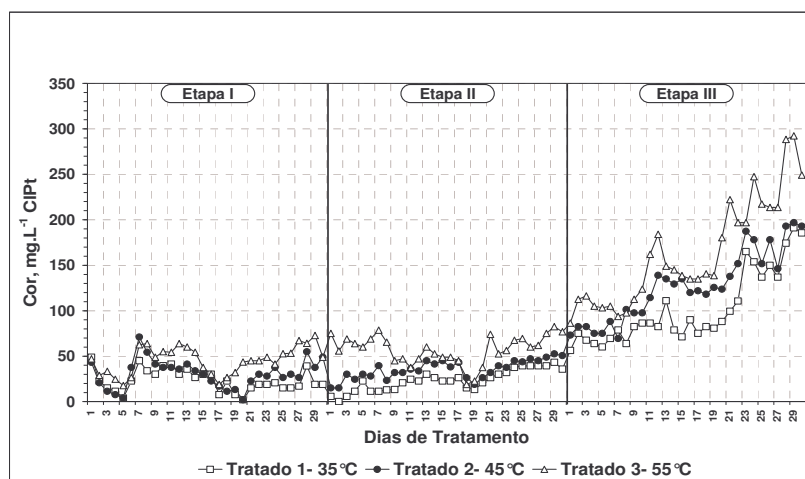


Figura 5.15. Concentração de cor nos efluentes tratados pelo BRM, para as Etapas I, II e III, operando às temperaturas de 35, 45 e 55°C.

Na medida em que se aumentou a carga, aumentou-se a cor, devido à própria coloração elevada do efluente da máquina de papel reciclado.

MILESTONE *et al.* (2004) observaram que a formação de cor em tratamentos biológicos de efluentes está associada à condição redox do meio. Ambientes apresentando menores concentrações de oxigênio ou mesmo anaeróbicos desenvolvem mais cor do que os ambientes estritamente aeróbicos. MILESTONE *et al.* (2007) sugerem que o aumento da cor nos efluentes tratados de celulose e papel está associado à presença de compostos de alto peso molecular, sendo estes os responsáveis pela cor. Nesse estudo ele verificou que, se as concentrações de oxigênio forem suficientes, as bactérias utilizarão preferencialmente o oxigênio ao invés de utilizarem os compostos de alto peso molecular, reduzindo, então, o desenvolvimento da cor. As maiores concentrações de cor nos tratamentos termofílicos podem ser explicadas pelas reduzidas concentrações de oxigênio dissolvido presentes nos reatores termofílicos.

5.2.3. Análise microbiológica do lodo

As fotomicrografias do lodo biológico estão apresentadas na Figura 5.16. Pode-se observar que os aumentos das cargas adotadas para as ETAPAS I, II e III não influenciaram morfológicamente os flocos presentes nos lodos. A temperatura por outro lado, teve um papel fundamental para selecionar determinadas populações de microrganismos.

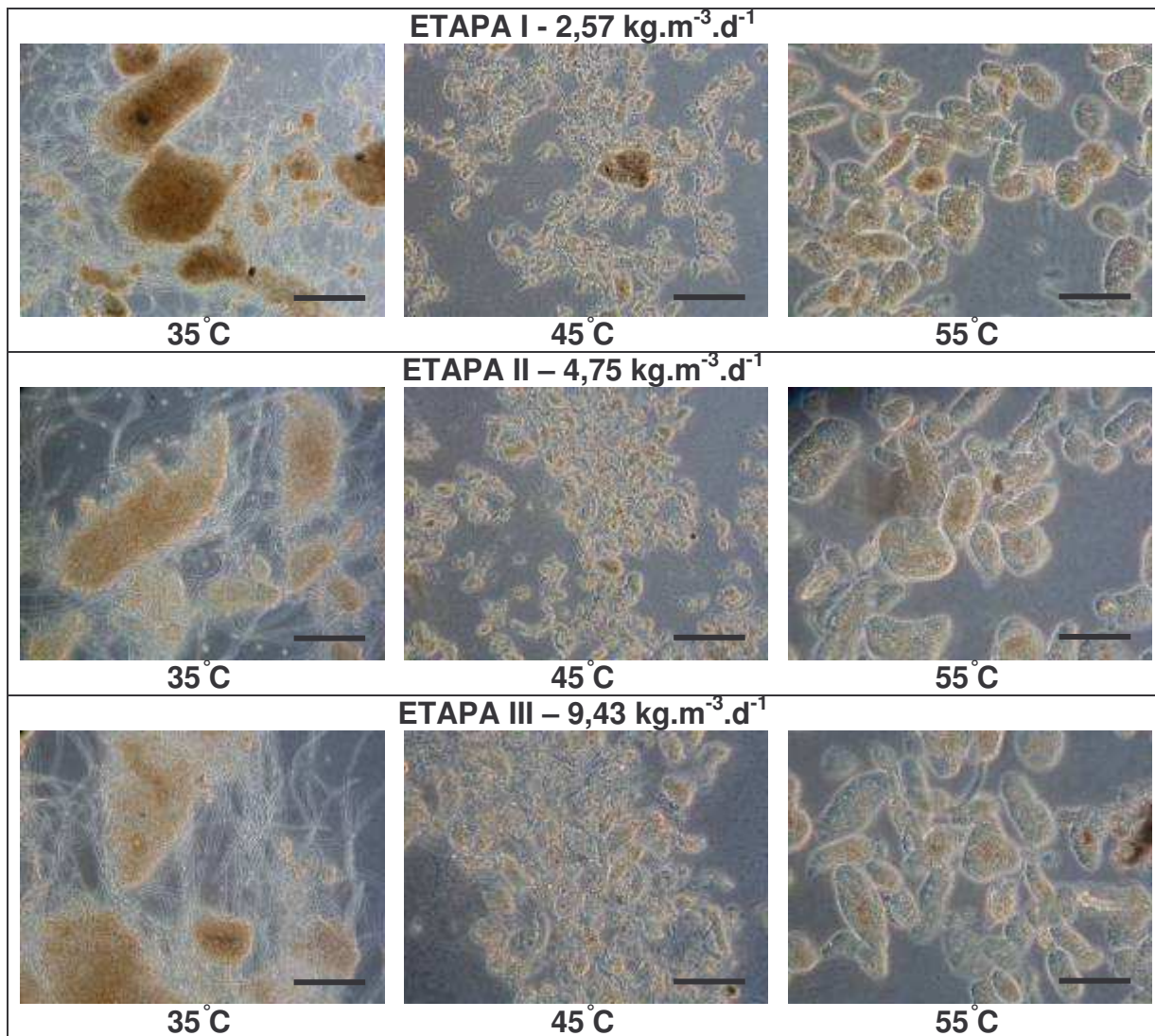


Figura 5.16. Fotomicrografias do lodo, apresentando as variações morfológicas e variações das espécies, relacionadas às etapas de tratamentos e às variações de temperatura. (Microscopia de contraste de fase. Aumento de 100x; barra= 500µm).

Na temperatura de 35°C houve predomínio de flocos grandes, bem compactos e fechados, de tamanhos acima de 500 µm. Foi identificada, em concentração abundante, a bactéria filamentosa Tipo 021N associando-se com os flocos (JENKINS *et al.*, 2003). A presença deste microrganismo filamentoso no lodo biológico deveu-se ao fato de já estar contido no lodo coletado na planta industrial. SOUSA (2000), estudando o controle do intumescimento filamentoso através do uso de seletores biológicos na planta industrial, de onde originaram o lodo e os efluentes para o desenvolvimento deste trabalho, verificou que o desenvolvimento desta espécie de microrganismo filamentoso está associado à

presença de compostos facilmente biodegradáveis, principalmente os ácidos orgânicos.

Esta espécie é caracterizada pela alta velocidade de crescimento e pela dificuldade de controle nos sistemas de lodos ativados convencionais. De acordo com JENKINS *et al.* (2003), o seu crescimento ocorre preferencialmente em forma de filamentos longos, retos ou levemente curvados, com comprimentos variando de 100 a 1000 μm , e diâmetro variando entre 1 e 2 μm . Apresenta células em forma de barril, retangulares ou quadradas e discóides. Seus filamentos se associam com os flocos e o seu crescimento e desenvolvimento são influenciados pela presença de substratos facilmente biodegradáveis, tais como mono ou dissacarídeos, ácidos graxos voláteis; observa-se a presença de sulfeto, devido à redução do sulfato em condição de septicidade do efluente e à adoção de uma idade do lodo moderada a alta.

Os flocos na temperatura de 45°C foram caracterizados como pequenos, com diâmetros inferiores a 150 μm , possuindo estrutura fraca e aberta, devido essencialmente à presença de bactérias filamentosas do Tipo 0581. De acordo com JENKINS *et al.* (2003), esta espécie de bactéria filamentosa é caracterizada por filamentos pequenos e médios, com comprimentos que variam de 100 a 200 μm , e apresenta o diâmetro dos filamentos de 0,4 a 0,7 μm . Suas células são septadas, seu crescimento geralmente está associado com os flocos, mas é comumente encontrada crescendo livremente entre eles. A velocidade de crescimento é menor, comparada a 021N. Porém, a sua presença causa a abertura dos flocos, produzindo flocos pequenos e dispersos.

Na temperatura de 55°C os flocos vistos eram médios, de tamanho variando entre 150 e 500 μm , compostos basicamente de bactérias formadoras de flocos bem fechados. Apesar da presença de flocos compactos, devido à falta de bactérias filamentosas, estes possuíam baixa resistência física ao esmagamento pela pressão da lamínula sobre a lâmina.

5.2.4. Conclusões do Experimento II

As principais conclusões verificadas para a Fase II, na qual se buscou comparar o desempenho de um sistema BRM, operando em três condições de temperatura, foram:

- i) Todos os sistemas de BRM foram eficientes para remover os compostos orgânicos da água branca da máquina de papel, nas três temperaturas estudadas até uma carga de $4,75 \text{ Kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$.
- ii) Os tratamentos realizados à temperatura de 55°C apresentaram eficiência de remoção de *DQO* menor do que os demais sistemas operando com 45 e 55°C .
- iii) Com o aumento da carga para $9,43 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, somente o sistema mesofílico foi capaz de remover a *DQO* em níveis superiores a 95% .
- iv) A concentração máxima de *SST* no reator foi de, aproximadamente, 18 g.L^{-1} . A partir deste valor, houve um decréscimo desta concentração com comprometimento da eficiência de remoção de *DQO*.
- v) A concentração de *SST* ideal para garantir a máxima remoção dos compostos orgânicos do efluente encontra-se entre a faixa de 8 a 14 g.L^{-1} .
- vi) A turbidez nos efluentes tratados com o BRM foi praticamente nula para o reator a 35 e 45°C . No entanto, no tratamento a 55°C houve a formação de turbidez no efluente tratado.
- vii) Independentemente da temperatura, os BRM não foram suficientes para eliminar a turbidez do efluente tratado quando estavam operando com a carga de $9,43 \text{ kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$.
- viii) A remoção de dureza da água branca foi maior para os tratamentos realizados a 55°C , mas, de forma geral, as eficiências foram baixas.
- ix) Em comparação com os demais tratamentos, o tratamento termofílico foi responsável pelo maior aumento de cor no efluente tratado.
- x) Houve alteração na morfologia do lodo, alterando o tamanho e a forma do floco biológico; não foram encontradas bactérias filamentosas à temperatura de 55°C .

5.3. EXPERIMENTO III - DIVERSIDADE GENÉTICA E PERFIL DOS ÁCIDOS GRAXOS DAS COMUNIDADES MICROBIOLÓGICAS

5.3.1. Condições operacionais dos sistemas

Na primeira fase do experimento, compreendida em um período de quinze dias de tratamento, a temperatura do reator mesofílico permaneceu fixa em 35°C ; a temperatura do reator termofílico foi gradativamente elevada até os 45°C; as concentrações de *SST* para os reatores mesofílico e termofílico foram 5.512 e 5.864 mg.L⁻¹, respectivamente. As concentrações de *SSV* para os reatores mesofílico e termofílico foram 4.430 e 4.578 mg.L⁻¹, respectivamente. As médias das eficiências de remoções de *DQO* para os reatores mesofílico e termofílico foram de 94 e 92,5%, respectivamente. As eficiências médias de remoções de *DQO* foram 94,2 e 92,5% para os reatores mesofílico e termofílico, respectivamente.

Na segunda fase do experimento que compreendeu quinze dias de tratamento, a temperatura do reator mesofílico manteve-se fixa em 35°C, a temperatura do reator termofílico, por sua vez, iniciou em 45°C e foi gradativamente aumentada até a temperatura de 55°C; as concentrações médias de *SST* para os reatores mesofílico e termofílico foram 8.032 e 6.845 mg.L⁻¹, respectivamente. As concentrações de *SSV* para os reatores mesofílico e termofílico foram 4.804 e 4.470 mg.L⁻¹, respectivamente. As eficiências médias de remoções de *DQO* na segunda fase foram 92,5 e 90,2% para os reatores mesofílicos e termofílicos, respctivamente.

Na terceira fase do experimento, que compreendeu um período de nove dias de tratamento, as temperaturas dos reatores mesofílico e termofílico mantiveram-se fixas em 35 e 45°C, respectivamente. As concentrações de *SST* nos reatores mesofílicos e termofílicos foram 8.443 e 6.450 mg.L⁻¹, respectivamente. As concentrações de *SSV* nos reatores mesofílicos e termofílicos foram 6.780 e 4.681 mg.L⁻¹, respectivamente. As eficiências médias de remoções de *DQO* foram 97,4 e 91,2% para os reatores mesofílico e termofílico, respectivamente.

Menores concentrações de *SST* e *SSV* e uma menor eficiência de remoção de *DQO* para os tratamentos termofílicos foram observadas também por LAPARA e ALLEMAN (1999).

A concentração de *OD* no reator foi mantida em concentrações superiores a 2 mg.L^{-1} até a temperatura de 49°C . Acima dessa temperatura, o oxigênio dissolvido chegou a níveis não detectados pelo oxímetro utilizado, fator que pode ser também uma das causas da menor eficiência de remoção da matéria orgânica pelo reator termofílico.

A turbidez do efluente tratado, para ambos os reatores, manteve-se em 0,1 UNT durante todo o experimento.

5.3.2. Análise de diversidade genética - DGGE

Avaliou-se a diversidade genética presente nas amostras de lodo biológico, nas diferentes temperaturas, com a técnica de Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante - DGGE. Essa técnica é uma das mais indicadas para estudos que requerem a avaliação da distribuição temporal e espacial de populações bacterianas, sendo amplamente utilizada em estudos de microbiologia ambiental e ecologia microbiana (MUYZER, 1999). As amostras de DNA total dos lodos biológicos, após a amplificação com os iniciadores universais do rDNA 16S para o domínio Eubactéria, foram submetidas à técnica de DGGE. A Figura 5.17 apresenta o resultado do gel de DGGE.

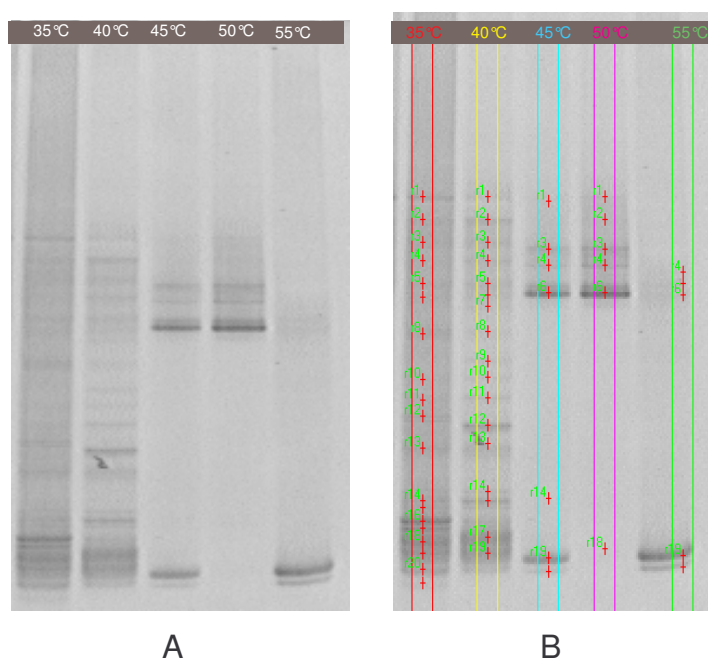


Figura 5.17. Resultado do gel de DGGE. (A) imagem do gel sob luz UV, capturada e digitalizada pelo Eagle Eye (II Still Video System (Stratagene – Califórnia USA) e (B) Bandas identificadas e analisadas pelo programa Gel Pro Analyser® 3.1 (Media Cybernetics Inc., Maryland-USA).

Foram observadas 17 Unidades Taxonômicas Operacionais (UTOs) nas condições de temperatura de 35°C e 40°C. Nas temperaturas de 45°C, 50°C e 55°C, houve uma redução destas UTOs para 7, 6 e 5, respectivamente.

A Tabela 5.9 apresenta a abundância, em relação à intensidade das bandas da UTOs do gel de DGGE, nas diferentes temperaturas.

Tabela 5.9. Abundância das Unidades Taxonômicas Operacionais (UTOs) do gel de DGGE, nas diferentes temperaturas.

UTOs	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C
	Abundância relativa (DO)				
1	15,2	15,2	12,6	11,3	0,0
2	9,6	9,6	0,0	7,1	0,0
3	8,4	8,4	13,0	14,8	0,0
4	10,1	10,1	65,3	6,4	6,8
5	7,1	7,1	0,0	0,0	5,5
6	4,9	4,9	18,3	21,7	14,0
7	6,5	6,7	0,0	0,0	0,0
8	7,4	7,4	0,0	0,0	0,0
9	7,3	7,3	0,0	0,0	0,0
10	6,4	6,4	0,0	0,0	0,0
11	7,0	7,0	0,0	0,0	0,0
12	12,1	12,1	0,0	0,0	0,0
13	14,0	14,0	0,0	0,0	0,0
14	3,9	3,9	25,3	0,0	0,0
15	9,5	9,5	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	20,5	20,5	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0	0,0	13,514	0,0
19	19,2	19,2	15,9	0,0	18,2
20	0,0	0,0	4,2	0,0	3,7

Como esperado, nas temperaturas mesofílicas, foi encontrado um maior número de UTOs, .

Das 20 UTOs encontradas, 17 estavam presentes na temperatura de 35°C (Tabela 5.9). As UTOs identificadas pelos números “4” e “6” estavam presentes em todas as temperaturas. Devido à especificidade dos iniciadores universais do rDNA 16S para o domínio Eubactéria, neste estudo não foram investigados as arqueobactérias, o que poderá justificar um número baixo de UTO's encontrados.

Em temperaturas menores, o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver é maior, indicando uma comunidade microbiana mais diversa (Figura 5.18). O Índice de Diversidade de Shannon-Weaver apresenta valores mais altos na medida em que o número de elementos individuais, UTOs, está mais uniformemente distribuído em dada comunidade. Diferentes comunidades que

apresentam o mesmo Índice de Diversidade podem ser distintamente divergentes quanto a sua riqueza (TÓTOLA e CHAER, 2002).

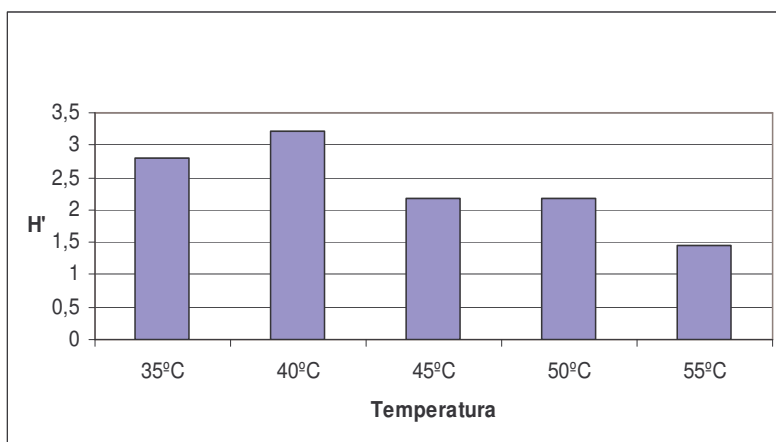


Figura 5.18. Índice de Diversidade de Shannon-Weaver para as temperaturas de 35, 40, 45, 50 e 55 °C.

Como já relatado, a diminuição da eficiência do tratamento pode ser justificada pela redução da diversidade da comunidade microbiana em altas temperaturas (TRIPATHI e ALLEN, 1999). Pelo Índice de Diversidade de Shannon-Weaver, foi observado que, a partir da temperatura de 45°C (Figura 5.15), a diversidade da comunidade microbiana apresentou valores muito baixos em relação ao tratamento mesofílico. Com relação à riqueza de UTOs, também ocorreu uma queda a partir dessa temperatura (Tabela 5.9). Como já citado, em tratamentos biológicos que operam em condições termofílicas, algumas comunidades microbianas não estão presentes, como por exemplo: as bactérias nitrificantes (LAPARA e ALLEMAN, 1999). A menor diversidade da comunidade microbiana presente em sistemas de tratamento termofílico faz com que esses sistemas não estejam aptos a tratar múltiplos substratos de diferentes efluentes (LAPARA *et al.*, 2001).

5.3.3. Análise do perfil dos ácidos graxos - FAME

Pela análise do perfil de ácidos de graxos foi possível identificar o perfil das comunidades presentes nos reatores, em cada temperatura estudada.

No tratamento mesofílico, a temperatura foi mantida em 35°C durante todo o período do experimento. Quando a temperatura do reator termofílico atingiu os 40°C, 45°C, 50°C e 55°C, foram coletadas amostras para análise do perfil de

ácidos graxos. No momento de coleta dessas amostras também foram coletadas amostras no reator mesofílico. No cladograma da Figura 5.19 está representada a relação da estrutura da comunidade microbiana dos diferentes lodos.

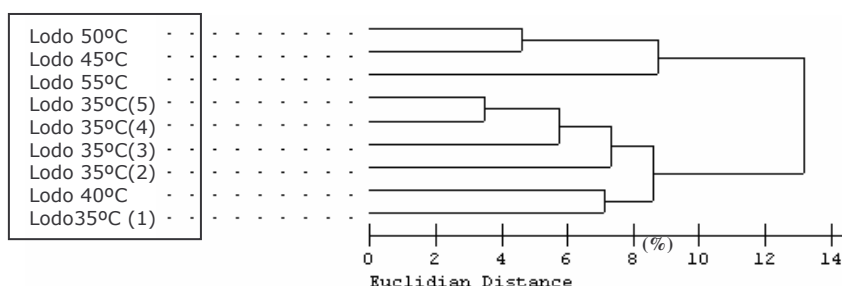


Figura 5.19. Cladograma que relaciona a composição da comunidade microbiana de acordo com programa Sherlock Analysis-MIDI.

Em um cladograma, que relaciona a estrutura microbiana utilizando a escala “Distância Euclidiana” obtida do programa Sherlock Analysis- MIDI, quando a distância menor que 10% é obtida, entende-se que as comunidades microbianas analisadas podem ser consideradas como possuidoras de mesma composição.

5.3.4. Conclusões do Experimento III

A partir do Experimento III, realizado para verificar a diversidade genética e o perfil dos ácidos graxos na condição mesofílica e termofílica de tratamento, obteve-se as seguintes conclusões:

- i) O tratamento à temperatura de 55°C apresentou redução no número de UTO's em comparação ao tratamento realizado a 35°C.
- ii) A partir da temperatura de 45°C, houve uma alteração no perfil de ácidos graxos das comunidades microbianas presentes no reator termofílico.
- iii) As comunidades microbianas, presentes no reator abaixo da temperatura de 40°C e aquelas encontradas no reator à temperatura fixa de 35°C, apresentaram estruturas semelhantes.

5.4. REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO NA MÁQUINA DE PAPEL

O tratamento termofílico da água branca da máquina de papel, utilizando Biorreator a Membranas, mostrou-se eficiente para remover os contaminantes físico-químicos presentes neste efluente.

Aproximadamente 95% da *DQO*, 100% de turbidez e de sólidos suspensos e 20% da dureza foram removidos da água branca com o tratamento de efluentes utilizando Biorreator a Membranas nas temperaturas de 35, 45 e 55°C. Dessa forma, quase toda a água branca poderá ser reutilizada nos mais diversos setores e locais da fábrica.

Embora tenha havido consideráveis remoções dos contaminantes, a elevada condutividade e dureza, após o tratamento biológico, restringirá a utilização da água branca tratada em boa parte da máquina de papel, pois a dureza poderá acarretar deposições nas tubulações, nos bicos e equipamentos e ainda causar incrustações. Apesar deste fato, algumas opções de uso são viáveis.

É possível diluir parte desta água superclara com água fresca e, conseqüentemente, utilizá-la em diversos locais da máquina de papel. Esta mistura poderá ser utilizada para:

- Selagem das bombas de vácuo. Dependendo da temperatura de saída da água do tratamento biológico, há a necessidade de resfriar parte desta antes de usá-la nas selagens das bombas. Até à temperatura de 40°C é possível utilizar a água como água de selagem, porém parte do desempenho da bomba será sacrificada. Dessa forma, a mistura desta água com a água fresca pode ser uma opção interessante, pois além de diluir as cargas remanescentes de CaCO_3 , ajudará a resfriá-la. Após o uso nas selagens das bombas de vácuo, esta água poderia ser descartada no sistema de água morna.

- Lavagem química dos feltros e setor de prensagem. Devido à baixa concentração de material orgânico e à inexistência de sólidos suspensos, essa água poderia ser substituída, neste setor, sem maiores problemas.

- Água superclara para limpeza de piso. O volume de água utilizada para limpeza das fábricas é um volume considerável. A substituição da água

fresca pela água superclara é bastante interessante e viável, uma vez que esta água não apresenta concentração de sólidos, tampouco turbidez.

- Chuveiros lavadores de telas e feltros. Os chuveiros lavadores de telas e feltros seriam outro local no qual poderia ser utilizada a água superclara. A presença de cálcio pode ser limitante, no entanto, uma mudança para instalação de chuveiros de alta pressão com bocais auto-limpantes resolveria o problema. Esses bocais são baseados em um arranjo mecânico para aumentar o diâmetro do bocal do chuveiro momentaneamente. A substituição de bocais convencionais para estes modelos certamente reduziria ou evitaria sobremaneira os problemas de deposições.

- Devido à temperatura da água ser maior do que 40°C, esta poderia ser utilizada na preparação de massa e aditivos, porém, a alta condutividade, dureza, a presença de sais e de íons poderiam limitar o seu reuso, ocasionando, principalmente, problemas de corrosão nos equipamentos mais sensíveis, localizados na entrada da mesa plana.

Após o tratamento da água, diversas aplicações são possíveis, porém, devem ser realizados estudos detalhados, a fim de definir a melhor estratégia de reaproveitamento e de fechamento de circuito.

5.5. CONCLUSÃO FINAL

O sistema termofílico de BRM foi mais eficiente para tratar água branca da máquina de papel quando comparado com o sistema termofílico de LAC.

O sistema termofílico composto por BRM foi eficiente em remover os principais contaminantes da água branca, produzindo um efluente com baixa turbidez e ausência de sólidos.

O sistema termofílico de BRM não suportou cargas de *DQO* acima de 4,75 kg.m⁻³.d⁻¹.

A partir de 45°C, houve mudança no perfil das comunidades microbianas presentes no reator bem como alteração no perfil dos ácidos graxos destas comunidades.

6. BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, Carolina M.M.C.; PEREIRA JR., N.; ANTRANIKIAN, G. Extremely thermophilic microorganisms and their polymer-hydrolytic enzymes. **Revista de Microbiologia**, v. 30, n.4, p. 287-29, out./dez. 1999.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION e WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: APHA, 1998.

ATLAS, R. M., BARTHA, R. **Microbial Ecology: Fundamentals and Applications**. 4^a ed. Benjamin/Cummings, California, 694p, 1998.

BAILEY, J. E.; OLLIS, D. F. **Biochemical engineering fundamentals**. 2nd ed. United State of America: McGraw-Hill Inc., 1986. 984p.

BARNES, E. T. Water quality requirements for pulp and paper processes. In: **Water use reduction in the pulp and paper industry. A monograph**. Canada: Pulp and Paper Research Institute of Canada. p. 1-101, 1994.

BARR, T.; TAYLOR, J., DUFF, S. Effect of HRT, SRT and temperature on the performance of activated sludge reactors treating bleached kraft mill effluent. **Water Reserch**. v.30, p. 799–810, 1996.

BARROS, M. J.; NOZAKI, J. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Química Nova**. v. 25, n. 5, p.736-740, 2002.

BARTON, D. A; STUART, P. R.; LAGACE, P.; MINER, R. Experience with water system closure at recycled paperboard mills. **TAPPI Journal**. v. 79, n. 3, p.191-197, 1996.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. USA: Wiley-Liss Inc., 2005. 746 p.

BOLTON, J.A. Systems approach to reusing whitewater on pulp and paper machines. Pulp and paper International Congress. São Paulo. Brazil. October, 2000.

BOUHABILA H.; BEN AÏM R.; BUISSON, H. Fouling characterization in membrane bioreactors. **Separation and Purification Technology**. v. 22, p. 123-132, 2001.

BRINDLE, K.; STEPHENSON, T. Nitrification in a bubbleless oxygen mass transfer membrane bioreactor. **Water Science and Technology**, v. 34, n. 9, p. 261–267, 1996.

BROCK T.D. Introduction: An overview of the thermophiles. In: **Thermophiles: General, Molecular, and Applied Microbiology**. New York: T. D. Brock, John Wiley and Sons, 986p. 1997.

CHAIZE, S.; HUYARD, A. Membrane bioreactor on domestic wastewater treatment, sludge production and modeling approach. **Water Science and Technology**. v. 23 p. 1591-1600, 1991.

CHEREMISINOFF, N.P. **Handbook of water and wastewater treatment technologies**. 1th ed. Woburn. U.S.A.: Butterworth-Heinemann. 2002.

CHIEMCHAISRI, C.; YAMAMOTO K.; VIGNESWARAN S. Household membrane bioreactor in domestic wastewater treatment. **Water Science and Technology**. v. 27, n.1, p. 171-178, 1993.

CHO, J.; SONG, K. G.; YUN, H.; AHN, K, H.; KIM, J. Y.; CHUNG, T. H. Quantitative analysis of biological effect on membrane fouling in submerged membrane bioreactor. **Water Science & Technology**. v. 51 n. 6–7 p. 9–18, 2005.

COLDICOTT B. W. Fresh water reduction with suspended solids control. Proceedings of the 1986. **CPPA Annual Meeting 72B**. p. 9-11, 1986.

CÔTE, P.; BUISSON, H. Immersed membrane activated sludge for the reuse of municipal wastewater. **Desalination**. v. 113, n.2-3, p. 189-196, 1997.

COUILLARD, D., ZHU, S., Thermophilic aerobic process for the treatment of slaughterhouse effluents with protein recovery. **Environmental Pollution**. v. 79, p. 121–126, 1993.

DE CRISTO, D.P. Sedimentabilidade do lodo biológico no processo dos lodos ativados. Monografia. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, PR, 2004.

DEFRANCE, L.; JAFFRIN, M. Y.; GUPTA, B.; PAULLIER, P.; GEUGEY, V. Contribution of various constituents of activated sludges to membrane bioreactor fouling. **Bioresource Technology**. v. 73, p. 105-112, 2000.

DILLY, O., BLOEM, J., VOS, A., MUNCH, J. C. Bacterial diversity in agricultural soils during litter decomposition. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n.1, p.468-474, 2004.

DON, R.H., COX, P.T., WAINWRIGHT, B.J., BAKER, K., MATTICK, J.S. Touchdown PCR to circumvent spurious priming during gene amplification. **Nucleic Acids Research**. v. 19, p. 4008 1991.

FAKHRU'L-RAZI, A. Ultrafiltration membrane separation for anaerobic wastewater treatment. **Water Science and Technology**. v. 30, n.12, p. 321-327, 1994.

FAN, X.; URBAIN, V.; QIAN, Y.; MANEN, J. Nitrification and mass balance with a membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. **Water Science and Technology**. v. 34, n.1-2, p. 129-136, 1996.

FILHO, D. S. **Tecnologia de tratamento de água**. São Paulo: Livraria Nobel, 1981, 251p.

FOELKEL, C.E.B. A fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto e o consumo de água. Eucalyptus Newsletter. Acesso em maio de 2007: <http://www.eucalyptus.com.br>.

GASPAR, P.M. Pós tratamento de efluente de reator UASB em sistemas de lodos ativados visando à remoção biológica do nitrogênio associada à remoção físico-química do fósforo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. (Dissertação de Mestrado). 242p. 2003.

GHYOOT, W.; VANDAELE, S.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal from sludge reject water with a membrane assisted bioreactor. **Water Research**. v. 33, n.1, p. 23-32, 1999.

GLUTEK, B. D.; COTE, P. L.; DEUTSCHMANN, A. **Membrane Technology**. Zenon Environmental Inc., internal. Report, 1985.

GRADY, C. P. L Jr.; DAIGGER, G. T.; LIM, H. C. **Biological wastewater treatment**. 2nd ed., Revised and expanded. New York: Marcel Dekker Inc. 1999. 1076 p.

HODGSON, P. H.; FANE, A. G. Crossflow microfiltration of biomass with inorganic membranes: the influence of membrane surface and fluid dynamics, **Key Engineering Matter**. v.61-62, p.167-174, 1992.

HONG, S. P.; BAE, T. H.; TAK, T. M.; HONG, S.; RANDALL A. Fouling control in activated sludge submerged hollow fiber membrane bioreactors. **Desalination**. v. 143, p. 219-228, 2002.

ISHIGURO, K.; IMAI, K.; SAWADA, S. Effects of biological treatment conditions on permeate flux of UF membrane in a membrane/activated sludge wastewater treatment system. **Desalination**. v. 98, n. 1-3 p. 119-126, 1994.

JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G. T. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming**. 2nd ed. Michigan, U.S.A.: Lewis Publisher. 2003.

JUDD, S. Fouling control in submerged membrane bioreactors. **Water Science and Technology**. v. 51, n. 6-7, p. 27-34, 2005.

LAPARA, T.M.; ALLEMAN, J.E. Thermophilic aerobic biological wastewater treatment – Paper Review. **Water Research**. v. 33, n.4, p. 895–908, 1999.

LAPARA, T.M.; NAKATSU, C.H.N.; PANTEA, L.M.; ALLEMAN, J.E. Aerobic biological treatment of a pharmaceutical wastewater: effect of temperature on COD removal and bacterial community development. **Water Research**. v. 35, n. 18, p. 4417–4425, 2001.

LAPARA, T.M.; NAKATSU, C.H.N.; PANTEA, L.M.; ALLEMAN, J.E. Phylogenetic analysis of bacterial communities in mesophilic and thermophilic bioreactors treating pharmaceutical wastewater. **Applied Environmental Microbiology**. v. 66, p. 3951–3959, 2000.

LEHNINGER, A.L. **Princípios de Bioquímica**. 4ª ed. São Paulo: Sarvier Editora de Livros Médicos Ltda., 1998.

LERNER, M.; STAHL N.; GALIL N.I. Comparative study of MBR and activated sludge in the treatment of paper mill wastewater. **Water Science and Technology**. v. 55, n. 6, p. 23-29, 2007.

LIM, B.; HUANG, X.; HU, H-Y.; GOTO, N.; FUJIE, K. Effects of temperature on biodegradation characteristics of organic pollutants and microbial community in a solid phase aerobic bioreactor treating high strength organic wastewater. **Water Science Technology**, v. 43, p.131–137, 2001.

LOURES, A. P. S. **Tratamento anaeróbio de efluentes de máquina de papel por biorreator convencional e biorreator a membranas**. Viçosa, MG: UFV, 2007. (Tese de Doutorado).

LÜBBECKE, S.; VOGELPOHL, A.; DEWJANIN, W. Wastewater treatment in a biological high performance system with high biomass concentration. **Water Research**. v. 29, n.3, p. 793-802, 1995.

MADIGAN, M. T.; MARTIKON, J. M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. 10ª ed. Pearson Prentice Hall, 2004. 608p.

MARINO, S.; BRAKER, J.; CARRIÈRE, M.; PARIS, J. Recirculation of process and non process water in a integrated newsprint Mill: a case study. Pulp and paper International Congress. October, 2000, São Paulo, Brazil.

MATIDA, M. T. Fechamento do circuito de água no processo de fabricação de papel. Viçosa, MG: UFV, 2002, 56p. (Monografia).

MAYZER, G. DGGE/TGGE a method for identifying genes from natural ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**. v. 2, p. 317-322, 1999.

MEHTA, Y. Reduced water use critical to minimum – Impact manufacturing. **Pulp and Paper**. Canada, v. 70, n. 6, p. 93-97, 1996.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering- Treatment, disposal, reuse**. 4th ed. New York : McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MILESTONE, C. B.; STUTHRIDGE, T. R.; FULTHORPE, R. R. Role of high molecular mass organics in color formation during biological treatment of pulp and paper wastewater. **Water Science and Technology**. v. 55, n. 6, p. 191-198, 2007.

MILESTONE, C. B.; STUTHRIDGE, T. R.; FULTHORPE, R. R. The formation of colour during biological treatment of pulp and paper wastewater. **Water Science and Technology**. v. 50, n. 3, p. 87-94, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução 357. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providência. Brasília, DF. 2005.

MUKAI, T.; TAKIMOTO, K.; KOHNO, T.; OKADA, M. Ultrafiltration behavior of extracellular and metabolic products in activated sludge system with UF separation process. **Water Research**. v. 34, n. 3, p. 902–908, 2000.

MULDER, M. **Basic Principles of Membrane Technology**. Norwell, MA, U.S.A.: Kluwe Academic Publishers, Philip Drive, 1991. 101p.

MUYZER, G. DGGE/TGGE a method for identifying genes from natural ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**. v. 2, p. 317-322, 1999.

MUYZER, G. DGGE/TGGE a method for identifying genes from natural ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**, v. 2, p.317-322, 1999.

MUYZER, G., WAAL, E. C., UITTERLINDEN, A. G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 59, n.3, p.695-700, 1993.

NAGAOKA H.; UEDA, S.; MIYA, A. Influence of bacterial extracellular polymers on the membrane separation activated sludge process. **Water Science and Technology**. v. 34, n. 9 p. 165-172, 1996.

NÜBEL, U.; ENGELEN, B.; FELSKE, A.; SNAIDR, J.; WIESENHUBER, A.; AMANN, R. I.; LUDWIG, W.; BACKHAUS, H. Sequence heterogeneities of genes encoding 16S rRNAs. In: *Paenibacillus polymyxa* detected by temperature gradient gel electrophoresis. **Journal of Bacteriology**. v. 178, p. 5636–5643, 1996.

OLIVEIRA, C.R.; SILVA, C.M.; MILANEZ, A.F. Application of ultrafiltration in the pulp and paper industry: metals removal and whitewater reuse. **Water Science and Technology**. v. 55, n.6, p. 177-123, 2007.

PEREIRA, M. A.; ROEST, K.; STAMS, A. J. M.; MOTA, M.; ALVES. M.; AKKERMANS, A. D. L. Molecular monitoring of microbial diversity in expanded granular sludge bed (EGSB) reactors treating oleic acid. FEMS. **Microbiology Ecology**. v. 41, p. 95–103, 2002.

PHILIPPIS, R.; VICENZINI, M. Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications. **FEMS. Microbiology Reviews.** n. 22, p. 151-175, 1998.

PIETINAKAINEM, J.; HIUKKA, R.; FRIZE, H. Does short-term of forest húmus change its properties as a substrat for microbes? **Soil Biology Biochemical.** v. 32, p. 277-288, 2000.

RAGONA, C.S.F.; HALL, E.R. Parallel Operation of Ultrafiltration and aerobic membrane bioreactor treatment systems for mechanical newsprint mill whitewater at 55°C. **Water Science and Technology.** v. 38, n. 4-5, p. 307-314, 1998.

ROEST, K.; HEILIG, H. G.; SMIDT, H.; DE VOS, W. M.; STAMS, A. J. M.; AKKERMANS, A. D. L. Community analysis of a full-scale anaerobic bioreactor. **Systematic Applied Microbiology.** v. 28, n. 2, p. 175-185, 2005.

ROMERO, S. R. Recuperação de fibras. In: Workshop. Porto Alegre, ABTCP. Rio Grande do Sul, Brasil. 2003.

ROZICH, A. F.; e COLVIN, R. J. Design and operational considerations for thermophilic aerobic reactors treating high strength wastes and sludges. In: Proceedings of the 52nd Industrial Waste Conference, 1997, Ann Arbor, MI, U.S.A., Purdue University. ed.: Alleman, J. E., Ann Arbor Press.

SANTIAGO, P. S. S.; Melhores Práticas para água em fábricas de papel e celulose. 35° Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel. Outubro, 2002. São Paulo. Brasil.

SANZ, J.L.; KÖCHLING, T. Molecular biology techniques used in waster treatment: an overview. **Process Biochemistry.** v. 42, p. 119–133, 2007.

SATO, T.; ISHII, Y. Effect of activated sludge properties on water flux of ultrafiltration membrane used for human excrement treatment. **Water Science and Technology.** v. 23 p. 1601, 1991.

SHARP, R. J.; RILEY, P. W.; WHITE, D. Heterotrophic thermophilic Bacilli. In: KRISTJANSSON, J. K. (Ed.) **Thermophilic Bacteria**, MI, U.S.A.: CRC Press, Inc., Ann Arbor., 1992.

SHIM, J. K.; YOO, I. K.; LEE, Y. M. Design an operation considerations for wastewater treatment using a flat submerged membrane bioreactor. **Process biochemistry.** v. 38, p. 279-285, 2002.

SILVA, C.M. Flux prediction in high-shear microfiltration. Toronto, CA: University of Toronto, 1999, 190 p. (Thesis of Ph.D. in Chemical Engineering).

SILVEY, P.; PULLAMMANAPPALLIL, P.C.; BLACKALL, L.; NICHOLS, P. Microbial ecology of the leach bed anaerobic digestion of unsorted municipal solid waste. **Water Science and Technology.** v. 41, n°3, p. 9–16, 2000.

SOUSA, C. A. Controle do intumescimento filamentoso em um sistema de lodos ativados utilizando seletores biológicos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, MG. 80p. 2002.

SPONZA, D. T. Extracellular polymer substances and physicochemical properties of flocs in steady- and unsteady-state activated sludge systems. **Process Biochemistry**. n. 37, p. 983–998, 2002.

SPRINGER, A. M. Industrial environmental control. **Pulp and paper industry**. Atlanta, Georgia: Tappi Press, 1993.

SUTHERLAND, I. W. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. **Microbiology**. n. 147, p. 3-9, 2001.

TARDIF, O.; HALL, E.R. Alternatives for treating recirculating newsprint whitewater at high temperatures. **Water Science and Technology**. v.35, n. 2-3, p. 57-65. 1997.

TESKE, A. P.; SIGALEVICH, Y.; COHEN; MUYZER. Molecular identification of bacteria from a coculture by denaturing gradient gel electrophoresis of 16S ribosomal DNA fragments as a tool for isolation in pure cultures. **Applied Environmental Microbiology**. v. 62, p. 4210-4215. 1996.

THOMAS, H.; JUDD, S.; MURRER, J. Fouling characteristics of membrane filtration in membrane bioreactors. **Technology Membrane**. v.122 , p.10-13, 2000.

TORSVIK, V.; GOKSOYR, J.; DAAE, F. L. High diversity in DNA of soil bacteria. **Applied Environmental Microbiology**, v.56, p. 782-787,1990.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, C. E. G. R., BARROS, N. F., de MELLO, J. W., da COSTA, L. M. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG, v. 2, p. 195-276, 2002.

TRIPATHI, C. S.; ALLEN, D. G. Comparison of mesophilic and termophilic aerobic biological treatment in sequencing batch reactors treating bleached kraft pulp mill effluent. **Water Research**. v. 33, n. 3, p. 836-846, 1999.

UENO, Y.; HARUTA, S.; ISHII, M.; IGARASHI, Y. Changes in product formation and bacterial community by dilution rate on carbohydrate fermentation by methanogenic microflora in continuous flow stirred tank reactor. **Applied Microbiology Biotechnology**. v. 57, p. 65–73, 2001.

VAN ELSAS, J.D., WOLTERS, A. Polymerase chain reaction (PCR) analysis of soil microbial DNA. In: Akkermans, A.D.L., van Elsas, J.D., de Bruijn, F.J. (Eds.), **Molecular Microbial Ecology Manual**. Kluwer, 1995.

VOGELAAR, J.; VAN LIER, J.; KLAPWIJK, A.; de VRIES, M.; LETTINGA, G. Assessment of effluent turbidity in mesophilic and termophilic activated sludge

reactors – origin of effluent colloidal material. **Applied Microbiology Biotechnology**. v. 59, p. 105–111, 2002.

Von SPERLING, M. **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Lodos Ativadas**. v. 4. 2ª Ed. Ampliada. Belo Horizonte, MG: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, 2005.

WEBB, L. Effluent treatment heats up at mills. Disponível em: <http://www.paperloop.com/db_area/archive/ppi_mag/2001/0104/sludge.htm>. Acesso em 2001.

WERKER, A. G.; BECKER, J.; HUITEMA, C. Assessment of activated sludge microbial community analysis in full-scale biological wastewater treatment plants using patterns of fatty acid isopropyl esters (FAPEs). **Water Research**. v. 37, p. 2162–2172, 2003.

WHITE, D. **The Physiology and biochemistry of prokaryotes** Second edition Oxford university Press, 564p, 2000.

WÖSTER, H. E; COSTA, M. M. Fechamento de circuito da água branca em indústrias de papéis. In: Seminário Internacional sobre Fechamento de circuito. ABTCP, Vitória, ES. p. 1-15, 1997.

YAMAMOTO, K.; WIN, K. M. Tannery wastewater treatment using a sequencing batch membrane reactor. *Water Science and Technology*, v. 23 p. 1639-1648, 1991.

ZAIDI, A.; BUISSON, H.; SOURIRAJAN, S. Ultrafiltration in the Concentration of Toxic Organic from Selected Pulp Effluents. In: TAPPI Environmental Conference, 1991. p. 453-468.

ZITA, A., HERMANSSON, A., Effects of bacterial cell surface structures and hydrophobicity on attachment to activated sludge flocs. **Applied Microbiology Biotechnology**. v. 63, p. 1168–1170, 1997.

ANEXO 1 – PLANILHAS DE DADOS DA FASE I

Tabela dos dados da Fase I do experimento – Dureza Total

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA DUREZA TOTAL								
°C	Lodos Ativados Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Saída	Eficiência	Dias	Entrada	Saída	Eficiência
35 °C	1	254	243	4,2	1	246	229	7,2
	2	306	264	13,6	2	267	244	8,9
	3	412	268	34,9	3	289	257	11,2
	4	396	265	33,1	4	240	214	10,8
	5	354	260	26,6	5	267	205	23,2
	6	396	284	28,2	6	245	205	16,5
	7	292	222	24,0	7	243	201	17,2
	8	329	298	9,2	8	256	205	20,0
	9	274	265	3,2	9	351	213	39,4
	10	314	278	11,3	10	320	255	20,4
	11	300	265	11,7	11	278	235	15,3
	12	281	256	8,7	12	322	244	24,2
	13	304	265	12,8	13	310	243	21,8
	14	295	276	6,3	14	267	235	12,1
	15	319	288	9,9	15	332	279	16,0
45 °C	1	654	546	16,6	1	435	338	22,3
	2	568	505	11,0	2	428	336	21,5
	3	468	396	15,4	3	412	312	24,3
	4	633	508	19,6	4	396	298	24,7
	5	658	545	17,1	5	432	324	25,0
	6	564	513	9,1	6	321	252	21,5
	7	505	466	7,7	7	314	269	14,6
	8	556	431	22,4	8	356	248	30,4
	9	532	433	18,7	9	388	266	31,4
	10	425	399	6,1	10	420	305	27,4
	11	446	399	10,6	11	488	338	30,7
	12	469	346	26,3	12	510	343	32,7
	13	457	366	19,9	13	547	343	37,4
	14	468	376	19,6	14	486	285	41,4
	15	478	362	24,3	15	653	356	45,5
55 °C	1	456	357	21,8	1	364	204	43,9
	2	346	321	7,1	2	376	198	47,3
	3	355	312	12,0	3	399	204	48,7
	4	322	288	10,5	4	394	208	47,3
	5	379	264	30,4	5	376	168	55,4
	6	399	299	25,1	6	354	209	40,9
	7	357	212	40,5	7	474	227	52,0
	8	437	321	26,4	8	365	232	36,3
	9	425	307	27,8	9	415	257	38,2
	10	424	322	23,9	10	402	235	41,6
	11	388	303	21,9	11	387	257	33,7
	12	377	225	40,4	12	313	207	33,9
	13	365	213	41,6	13	401	213	47,1
	14	346	246	28,9	14	376	205	45,5
	15	388	219	43,5	15	413	214	48,3
35 °C	Média	322	267	15,8	Média	282	231	17,6
	Máximo	412	298	34,9	Máximo	351	279	39,4
	Mínimo	254	222	3,2	Mínimo	240	201	7,2
	Desvio Padrão	47	18	10,6	Desvio Padrão	36	23	8,0
45 °C	Média	525	439	16,3	Média	439	307	28,7
	Máximo	658	546	26,3	Máximo	653	356	45,5
	Mínimo	425	346	6,1	Mínimo	314	248	14,6
	Desvio Padrão	77	69	6,2	Desvio Padrão	88	36	8,2
55 °C	Média	384	281	26,8	Média	387	216	44,0
	Máximo	456	357	43,5	Máximo	474	257	55,4
	Mínimo	322	212	7,1	Mínimo	313	168	33,7
	Desvio Padrão	38	47	11,4	Desvio Padrão	35	23	6,5

Tabela dos dados da Fase I do experimento – Alcalinidade

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA - ALCALINIDADE								
°C	Lodos Ativados Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Saída	Eficiência	Dias	Entrada	Saída	Eficiência
35 °C	1	711	82	88,5	1	448	8	98,2
	2	658	78	88,1	2	420	12	97,1
	3	815	82	89,9	3	560	6	98,9
	4	785	92	88,3	4	580	12	97,9
	5	734	84	88,6	5	364	10	97,3
	6	716	86	88,0	6	421	12	97,1
	7	596	80	86,6	7	368	14	96,2
	8	548	88	83,9	8	354	10	97,2
	9	476	28	94,1	9	408	10	97,5
	10	582	48	91,8	10	348	15	95,7
	11	528	70	86,7	11	532	24	95,5
	12	458	65	85,8	12	568	22	96,1
	13	292	38	87,0	13	544	28	94,9
	14	356	39	89,0	14	422	21	95,0
	15	408	36	91,2	15	250	4	98,4
45 °C	1	456	78	82,9	1	524	24	95,4
	2	485	39	92,0	2	428	20	95,3
	3	652	31	95,2	3	632	22	96,5
	4	572	30	94,8	4	789	20	97,5
	5	587	24	95,9	5	725	20	97,2
	6	458	34	92,6	6	804	22	97,3
	7	695	24	96,5	7	657	24	96,3
	8	522	66	87,5	8	425	20	95,3
	9	612	67	89,1	9	427	22	94,8
	10	325	78	76,0	10	424	22	94,8
	11	365	80	78,1	11	389	22	94,3
	12	348	82	76,4	12	667	22	96,7
	13	326	86	73,6	13	754	24	96,8
	14	489	81	83,4	14	468	20	95,7
	15	588	84	85,7	15	356	22	93,8
55 °C	1	548	22	96,0	1	365	22	94,0
	2	546	26	95,2	2	389	24	93,8
	3	512	28	94,5	3	456	15	96,7
	4	489	26	94,7	4	425	28	93,4
	5	475	24	94,9	5	354	25	92,9
	6	468	36	92,3	6	645	24	96,3
	7	325	38	88,3	7	548	18	96,7
	8	346	59	82,9	8	567	21	96,3
	9	328	74	77,4	9	425	20	95,3
	10	346	72	79,2	10	468	16	96,6
	11	386	64	83,4	11	617	14	97,7
	12	384	62	83,9	12	585	18	96,9
	13	346	84	75,7	13	611	12	98,0
	14	321	78	75,7	14	635	16	97,5
	15	245	52	78,8	15	457	18	96,1
35 °C	Média	578	66	88,5	Média	439	14	96,9
	Máximo	815	92	94,1	Máximo	580	28	98,9
	Mínimo	292	28	83,9	Mínimo	250	4	94,9
	Desvio Padrão	159	22	2,5	Desvio Padrão	98	7	1,3
45 °C	Média	499	59	86,7	Média	565	22	95,9
	Máximo	695	86	96,5	Máximo	804	24	97,5
	Mínimo	325	24	73,6	Mínimo	356	20	93,8
	Desvio Padrão	120	25	7,9	Desvio Padrão	159	1	1,1
55 °C	Média	404	50	86,2	Média	503	19	95,9
	Máximo	548	84	96,0	Máximo	645	28	98,0
	Mínimo	245	22	75,7	Mínimo	354	12	92,9
	Desvio Padrão	94	22	7,8	Desvio Padrão	102	5	1,6

Tabela dos dados da Fase I do experimento – DQO

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA - DQO								
°C	Lodos Ativos Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Saída	Eficiência	Dias	Entrada	Saída	Eficiência
35 °C	1	253	112	55,7	1	517	98	81,0
	2	442	124	71,9	2	646	65	89,9
	3	407	138	66,1	3	820	64	92,2
	4	510	152	70,2	4	354	72	79,7
	5	232	102	56,0	5	450	69	84,7
	6	367	116	68,4	6	405	79	80,5
	7	350	98	72,0	7	275	68	75,3
	8	326	86	73,6	8	398	45	88,7
	9	244	72	70,5	9	344	57	83,4
	10	181	78	56,9	10	345	82	76,2
	11	307	72	76,5	11	482	98	79,7
	12	412	104	74,8	12	458	96	79,0
	13	386	98	74,6	13	412	86	79,1
	14	360	83	76,9	14	405	95	76,5
	15	410	60	85,4	15	352	88	75,0
45 °C	1	509	114	77,6	1	356	72	79,8
	2	650	102	84,3	2	386	59	84,7
	3	704	109	84,5	3	392	33	91,5
	4	388	64	83,5	4	764	77	89,9
	5	419	78	81,4	5	414	56	86,5
	6	384	82	78,6	6	408	58	85,8
	7	396	99	75,0	7	489	79	83,8
	8	750	147	80,4	8	391	36	90,8
	9	612	147	76,0	9	420	86	79,5
	10	472	159	66,3	10	395	92	76,7
	11	570	150	73,7	11	398	84	78,9
	12	670	147	78,0	12	328	94	71,3
	13	546	145	73,5	13	310	80	74,2
	14	575	121	78,9	14	304	73	76,0
	15	782	157	79,9	15	395	82	79,2
55 °C	1	897	167	81,4	1	286	66	76,9
	2	887	160	82,0	2	302	82	72,8
	3	502	132	73,7	3	256	62	75,8
	4	854	212	75,2	4	396	81	79,5
	5	825	286	65,3	5	385	98	74,5
	6	600	128	78,6	6	452	86	81,0
	7	782	135	82,8	7	520	96	81,5
	8	627	137	78,1	8	568	72	87,3
	9	692	168	75,7	9	320	76	76,3
	10	957	260	72,9	10	365	78	78,6
	11	937	227	75,8	11	345	74	78,6
	12	762	212	72,2	12	202	46	77,2
	13	837	182	78,3	13	256	58	77,3
	14	687	150	78,2	14	345	72	79,1
	15	660	135	79,6	15	425	68	84,0
35 °C	Média	346	100	70	Média	444	77	81
	Máximo	510	152	85	Máximo	820	98	92
	Mínimo	181	60	56	Mínimo	275	45	75
	Desvio Padrão	89	26	8	Desvio Padrão	136	16	5
45 °C	Média	562	121	78	Média	410	71	82
	Máximo	782	159	85	Máximo	764	94	91
	Mínimo	384	64	66	Mínimo	304	33	71
	Desvio Padrão	133	31	5	Desvio Padrão	108	19	6
55 °C	Média	767	179	77	Média	362	74	79
	Máximo	957	286	83	Máximo	568	98	87
	Mínimo	502	128	65	Mínimo	202	46	73
	Desvio Padrão	135	50	5	Desvio Padrão	100	14	4

Tabela dos dados da Fase I do experimento – Condutividade

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA - CONDUTIVIDADE								
°C	Lodos Ativados Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Saída	Eficiência	Dias	Entrada	Saída	Eficiência
35 °C	1	1.038,0	1.443,0	-39,0	1	1.080,0	1.232,0	-14,1
	2	1.035,0	1.420,0	-37,2	2	1.098,0	1.310,0	-19,3
	3	1.032,0	1.612,0	-56,2	3	941,0	1.218,0	-29,4
	4	1.074,0	1.425,0	-32,7	4	1.119,0	1.214,0	-8,5
	5	1.150,0	1.263,0	-9,8	5	1.044,0	1.246,0	-19,3
	6	1.156,0	1.216,0	-5,2	6	1.028,0	1.135,0	-10,4
	7	1.112,0	1.241,0	-11,6	7	1.007,0	1.161,0	-15,3
	8	1.161,0	1.310,0	-12,8	8	1.054,0	1.265,0	-20,0
	9	851,0	1.314,0	-54,4	9	1.100,0	1.289,0	-17,2
	10	1.210,0	1.318,0	-8,9	10	1.115,0	1.352,0	-21,3
	11	1.315,0	1.324,0	-0,7	11	1.072,0	1.205,0	-12,4
	12	1.114,0	1.124,0	-0,9	12	1.154,0	1.245,0	-7,9
	13	1.216,0	1.415,0	-16,4	13	1.030,0	1.253,0	-21,7
	14	1.028,0	1.356,0	-31,9	14	1.146,0	1.162,0	-1,4
	15	983,0	1.112,0	-13,1	15	989,0	1.298,0	-31,2
45 °C	1	1.416,0	1.492,0	-5,4	1	1.118,0	1.189,0	-6,4
	2	1.611,0	1.504,0	6,6	2	1.198,0	1.126,0	6,0
	3	1.520,0	1.376,0	9,5	3	1.215,0	1.151,0	5,3
	4	1.066,0	1.429,0	-34,1	4	1.310,0	1.248,0	4,7
	5	1.386,0	1.477,0	-6,6	5	1.376,0	1.248,0	9,3
	6	1.383,0	1.380,0	0,2	6	1.092,0	1.269,0	-16,2
	7	1.353,0	1.493,0	-10,3	7	1.184,0	1.332,0	-12,5
	8	1.426,0	1.470,0	-3,1	8	1.195,0	1.198,0	-0,3
	9	1.012,0	1.230,0	-21,5	9	1.151,0	1.154,0	-0,3
	10	1.277,0	1.222,0	4,3	10	1.397,0	1.207,0	13,6
	11	1.165,0	1.282,0	-10,0	11	1.256,0	1.137,0	9,5
	12	1.210,0	1.238,0	-2,3	12	1.242,0	1.146,0	7,7
	13	1.146,0	1.298,0	-13,3	13	1.139,0	1.097,0	3,7
	14	1.245,0	1.121,0	10,0	14	1.118,0	1.121,0	-0,3
	15	1.430,0	1.386,0	3,1	15	1.154,0	1.238,0	-7,3
55 °C	1	1.180,0	1.195,0	-1,3	1	1.456,0	1.658,0	-13,9
	2	1.241,0	1.138,0	8,3	2	1.526,0	1.757,0	-15,1
	3	1.418,0	1.138,0	19,7	3	1.458,0	1.544,0	-5,9
	4	1.337,0	1.550,0	-15,9	4	1.652,0	1.757,0	-6,4
	5	1.340,0	1.445,0	-7,8	5	1.560,0	1.474,0	5,5
	6	1.343,0	1.480,0	-10,2	6	1.326,0	1.272,0	4,1
	7	1.337,0	1.485,0	-11,1	7	1.428,0	1.547,0	-8,3
	8	1.260,0	1.412,0	-12,1	8	1.412,0	1.415,0	-0,2
	9	1.258,0	1.365,0	-8,5	9	1.412,0	1.408,0	0,3
	10	1.288,0	1.598,0	-24,1	10	1.352,0	1.272,0	5,9
	11	1.676,0	1.496,0	10,7	11	1.455,0	1.462,0	-0,5
	12	1.341,0	1.437,0	-7,2	12	1.387,0	1.458,0	-5,1
	13	1.298,0	1.386,0	-6,8	13	1.426,0	1.436,0	-0,7
	14	1.172,0	1.632,0	-39,2	14	1.512,0	1.486,0	1,7
	15	1.106,0	1.871,0	-69,2	15	1.536,0	1.456,0	5,2
35 °C	Média	1098,3	1326,2	-22,1	Média	1065,1	1239,0	-16,6
	Máximo	1315,0	1612,0	-0,7	Máximo	1154,0	1352,0	-1,4
	Mínimo	851,0	1112,0	-56,2	Mínimo	941,0	1135,0	-31,2
	Desvio Padrão	112,0	129,1	18,4	Desvio Padrão	59,9	59,7	8,0
45 °C	Média	1309,7	1359,9	-4,9	Média	1209,7	1190,7	1,1
	Máximo	1611,0	1504,0	10,0	Máximo	1397,0	1332,0	13,6
	Mínimo	1012,0	1121,0	-34,1	Mínimo	1092,0	1097,0	-16,2
	Desvio Padrão	168,7	121,2	12,0	Desvio Padrão	92,3	65,9	8,5
55 °C	Média	1306,3	1441,9	-11,6	Média	1459,9	1493,5	-2,2
	Máximo	1676,0	1871,0	19,7	Máximo	1652,0	1757,0	5,9
	Mínimo	1106,0	1138,0	-69,2	Mínimo	1326,0	1272,0	-15,1
	Desvio Padrão	130,4	192,4	21,2	Desvio Padrão	85,1	144,0	6,7

Tabela dos dados da Fase I do experimento – SST

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA - SST								
°C	Lodos Ativados Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Reator	Saída	Dias	Entrada	Reator	Saída
35 °C	1	450	4.550	30	1	508	4.875	0
	2	240	4.610	34	2	1.132	6.185	0
	3	715	4.919	45	3	1.768	7.150	0
	4	480	6.266	26	4	366	7.475	0
	5	328	6.766	34	5	622	7.632	0
	6	350	6.200	42	6	606	7.898	0
	7	378	5.800	26	7	228	8.180	0
	8	298	5.362	64	8	418	8.335	0
	9	296	5.500	58	9	322	6.600	0
	10	282	6.068	34	10	654	6.975	0
	11	298	5.740	93	11	344	6.085	0
	12	401	5.560	42	12	408	7.335	0
	13	150	5.144	28	13	316	5.915	0
	14	150	5.144	10	14	344	7.851	0
	15	432	6.020	18	15	348	8.565	0
45 °C	1	166	4.156	76	1	334	5.200	0
	2	176	3.748	56	2	74	4.740	0
	3	272	4.860	52	3	188	5.240	0
	4	58	4.920	42	4	678	5.290	0
	5	156	4.888	63	5	382	5.370	0
	6	14	4.384	46	6	378	5.784	0
	7	70	5.528	28	7	586	6.130	0
	8	2.768	5.072	68	8	568	8.444	0
	9	1.012	5.420	79	9	756	6.690	0
	10	576	3.940	36	10	64	5.732	0
	11	240	4.096	64	11	88	4.731	0
	12	1.058	3.720	40	12	88	4.231	0
	13	146	3.952	92	13	72	4.569	0
	14	842	4.240	48	14	164	4.728	0
	15	1.036	4.516	24	15	218	4.864	0
55 °C	1	1.442	3.732	46	1	664	5.248	0
	2	1.152	3.828	78	2	708	5.668	0
	3	2.546	4.050	58	3	860	5.008	0
	4	1.304	4.450	22	4	996	5.172	0
	5	590	3.476	28	5	220	4.972	0
	6	536	4.328	36	6	222	4.960	0
	7	506	3.292	10	7	125	4.950	0
	8	472	3.396	6	8	352	5.012	0
	9	540	4.848	66	9	410	5.123	0
	10	1.324	4.848	70	10	152	4.920	0
	11	1.066	4.512	84	11	360	5.050	0
	12	1.362	5.320	92	12	850	6.501	0
	13	2.614	5.608	474	13	65	6.026	0
	14	708	5.420	138	14	412	5.860	0
	15	760	5.164	114	15	123	5.930	0
35 °C	Média	349,9	5576,6	38,9	Média	558,9	7137,1	0,0
	Máximo	715,0	6766,0	93,0	Máximo	1768,0	8565,0	0,0
	Mínimo	150,0	4550,0	10,0	Mínimo	228,0	4875,0	0,0
	Desvio Padrão	140,3	634,7	20,4	Desvio Padrão	400,8	1034,7	0,0
45 °C	Média	572,7	4496,0	54,3	Média	309,2	5449,5	0,0
	Máximo	2768,0	5528,0	92,0	Máximo	756,0	8444,0	0,0
	Mínimo	14,0	3720,0	24,0	Mínimo	64,0	4231,0	0,0
	Desvio Padrão	719,3	587,8	19,4	Desvio Padrão	239,6	1050,2	0,0
55 °C	Média	1128,1	4418,1	88,1	Média	434,6	5360,0	0,0
	Máximo	2614,0	5608,0	474,0	Máximo	996,0	6501,0	0,0
	Mínimo	472,0	3292,0	6,0	Mínimo	65,0	4920,0	0,0
	Desvio Padrão	684,6	771,4	113,2	Desvio Padrão	305,9	502,3	0,0

Tabela dos dados da Fase I do experimento – Turbidez

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA - TURBIDEZ								
°C	Lodos Ativados Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Saída	Eficiência	Dias	Entrada	Saída	Eficiência
35 °C	1	1.484	8	99,5	1	764	0	100,0
	2	1.390	6	99,6	2	986	0	100,0
	3	1.313	22	98,4	3	878	0	100,0
	4	1.150	7	99,4	4	1.120	0	100,0
	5	980	16	98,4	5	1.160	0	100,0
	6	890	13	98,5	6	420	0	100,0
	7	719	23	96,8	7	307	0	100,0
	8	680	26	96,3	8	135	0	99,9
	9	581	16	97,3	9	731	0	100,0
	10	590	17	97,1	10	980	0	100,0
	11	589	16	97,4	11	1.376	0	100,0
	12	620	26	95,9	12	1.324	0	100,0
	13	661	14	97,9	13	1.010	0	100,0
	14	820	14	98,3	14	820	0	100,0
	15	974	22	97,7	15	608	0	100,0
45 °C	1	114	7	93,6	1	116	0	99,9
	2	176	45	74,4	2	43	0	99,8
	3	237	25	89,5	3	119	0	99,9
	4	212	28	86,8	4	568	0	100,0
	5	202	46	77,2	5	256	0	100,0
	6	180	13	92,8	6	322	0	100,0
	7	236	15	93,6	7	360	0	100,0
	8	1.065	26	97,6	8	561	0	100,0
	9	1.012	85	91,6	9	1.130	0	100,0
	10	1.050	56	94,7	10	198	0	99,9
	11	1.400	47	96,6	11	168	0	99,9
	12	123	32	74,0	12	174	0	99,9
	13	146	15	89,7	13	360	0	100,0
	14	116	21	81,9	14	456	0	100,0
	15	256	60	76,6	15	224	0	100,0
55 °C	1	2.050	220	89,3	1	125	0	99,9
	2	2.080	180	91,3	2	245	0	100,0
	3	2.670	223	91,6	3	153	0	99,9
	4	1.520	152	90,0	4	652	0	100,0
	5	614	302	50,8	5	452	0	100,0
	6	677	152	0,0	6	458	0	100,0
	7	800	124	0,0	7	562	0	100,0
	8	757	103	86,4	8	135	0	99,9
	9	915	75	91,8	9	258	0	100,0
	10	1.120	80	92,9	10	456	0	100,0
	11	1.320	119	91,0	11	356	0	100,0
	12	1.750	72	95,9	12	345	0	100,0
	13	2.138	320	85,0	13	425	0	100,0
	14	1.220	307	74,8	14	465	0	100,0
	15	1.090	51	95,3	15	586	0	100,0
35 °C	Média	896	16	97,9	Média	841	0	100,0
	Máximo	1.484	26	99,6	Máximo	1.376	0	100,0
	Mínimo	581	6	95,9	Mínimo	135	0	99,9
	Desvio Padrão	310	6	1,1	Desvio Padrão	359	0	0,0
45 °C	Média	435	35	87,4	Média	337	0	99,9
	Máximo	1.400	85	97,6	Máximo	1.130	0	100,0
	Mínimo	114	7	74,0	Mínimo	43	0	99,8
	Desvio Padrão	445	21	8,3	Desvio Padrão	271	0	0,1
55 °C	Média	1.381	165	75,1	Média	378	0	100,0
	Máximo	2.670	320	95,9	Máximo	652	0	100,0
	Mínimo	614	51	0,0	Mínimo	125	0	99,9
	Desvio Padrão	629	90	32,5	Desvio Padrão	166	0	0,0

Tabela dos dados da Fase I do experimento – pH

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTO DA - pH								
°C	Lodos Ativos Convencional - LAC				Biorreator a Membranas - MBR			
	Dias	Entrada	Saída	Eficiência	Dias	Entrada	Saída	Eficiência
35 °C	1	7,1	7,6	-7,3	1	7,0	7,5	-7,1
	2	7,1	7,4	-4,2	2	7,0	7,4	-5,7
	3	7,1	7,5	-6,4	3	7,0	7,6	-8,6
	4	7,0	7,5	-7,1	4	7,0	7,5	-7,1
	5	7,1	7,4	-4,5	5	7,0	7,4	-5,9
	6	7,0	7,5	-6,4	6	7,0	7,5	-6,4
	7	7,0	7,6	-8,7	7	6,9	7,6	-10,1
	8	7,0	7,5	-7,1	8	7,0	7,5	-7,4
	9	7,0	7,3	-4,0	9	7,0	7,5	-6,9
	10	7,0	7,4	-5,7	10	7,0	7,5	-6,6
	11	7,0	7,4	-5,0	11	7,0	7,5	-6,9
	12	7,0	7,5	-7,1	12	7,0	7,4	-5,7
	13	7,0	7,5	-7,1	13	7,0	7,4	-5,4
	14	7,0	7,6	-8,6	14	7,0	7,5	-6,4
	15	7,0	7,5	-6,4	15	7,0	7,4	-5,7
45 °C	1	7,0	7,5	-7,0	1	7,0	7,0	0,0
	2	7,0	7,4	-5,0	2	7,0	7,1	-1,7
	3	7,0	7,5	-6,6	3	7,0	7,2	-2,1
	4	7,0	7,4	-5,9	4	7,0	7,2	-2,4
	5	7,0	7,4	-6,3	5	7,0	7,2	-2,4
	6	7,0	7,5	-6,4	6	7,0	7,2	-2,9
	7	7,0	7,5	-6,6	7	7,0	7,3	-3,7
	8	7,0	7,5	-6,4	8	7,0	7,2	-2,7
	9	1.012,0	7,5	99,3	9	7,0	7,2	-3,4
	10	7,0	7,5	-7,3	10	7,0	7,3	-3,9
	11	7,0	7,5	-7,0	11	7,0	7,2	-2,9
	12	7,0	7,5	-7,0	12	7,0	7,3	-3,7
	13	146,0	7,5	94,9	13	7,0	7,3	-4,4
	14	7,0	21,0	-200,0	14	7,0	7,3	-4,6
	15	7,0	7,4	-6,3	15	7,0	7,3	-4,6
55 °C	1	7,0	7,2	-2,9	1	7,0	7,2	-2,9
	2	7,0	7,4	-5,1	2	7,0	7,1	-1,4
	3	7,0	7,3	-4,9	3	7,0	7,2	-2,9
	4	7,0	7,3	-4,1	4	7,0	7,3	-4,3
	5	7,0	7,2	-3,4	5	7,0	7,2	-2,9
	6	7,0	7,2	-3,0	6	7,0	7,3	-4,3
	7	7,0	7,1	-1,7	7	7,1	7,2	-1,4
	8	7,0	7,1	-1,6	8	7,1	7,3	-2,8
	9	7,0	7,2	-2,1	9	7,0	7,1	-1,4
	10	7,0	7,1	-2,0	10	7,1	7,2	-1,4
	11	7,0	7,1	-2,0	11	6,9	7,2	-4,3
	12	7,0	7,1	-1,7	12	6,9	7,3	-5,8
	13	7,0	7,1	-1,7	13	7,1	7,3	-2,8
	14	7,0	7,1	-1,1	14	7,0	7,3	-4,3
	15	7,0	7,0	-0,6	15	7,0	7,2	-2,9
35 °C	Média	7,0	7,5	-6,4	Média	7,0	7,5	-6,9
	Máximo	7,1	7,6	-4,0	Máximo	7,0	7,6	-5,4
	Mínimo	7,0	7,3	-8,7	Mínimo	6,9	7,4	-10,1
	Desvio Padrão	0,0	0,1	1,5	Desvio Padrão	0,0	0,1	1,2
45 °C	Média	83,3	8,4	-5,6	Média	7,0	7,2	-3,0
	Máximo	1012,0	21,0	99,3	Máximo	7,0	7,3	0,0
	Mínimo	7,0	7,4	-200,0	Mínimo	7,0	7,0	-4,6
	Desvio Padrão	259,4	3,5	64,9	Desvio Padrão	0,0	0,1	1,2
55 °C	Média	7,0	7,2	-2,5	Média	7,0	7,2	-3,0
	Máximo	7,0	7,4	-0,6	Máximo	7,1	7,3	-1,4
	Mínimo	7,0	7,0	-5,1	Mínimo	6,9	7,1	-5,8
	Desvio Padrão	0,0	0,1	1,3	Desvio Padrão	0,1	0,1	1,3

Tabela dos dados da Fase I do experimento – A/M, U e carga de DQO

DADOS DA PRIMEIRA FASE I DO EXPERIMENTODA - A/M, U e CARGA DE DQO							
°C	LAC				BRM		
	Dias	A/M	U	Carga	A/M	U	Carga
35 °C	1	0,063	0,035	0,286	0,120	0,097	0,585
	2	0,108	0,078	0,500	0,118	0,106	0,731
	3	0,094	0,062	0,460	0,130	0,120	0,928
	4	0,092	0,065	0,577	0,054	0,043	0,401
	5	0,039	0,022	0,262	0,067	0,056	0,509
	6	0,067	0,046	0,415	0,058	0,047	0,458
	7	0,079	0,057	0,396	0,038	0,029	0,311
	8	0,069	0,051	0,369	0,054	0,048	0,450
	9	0,058	0,041	0,276	0,059	0,049	0,389
	10	0,034	0,019	0,205	0,056	0,043	0,390
	11	0,057	0,043	0,347	0,090	0,071	0,545
	12	0,084	0,063	0,466	0,071	0,056	0,518
	13	0,085	0,063	0,437	0,079	0,062	0,466
	14	0,079	0,061	0,407	0,058	0,045	0,458
	15	0,077	0,066	0,464	0,046	0,035	0,398
45 °C	1	0,139	0,108	0,576	0,102	0,081	0,403
	2	0,196	0,165	0,735	0,109	0,092	0,437
	3	0,164	0,139	0,797	0,130	0,119	0,444
	4	0,089	0,075	0,439	0,289	0,260	0,864
	5	0,097	0,079	0,474	0,105	0,091	0,468
	6	0,099	0,078	0,434	0,080	0,068	0,462
	7	0,081	0,061	0,448	0,136	0,114	0,553
	8	0,167	0,134	0,848	0,052	0,048	0,442
	9	0,091	0,069	0,692	0,071	0,056	0,475
	10	0,136	0,090	0,534	0,078	0,060	0,447
	11	0,157	0,116	0,644	0,095	0,075	0,450
	12	0,204	0,159	0,757	0,088	0,063	0,371
	13	0,156	0,115	0,618	0,077	0,057	0,351
	14	0,153	0,121	0,650	0,073	0,055	0,344
	15	0,196	0,157	0,885	0,092	0,073	0,447
55 °C	1	0,272	0,221	1,015	0,062	0,047	0,324
	2	0,262	0,215	1,004	0,060	0,044	0,342
	3	0,200	0,147	0,568	0,058	0,044	0,290
	4	0,182	0,137	0,966	0,087	0,069	0,448
	5	0,269	0,175	0,933	0,088	0,065	0,436
	6	0,157	0,123	0,678	0,103	0,083	0,511
	7	0,269	0,223	0,885	0,119	0,097	0,588
	8	0,209	0,163	0,709	0,128	0,112	0,643
	9	0,161	0,122	0,783	0,071	0,054	0,362
	10	0,223	0,163	1,083	0,084	0,066	0,413
	11	0,235	0,178	1,060	0,077	0,061	0,390
	12	0,162	0,117	0,862	0,035	0,027	0,229
	13	0,169	0,132	0,947	0,048	0,037	0,290
	14	0,143	0,112	0,777	0,067	0,053	0,390
	15	0,144	0,115	0,746	0,081	0,068	0,481
35 °C	Média	0,072	0,051	0,391	0,073	0,060	0,503
	Máximo	0,108	0,078	0,577	0,130	0,120	0,928
	Mínimo	0,034	0,019	0,205	0,038	0,029	0,311
	Desvio Padrão	0,020	0,017	0,101	0,029	0,027	0,154
45 °C	Média	0,142	0,111	0,635	0,105	0,087	0,464
	Máximo	0,204	0,165	0,885	0,289	0,260	0,864
	Mínimo	0,081	0,061	0,434	0,052	0,048	0,344
	Desvio Padrão	0,042	0,035	0,150	0,056	0,052	0,123
55 °C	Média	0,204	0,156	0,868	0,078	0,062	0,409
	Máximo	0,272	0,223	1,083	0,128	0,112	0,643
	Mínimo	0,143	0,112	0,568	0,035	0,027	0,229
	Desvio Padrão	0,048	0,039	0,152	0,025	0,023	0,114

ANEXO 2 – PLANILHAS DE DADOS DA FASE II

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 2,57 Kg DQO.m ⁻³ .d ⁻¹												
Série	Data	DQO					Eficiência DQO			Carga DQO Tratado		
		Entrada	Carga	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C
1	22/10/2006	1025	2,46	54	57	76	94,7	94,4	92,6	0,13	0,14	0,18
2	23/10/2006	1014	2,43	44	35	62	95,7	96,5	93,9	0,11	0,08	0,15
3	24/10/2006	1120	2,69	37	48	52	96,7	95,7	95,4	0,09	0,12	0,12
4	25/10/2006	1012	2,43	26	33	42	97,4	96,7	95,8	0,06	0,08	0,10
5	26/10/2006	1050	2,52	22	27	67	97,9	97,4	93,6	0,05	0,06	0,16
6	27/10/2006	996	2,39	54	63	77	94,6	93,7	92,3	0,13	0,15	0,18
7	28/10/2006	1020	2,45	67	74	89	93,4	92,7	91,3	0,16	0,18	0,21
8	29/10/2006	1012	2,43	87	89	91	91,4	91,2	91,0	0,21	0,21	0,22
9	30/10/2006	1097	2,63	86	95	96	92,2	91,3	91,2	0,21	0,23	0,23
10	31/10/2006	1115	2,68	73	87	94	93,5	92,2	91,6	0,18	0,21	0,23
11	1/11/2006	1012	2,43	84	94	98	91,7	90,7	90,3	0,20	0,23	0,24
12	2/11/2006	1020	2,45	72	85	92	92,9	91,7	91,0	0,17	0,20	0,22
13	3/11/2006	1045	2,51	56	81	94	94,6	92,2	91,0	0,13	0,19	0,23
14	4/11/2006	1125	2,70	47	72	96	95,8	93,6	91,5	0,11	0,17	0,23
15	5/11/2006	1158	2,78	33	47	71	97,2	95,9	93,9	0,08	0,11	0,17
16	6/11/2006	1046	2,51	32	43	72	96,9	95,9	93,1	0,08	0,10	0,17
17	7/11/2006	1230	2,95	40	55	76	96,7	95,5	93,8	0,10	0,13	0,18
18	8/11/2006	1160	2,78	54	77	95	95,3	93,4	91,8	0,13	0,18	0,23
19	9/11/2006	1260	3,02	39	53	91	96,9	95,8	92,8	0,09	0,13	0,22
20	10/11/2006	1286	3,09	33	65	94	97,4	94,9	92,7	0,08	0,16	0,23
21	11/11/2006	993	2,38	36	54	94	96,4	94,6	90,5	0,09	0,13	0,23
22	12/11/2006	910	2,18	32	46	87	96,5	94,9	90,4	0,08	0,11	0,21
23	13/11/2006	964	2,31	31	45	93	96,8	95,3	90,4	0,07	0,11	0,22
24	14/11/2006	918	2,20	34	55	94	96,3	94,0	89,8	0,08	0,13	0,23
25	15/11/2006	963	2,31	39	60	97	96,0	93,8	89,9	0,09	0,14	0,23
26	16/11/2006	1083	2,60	36	52	96	96,7	95,2	91,1	0,09	0,12	0,23
27	17/11/2006	1126	2,70	34	56	94	97,0	95,0	91,7	0,08	0,13	0,23
28	18/11/2006	1113	2,67	60	71	101	94,6	93,6	90,9	0,14	0,17	0,24
29	19/11/2006	1019	2,45	39	66	101	96,2	93,5	90,1	0,09	0,16	0,24
30	20/11/2006	1219	2,93	49	76	99	96,0	93,8	91,9	0,12	0,18	0,24
Carga 1	Média	1070	2,57	47,667	62,033	86,033	95,5	94,2	91,9	0,11	0,15	0,21
	Máximo	1286	3,09	87,000	95,000	101,000	97,9	97,4	95,8	0,21	0,23	0,24
	Mínimo	910	2,18	22,000	27,000	42,000	91,4	90,7	89,8	0,05	0,06	0,10
	Desvio Padrão	96	0,23	18,263	18,250	15,000	1,8	1,7	1,6	0,04	0,04	0,04

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 4,75 Kg DQO.m ⁻³ .d ⁻¹												
Série	Data	DQO					Eficiência DQO			Carga DQO Tratado		
		Entrada	Carga	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C
1	23/11/2006	1989	4,77	58	85	104	97,1	95,7	94,8	0,14	0,20	0,25
2	24/11/2006	1960	4,70	31	96	101	98,4	95,1	94,8	0,07	0,23	0,24
3	25/11/2006	1856	4,45	37	79	95	98,0	95,7	94,9	0,09	0,19	0,23
4	26/11/2006	2014	4,83	27	101	102	98,7	95,0	94,9	0,06	0,24	0,24
5	27/11/2006	2145	5,15	28	101	104	98,7	95,3	95,2	0,07	0,24	0,25
6	28/11/2006	2054	4,93	41	100	101	98,0	95,1	95,1	0,10	0,24	0,24
7	29/11/2006	1980	4,75	40	99	100	98,0	95,0	94,9	0,10	0,24	0,24
8	30/11/2006	1878	4,51	43	88	97	97,7	95,3	94,8	0,10	0,21	0,23
9	1/12/2006	1759	4,22	50	94	98	97,2	94,7	94,4	0,12	0,23	0,24
10	2/12/2006	1839	4,41	51	98	99	97,2	94,7	94,6	0,12	0,24	0,24
11	3/12/2006	1939	4,65	47	89	96	97,6	95,4	95,0	0,11	0,21	0,23
12	4/12/2006	2052	4,92	49	87	96	97,6	95,8	95,3	0,12	0,21	0,23
13	5/12/2006	1905	4,57	52	80	100	97,3	95,8	94,8	0,12	0,19	0,24
14	6/12/2006	1899	4,56	50	80	99	97,4	95,8	94,8	0,12	0,19	0,24
15	7/12/2006	2005	4,81	56	82	99	97,2	95,9	95,1	0,13	0,20	0,24
16	8/12/2006	1986	4,77	56	86	100	97,2	95,7	95,0	0,13	0,21	0,24
17	9/12/2006	1980	4,75	53	65	92	97,3	96,7	95,4	0,13	0,16	0,22
18	10/12/2006	2054	4,93	37	64	85	98,2	96,9	95,9	0,09	0,15	0,20
19	11/12/2006	2013	4,83	35	55	94	98,3	97,3	95,3	0,08	0,13	0,23
20	12/12/2006	2008	4,82	31	57	72	98,5	97,2	96,4	0,07	0,14	0,17
21	13/12/2006	1986	4,77	34	65	86	98,3	96,7	95,7	0,08	0,16	0,21
22	14/12/2006	1984	4,76	51	68	93	97,4	96,6	95,3	0,12	0,16	0,22
23	15/12/2006	2010	4,82	71	78	94	96,5	96,1	95,3	0,17	0,19	0,23
24	16/12/2006	2015	4,84	64	97	94	96,8	95,2	95,3	0,15	0,23	0,23
25	17/12/2006	2110	5,06	64	96	98	97,0	95,5	95,4	0,15	0,23	0,24
26	18/12/2006	1871	4,49	63	95	97	96,6	94,9	94,8	0,15	0,23	0,23
27	19/12/2006	1950	4,68	58	94	95	97,0	95,2	95,1	0,14	0,23	0,23
28	20/12/2006	1986	4,77	72	78	90	96,4	96,1	95,5	0,17	0,19	0,22
29	21/12/2006	2006	4,81	85	91	88	95,8	95,5	95,6	0,20	0,22	0,21
30	22/12/2006	2150	5,16	121	165	183	94,4	92,3	91,5	0,29	0,40	0,44
Carga 2	Média	1979	4,75	51,833	87,100	98,400	97,4	95,6	95,0	0,12	0,21	0,24
	Máximo	2150	5,16	121,000	165,000	183,000	98,7	97,3	96,4	0,29	0,40	0,44
	Mínimo	1759	4,22	27,000	55,000	72,000	94,4	92,3	91,5	0,06	0,13	0,17
	Desvio Padrão	87	0,21	19,173	19,906	17,252	0,9	0,9	0,8	0,05	0,05	0,04

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 9,43 Kg DQO.m ⁻³ .d ⁻¹												
Série	Data	DQO					Eficiência DQO			Carga DQO Tratado		
		Entrada	Carga	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C
1	23/12/2006	3921	9,41	116	174	201	97,0	95,6	94,9	0,28	0,42	0,48
2	24/12/2006	3825	9,18	165	188	273	95,7	95,1	92,9	0,40	0,45	0,66
3	25/12/2006	4025	9,66	185	193	328	95,4	95,2	91,9	0,44	0,46	0,79
4	26/12/2006	3982	9,56	150	194	389	96,2	95,1	90,2	0,36	0,47	0,93
5	27/12/2006	3825	9,18	161	205	289	95,8	94,6	92,4	0,39	0,49	0,69
6	28/12/2006	4078	9,79	153	146	215	96,3	96,4	94,7	0,37	0,35	0,52
7	29/12/2006	3960	9,50	160	177	239	96,0	95,5	94,0	0,38	0,42	0,57
8	30/12/2006	3752	9,00	132	192	354	96,5	94,9	90,6	0,32	0,46	0,85
9	31/12/2006	3752	9,00	181	303	429	95,2	91,9	88,6	0,43	0,73	1,03
10	1/1/2007	3752	9,00	173	363	425	95,4	90,3	88,7	0,42	0,87	1,02
11	2/1/2007	3752	9,00	203	267	423	94,6	92,9	88,7	0,49	0,64	1,01
12	3/1/2007	3752	9,00	193	365	468	94,9	90,3	87,5	0,46	0,88	1,12
13	4/1/2007	4028	9,67	233	387	449	94,2	90,4	88,9	0,56	0,93	1,08
14	5/1/2007	4028	9,67	47	188	449	98,8	95,3	88,9	0,11	0,45	1,08
15	6/1/2007	4084	9,80	139	348	464	96,6	91,5	88,6	0,33	0,83	1,11
16	7/1/2007	3815	9,16	151	164	525	96,0	95,7	86,2	0,36	0,39	1,26
17	8/1/2007	3815	9,16	208	290	364	94,6	92,4	90,5	0,50	0,70	0,87
18	9/1/2007	3815	9,16	160	225	324	95,8	94,1	91,5	0,38	0,54	0,78
19	10/1/2007	3815	9,16	89	360	338	97,7	90,6	91,2	0,21	0,86	0,81
20	11/1/2007	4028	9,67	161	260	458	96,0	93,5	88,6	0,39	0,62	1,10
21	12/1/2007	4028	9,67	184	269	436	95,4	93,3	89,2	0,44	0,65	1,05
22	13/1/2007	4028	9,67	206	278	413	94,9	93,1	89,8	0,49	0,67	0,99
23	14/1/2007	4028	9,67	223	305	496	94,5	92,4	87,7	0,53	0,73	1,19
24	15/1/2007	4028	9,67	218	290	473	94,6	92,8	88,3	0,52	0,70	1,13
25	16/1/2007	4071	9,77	228	293	494	94,4	92,8	87,9	0,55	0,70	1,19
26	17/1/2007	4071	9,77	226	301	503	94,4	92,6	87,7	0,54	0,72	1,21
27	18/1/2007	3934	9,44	196	268	484	95,0	93,2	87,7	0,47	0,64	1,16
28	19/1/2007	3934	9,44	193	316	565	95,1	92,0	85,6	0,46	0,76	1,36
29	20/1/2007	3934	9,44	186	356	455	95,3	90,9	88,4	0,45	0,86	1,09
30	21/1/2007	3994	9,59	179	278	421	95,5	93,1	89,5	0,43	0,67	1,01
Carga 3	Média	3928	9,43	173,217	264,700	404,624	95,6	93,3	89,7	0,42	0,64	0,97
	Máximo	4084	9,80	233,000	387,000	565,000	98,8	96,4	94,9	0,56	0,93	1,36
	Mínimo	3752	9,00	47,000	146,250	201,000	94,2	90,3	85,6	0,11	0,35	0,48
	Desvio Padrão	118	0,28	41,551	69,725	93,472	1,0	1,8	2,3	0,10	0,17	0,22

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 2,57 Kg DQO.m-3.d-1															
Série	Data	Condutividade				Eficiência de Remoção de Condutividade			Turbidez				Eficiência de Remoção de Turbidez		
		Entrada	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Entrada	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C
1	22/10/2006	1.720	1.740	1.764	2.110	-1,2	-2,6	-22,7	150	0,10	0,90	1,50	99,9	99,4	99,0
2	23/10/2006	1.510	1.653	1.494	1.526	-9,5	1,1	-1,1	125	0,10	0,10	1,09	99,9	99,9	99,1
3	24/10/2006	1.420	1.487	1.432	1.412	-4,7	-0,8	0,6	145	0,10	0,41	0,45	99,9	99,7	99,7
4	25/10/2006	1.390	1.389	1.395	1.408	0,1	-0,4	-1,3	175	0,10	0,37	0,85	99,9	99,8	99,5
5	26/10/2006	1.398	1.410	1.394	1.402	-0,9	0,3	-0,3	185	0,10	0,61	0,38	99,9	99,7	99,8
6	27/10/2006	1.850	1.862	2.010	1.868	-0,6	-8,6	-1,0	264	0,16	0,47	1,97	99,9	99,8	99,3
7	28/10/2006	1.998	2.220	2.570	2.930	-11,1	-28,6	-46,6	350	0,18	0,58	1,59	99,9	99,8	99,5
8	29/10/2006	2.010	2.150	2.610	2.540	-7,0	-29,9	-26,4	387	0,19	0,10	1,74	100,0	100,0	99,6
9	30/10/2006	1.715	1.817	1.919	1.781	-5,9	-11,9	-3,8	480	0,17	0,80	2,04	100,0	99,8	99,6
10	31/10/2006	1.712	1.743	1.853	1.758	-1,8	-8,2	-2,7	564	0,16	0,14	1,43	100,0	100,0	99,7
11	1/11/2006	1.798	1.832	1.812	1.798	-1,9	-0,8	0,0	120	0,10	0,22	0,85	99,9	99,8	99,3
12	2/11/2006	1.630	1.681	1.666	1.679	-3,1	-2,2	-3,0	158	0,10	0,10	0,25	99,9	99,9	99,8
13	3/11/2006	1.619	1.718	1.673	1.677	-6,1	-3,3	-3,6	178	0,10	0,14	0,46	99,9	99,9	99,7
14	4/11/2006	1.690	1.743	1.730	1.662	-3,1	-2,4	1,7	256	0,11	0,21	3,20	100,0	99,9	98,8
15	5/11/2006	1.680	1.712	1.580	1.733	-1,9	6,0	-3,2	324	0,11	0,16	0,85	100,0	100,0	99,7
16	6/11/2006	1.710	1.831	1.769	1.744	-7,1	-3,5	-2,0	154	0,10	0,10	0,62	99,9	99,9	99,6
17	7/11/2006	1.820	1.890	1.795	1.757	-3,8	1,4	3,5	62	0,10	0,11	0,21	99,8	99,8	99,7
18	8/11/2006	1.898	2.020	1.894	1.974	-6,4	0,2	-4,0	145	0,10	0,33	0,61	99,9	99,8	99,6
19	9/11/2006	1.760	1.933	1.980	1.945	-9,8	-12,5	-10,5	320	0,10	0,10	1,45	100,0	100,0	99,5
20	10/11/2006	1.730	1.856	1.784	1.772	-7,3	-3,1	-2,4	354	0,10	0,10	0,85	100,0	100,0	99,8
21	11/11/2006	1.720	1.794	1.819	1.705	-4,3	-5,8	0,9	365	0,10	0,10	1,52	100,0	100,0	99,6
22	12/11/2006	1.768	1.758	1.854	1.852	0,6	-4,9	-4,8	148	0,10	0,10	1,45	99,9	99,9	99,0
23	13/11/2006	1.689	1.754	1.702	1.772	-3,8	-0,8	-4,9	451	0,10	0,10	0,90	100,0	100,0	99,8
24	14/11/2006	1.790	1.845	1.789	1.832	-3,1	0,1	-2,3	350	0,10	0,11	0,85	100,0	100,0	99,8
25	15/11/2006	1.768	1.839	1.756	1.805	-4,0	0,7	-2,1	380	0,10	0,16	3,13	100,0	100,0	99,2
26	16/11/2006	1.765	1.823	1.769	1.821	-3,3	-0,2	-3,2	124	0,10	0,11	1,64	99,9	99,9	98,7
27	17/11/2006	1.797	1.825	1.795	1.935	-1,6	0,1	-7,7	154	0,10	0,10	1,30	99,9	99,9	99,2
28	18/11/2006	1.843	1.853	1.881	1.915	-0,5	-2,1	-3,9	186	0,10	0,10	0,63	99,9	99,9	99,7
29	19/11/2006	1.786	1.820	1.887	1.934	-1,9	-5,7	-8,3	215	0,10	0,10	0,11	100,0	100,0	99,9
30	20/11/2006	1.820	1.846	1.896	1.959	-1,4	-4,2	-7,6	135	0,10	0,10	0,10	99,9	99,9	99,9
Carga 1	Média	1727	1795	1809	1834	-3,9	-4,4	-5,8	247	0,11	0,24	1,13	99,94	99,88	99,50
	Máximo	2010	2220	2610	2930	0,6	6,0	3,5	564	0,19	0,90	3,20	99,98	99,98	99,95
	Mínimo	1390	1389	1394	1402	-11,1	-29,9	-46,6	62	0,10	0,10	0,10	99,84	99,40	98,68
	Desvio Padrão	149	174	265	301	3,1	7,8	9,9	127	0,03	0,22	0,78	0,03	0,12	0,34

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 4,75 Kg DQO.m-3.d-1															
Série	Data	Condutividade				Eficiência de Remoção de Condutividade			Turbidez				Eficiência de Remoção de Turbidez		
		Entrada	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Entrada	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C
1	23/11/2006	1.756	1.788	1.877	1.951	-1,8	-6,9	-11,1	362	0,10	0,11	1,20	100,0	100,0	99,7
2	24/11/2006	1.765	1.789	1.949	1.941	-1,4	-10,4	-10,0	380	0,10	0,11	0,85	100,0	100,0	99,8
3	25/11/2006	2.210	1.979	1.837	1.914	10,5	16,9	13,4	420	0,10	0,14	1,35	100,0	100,0	99,7
4	26/11/2006	2.090	2.140	2.162	2.070	-2,4	-3,4	1,0	321	0,10	0,10	0,63	100,0	100,0	99,8
5	27/11/2006	2.030	2.230	2.280	2.280	-9,9	-12,3	-12,3	260	0,10	0,10	0,82	100,0	100,0	99,7
6	28/11/2006	2.360	2.170	2.210	2.270	8,1	6,4	3,8	328	0,10	0,11	0,65	100,0	100,0	99,8
7	29/11/2006	2.170	2.130	2.126	2.128	1,8	2,0	1,9	376	0,10	0,12	0,36	100,0	100,0	99,9
8	30/11/2006	1.933	2.250	2.100	2.330	-16,4	-8,6	-20,5	432	0,10	0,11	0,58	100,0	100,0	99,9
9	1/12/2006	2.070	2.150	2.100	2.140	-3,9	-1,4	-3,4	280	0,10	0,14	1,20	100,0	100,0	99,6
10	2/12/2006	1.996	2.150	2.020	2.150	-7,7	-1,2	-7,7	178	0,10	0,11	1,25	99,9	99,9	99,3
11	3/12/2006	2.330	2.040	2.100	2.090	12,4	9,9	10,3	384	0,10	0,01	0,83	100,0	100,0	99,8
12	4/12/2006	2.250	2.010	2.130	2.180	10,7	5,3	3,1	486	0,10	0,17	1,64	100,0	100,0	99,7
13	5/12/2006	1.831	1.948	2.020	2.120	-6,4	-10,3	-15,8	378	0,10	0,11	1,86	100,0	100,0	99,5
14	6/12/2006	2.250	1.785	1.856	1.894	20,7	17,5	15,8	286	0,10	0,11	1,86	100,0	100,0	99,3
15	7/12/2006	1.730	1.807	1.935	2.120	-4,5	-11,8	-22,5	146	0,10	1,11	1,39	99,9	99,2	99,0
16	8/12/2006	2.080	1.900	1.958	2.100	8,7	5,9	-1,0	124	0,10	0,12	1,35	99,9	99,9	98,9
17	9/12/2006	1.617	1.886	1.875	2.020	-16,6	-16,0	-24,9	178	0,10	0,11	0,92	99,9	99,9	99,5
18	10/12/2006	1.452	1.736	1.572	1.620	-19,6	-8,3	-11,6	246	0,10	0,11	0,95	100,0	100,0	99,6
19	11/12/2006	2.050	1.516	1.507	1.549	26,0	26,5	24,4	278	0,10	0,14	1,25	100,0	99,9	99,6
20	12/12/2006	2.070	1.428	1.581	1.610	31,0	23,6	22,2	320	0,10	0,13	0,45	100,0	100,0	99,9
21	13/12/2006	1.487	1.491	1.655	1.736	-0,3	-11,3	-16,7	356	0,10	0,67	1,01	100,0	99,8	99,7
22	14/12/2006	1.756	1.765	1.753	1.790	-0,5	0,2	-1,9	462	0,10	0,11	1,50	100,0	100,0	99,7
23	15/12/2006	1.666	1.812	1.841	1.859	-8,8	-10,5	-11,6	156	0,11	0,10	0,55	99,9	99,9	99,6
24	16/12/2006	1.893	1.838	1.852	1.916	2,9	2,2	-1,2	278	0,10	0,11	1,69	100,0	100,0	99,4
25	17/12/2006	1.939	1.847	1.825	1.976	4,7	5,9	-1,9	178	0,10	0,10	1,14	99,9	99,9	99,4
26	18/12/2006	2.250	1.872	1.756	1.912	16,8	22,0	15,0	320	0,10	0,10	1,27	100,0	100,0	99,6
27	19/12/2006	2.300	1.878	1.777	1.938	18,3	22,7	15,7	416	0,10	0,10	0,81	100,0	100,0	99,8
28	20/12/2006	1.725	1.712	1.759	2.160	0,8	-2,0	-25,2	186	0,10	0,16	0,70	99,9	99,9	99,6
29	21/12/2006	1.856	1.870	1.881	2.300	-0,8	-1,3	-23,9	232	0,10	0,11	0,26	100,0	100,0	99,9
30	22/12/2006	2.160	1.888	1.881	2.300	12,6	12,9	-6,5	138	0,10	0,11	0,11	99,9	99,9	99,9
Carga 2	Média	1969	1894	1906	2012	2,8	2,1	-3,4	296	0,10	0,16	1,01	99,96	99,93	99,62
	Máximo	2360	2250	2280	2330	31,0	26,5	24,4	486	0,11	1,11	1,86	99,98	100,00	99,92
	Mínimo	1452	1428	1507	1549	-19,6	-16,0	-25,2	124	0,10	0,01	0,11	99,92	99,24	98,91
	Desvio Padrão	251	208	194	210	12,3	12,2	14,2	103	0,00	0,21	0,46	0,02	0,13	0,24

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 9,43 Kg DQO.m-3.d-1															
Série	Data	Condutividade				Eficiência de Remoção de Condutividade			Turbidez				Eficiência de Remoção de Turbidez		
		Entrada	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Entrada	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C	Tratado 1- 35 °C	Tratado 2- 45 °C	Tratado 3- 55 °C
1	23/12/2006	3.180	2.250	2.124	2.260	29,2	33,2	28,9	342	0,10	0,65	0,21	100,0	99,8	99,9
2	24/12/2006	3.370	3.130	2.510	1.916	7,1	25,5	43,1	354	0,11	0,11	1,69	100,0	100,0	99,5
3	25/12/2006	2.330	2.490	2.230	3.000	-6,9	4,3	-28,8	478	0,10	0,22	1,24	100,0	100,0	99,7
4	26/12/2006	3.020	2.530	2.420	3.070	16,2	19,9	-1,7	536	0,11	0,10	5,20	100,0	100,0	99,0
5	27/12/2006	2.980	2.600	2.400	3.140	12,8	19,5	-5,4	654	0,10	0,11	0,25	100,0	100,0	100,0
6	28/12/2006	2.930	2.550	2.380	2.920	13,0	18,8	0,3	430	0,15	0,90	0,27	100,0	99,8	99,9
7	29/12/2006	2.980	2.630	2.320	3.030	11,7	22,1	-1,7	528	0,10	0,11	3,02	100,0	100,0	99,4
8	30/12/2006	2.650	2.470	2.410	3.040	6,8	9,1	-14,7	612	0,10	0,11	2,22	100,0	100,0	99,6
9	31/12/2006	2.810	2.720	3.010	3.410	3,2	-7,1	-21,4	645	0,60	0,47	2,68	99,9	99,9	99,6
10	1/1/2007	2.910	2.970	2.990	3.450	-2,1	-2,7	-18,6	532	1,75	0,50	2,15	99,7	99,9	99,6
11	2/1/2007	3.010	3.130	3.080	3.220	-4,0	-2,3	-7,0	654	0,64	1,98	1,85	99,9	99,7	99,7
12	3/1/2007	3.320	3.360	3.380	3.310	-1,2	-1,8	0,3	630	1,04	1,56	2,11	99,8	99,8	99,7
13	4/1/2007	3.350	3.480	3.590	3.470	-3,9	-7,2	-3,6	715	1,75	2,14	2,41	99,8	99,7	99,7
14	5/1/2007	3.420	3.410	3.400	3.470	0,3	0,6	-1,5	698	0,26	0,65	2,45	100,0	99,9	99,6
15	6/1/2007	3.350	3.320	3.390	3.320	0,9	-1,2	0,9	680	0,10	1,61	4,42	100,0	99,8	99,4
16	7/1/2007	2.280	2.580	2.940	3.160	-13,2	-28,9	-38,6	570	0,10	2,38	3,58	100,0	99,6	99,4
17	8/1/2007	3.080	2.507	1.660	1.739	18,6	46,1	43,5	220	1,87	2,46	3,52	99,2	98,9	98,4
18	9/1/2007	3.180	2.920	3.200	3.220	8,2	-0,6	-1,3	470	3,23	3,02	7,37	99,3	99,4	98,4
19	10/1/2007	3.010	2.810	3.190	3.180	6,6	-6,0	-5,6	320	3,23	3,18	6,85	99,0	99,0	97,9
20	11/1/2007	2.740	2.710	3.040	3.180	1,1	-10,9	-16,1	320	1,18	4,48	5,23	99,6	98,6	98,4
21	12/1/2007	2.890	2.850	2.940	3.320	1,4	-1,7	-14,9	320	0,80	4,56	5,31	99,8	98,6	98,3
22	13/1/2007	2.880	2.820	2.990	3.300	2,1	-3,8	-14,6	356	0,24	1,65	4,09	99,9	99,5	98,9
23	14/1/2007	2.920	2.840	2.960	3.330	2,7	-1,4	-14,0	350	0,68	4,06	7,35	99,8	98,8	97,9
24	15/1/2007	2.980	2.920	3.020	3.290	2,0	-1,3	-10,4	350	0,68	1,61	5,52	99,8	99,5	98,4
25	16/1/2007	2.710	2.660	2.940	3.110	1,8	-8,5	-14,8	452	0,88	2,22	8,76	99,8	99,5	98,1
26	17/1/2007	2.710	2.690	2.840	3.260	0,7	-4,8	-20,3	450	1,08	2,82	11,99	99,8	99,4	97,3
27	18/1/2007	2.930	2.910	3.210	3.630	0,7	-9,6	-23,9	428	0,15	3,00	8,18	100,0	99,3	98,1
28	19/1/2007	2.930	2.410	2.930	3.730	17,7	0,0	-27,3	430	0,93	5,86	9,28	99,8	98,6	97,8
29	20/1/2007	2.930	2.630	2.950	3.540	10,2	-0,7	-20,8	420	2,72	4,94	6,02	99,4	98,8	98,6
30	21/1/2007	2.930	2.750	2.910	3.030	6,1	0,7	-3,4	418	1,30	2,44	4,90	99,7	99,4	98,8
Carga 3	Média	2957	2802	2845	3135	5,0	3,3	-7,1	479	0,87	2,00	4,34	99,78	99,50	98,97
	Máximo	3420	3480	3590	3730	29,2	46,1	43,5	715	3,23	5,86	11,99	99,99	99,98	99,96
	Mínimo	2280	2250	1660	1739	-13,2	-28,9	-38,6	220	0,10	0,10	0,21	98,99	98,58	97,34
	Desvio Padrão	269	310	438	443	8,6	15,1	18,5	135	0,92	1,62	2,93	0,26	0,47	0,77

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 2,57 Kg DQO.m-3.d-1															
Série	Data	Dureza				Eficiência de Remoção de Dureza			Cor				Eficiência de Remoção de Cor		
		Entrada	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Entrada	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C
1	22/10/2006	252,1	246,8	198,2	175,4	2,1	21,4	30,4	45,2	48,8	43,2	47,0	-8,0	4,4	-4,0
2	23/10/2006	264,3	254,3	202,4	174,2	3,8	23,4	34,1	32,4	22,6	20,7	28,9	30,2	36,1	10,8
3	24/10/2006	276,5	245,8	175,5	164,3	11,1	36,5	40,6	36,2	15,1	11,4	33,3	58,3	68,5	8,0
4	25/10/2006	245,6	234,5	189,3	154,9	4,5	22,9	36,9	24,6	11,4	7,6	24,6	53,7	69,1	0,0
5	26/10/2006	276,3	256,2	198,0	178,5	7,3	28,3	35,4	15,2	3,9	3,9	17,6	74,3	74,3	-15,8
6	27/10/2006	298,3	232,1	201,4	165,8	22,2	32,5	44,4	34,6	22,6	37,6	26,4	34,7	-8,7	23,7
7	28/10/2006	287,4	224,0	189,4	178,8	22,1	34,1	37,8	48,7	45,1	71,1	62,5	7,4	-46,1	-28,3
8	29/10/2006	293,5	265,2	201,4	165,3	9,6	31,4	43,7	46,5	33,9	54,4	63,8	27,1	-17,0	-37,2
9	30/10/2006	278,6	243,7	176,4	154,2	12,5	36,7	44,7	38,6	30,1	41,3	48,8	22,0	-7,0	-26,4
10	31/10/2006	276,3	243,6	167,4	143,6	11,8	39,4	48,0	42,1	39,5	37,6	55,1	6,2	10,7	-30,9
11	1/11/2006	298,5	285,2	205,4	154,2	4,5	31,2	48,3	51,3	41,3	37,6	54,4	19,5	26,7	-6,0
12	2/11/2006	254,2	213,4	176,5	145,3	16,1	30,6	42,8	34,2	30,1	35,7	63,8	12,0	-4,4	-86,5
13	3/11/2006	243,6	217,8	156,7	123,5	10,6	35,7	49,3	42,4	35,7	41,3	60,1	15,8	2,6	-41,7
14	4/11/2006	234,2	223,1	153,0	143,2	4,7	34,7	38,9	32,9	26,4	33,9	54,4	19,8	-3,0	-65,3
15	5/11/2006	265,0	245,7	134,2	128,3	7,3	49,4	51,6	34,1	30,1	30,1	37,6	11,7	11,7	-10,3
16	6/11/2006	265,0	256,7	205,4	154,2	3,1	22,5	41,8	28,7	30,1	22,6	30,1	-4,9	21,3	-4,9
17	7/11/2006	254,0	243,5	154,3	132,5	4,1	39,3	47,8	15,8	7,6	17,0	18,9	51,9	-7,6	-19,6
18	8/11/2006	278,3	254,6	123,2	121,2	8,5	55,7	56,4	14,8	22,6	11,4	26,4	-52,7	23,0	-78,4
19	9/11/2006	245,7	216,7	167,4	123,4	11,8	31,9	49,8	10,2	7,6	13,3	32,0	25,5	-30,4	-213,7
20	10/11/2006	315,3	312,4	206,3	178,4	0,9	34,6	43,4	12,1	2,0	2,0	43,6	83,5	83,5	-260,3
21	11/11/2006	302,0	290,6	257,4	198,3	3,8	14,8	34,3	14,3	15,1	22,6	45,1	-5,6	-58,0	-215,4
22	12/11/2006	287,0	235,7	224,5	165,9	17,9	21,8	42,2	26,3	18,9	30,1	45,1	28,1	-14,4	-71,5
23	13/11/2006	314,3	308,3	265,3	178,8	1,9	15,6	43,1	24,8	18,9	28,2	48,8	23,8	-13,7	-96,8
24	14/11/2006	312,5	304,6	254,8	176,3	2,5	18,5	43,6	34,5	20,7	37,6	41,3	40,0	-9,0	-19,7
25	15/11/2006	301,4	298,3	243,4	152,8	1,0	19,2	49,3	32,8	15,1	26,4	52,6	54,0	19,5	-60,4
26	16/11/2006	278,4	245,8	203,3	165,0	11,7	27,0	40,7	26,4	15,1	30,1	53,2	42,8	-14,0	-101,5
27	17/11/2006	298,4	276,8	256,7	187,3	7,2	14,0	37,2	34,1	17,0	26,4	67,2	50,1	22,6	-97,1
28	18/11/2006	276,2	268,4	243,4	165,2	2,8	11,9	40,2	42,7	39,2	54,9	64,2	8,2	-28,6	-50,4
29	19/11/2006	314,3	302,2	267,8	154,2	3,8	14,8	50,9	34,9	18,9	37,6	72,8	45,8	-7,7	-108,6
30	20/11/2006	312,9	298,6	278,4	187,3	4,6	11,0	40,1	36,2	18,9	48,8	48,8	47,8	-34,8	-34,8
Carga 1	Média	280	258	203	159,7	7,9	28,0	42,9	31,6	23,5	30,5	45,6	27,4	5,7	-58,1
	Máximo	315	312	278	198,3	22,2	55,7	56,4	51,3	48,8	71,1	72,8	83,5	83,5	23,7
	Mínimo	234	213	123	121,2	0,9	11,0	30,4	10,2	2,0	2,0	17,6	-52,7	-58,0	-260,3
	Desvio Padrão	24	30	41	20,5	5,9	10,9	6,0	11,3	12,2	15,9	15,2	27,4	34,7	68,8

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 4,75 Kg DQO.m-3.d-1															
Série	Data	Dureza				Eficiência de Remoção de Dureza			Cor				Eficiência de Remoção de Cor		
		Entrada	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Entrada	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C
1	23/11/2006	428,2	382,9	370,7	285,1	10,6	13,4	33,4	91,7	5,8	15,1	75,0	93,7	83,5	18,2
2	24/11/2006	456,4	415,5	366,6	301,4	9,0	19,7	34,0	76,4	0,1	15,1	55,8	99,9	80,2	27,0
3	25/11/2006	553,4	533,6	420,0	334,0	3,6	24,1	39,6	98,3	5,8	30,1	68,9	94,1	69,4	29,9
4	26/11/2006	564,7	554,0	525,4	387,0	1,9	7,0	31,5	78,6	11,4	24,5	63,8	85,5	68,8	18,8
5	27/11/2006	576,8	554,0	537,7	415,5	4,0	6,8	28,0	165,3	22,6	30,1	60,1	86,3	81,8	63,6
6	28/11/2006	546,2	529,5	513,2	407,3	3,1	6,0	25,4	82,4	11,4	28,2	68,9	86,2	65,8	16,4
7	29/11/2006	542,3	529,5	468,4	309,6	2,4	13,6	42,9	125,7	11,4	39,5	78,5	90,9	68,6	37,5
8	30/11/2006	543,6	533,6	435,8	240,0	1,8	19,8	55,8	143,2	12,9	23,4	65,4	91,0	83,7	54,3
9	1/12/2006	567,8	541,7	382,9	220,0	4,6	32,6	61,3	87,6	13,3	32,0	45,1	84,8	63,5	48,5
10	2/12/2006	578,2	545,8	329,9	325,9	5,6	42,9	43,6	208,0	20,7	32,0	47,0	90,0	84,6	77,4
11	3/12/2006	525,1	505,1	358,6	317,7	3,8	31,7	39,5	140,6	24,5	35,7	37,6	82,6	74,6	73,3
12	4/12/2006	483,2	448,1	334,0	305,5	7,3	30,9	36,8	168,7	22,6	33,9	47,0	86,6	79,9	72,2
13	5/12/2006	436,4	444,0	370,7	342,1	-1,7	15,1	21,6	91,9	30,1	45,1	60,1	67,2	50,9	34,6
14	6/12/2006	442,7	427,7	427,7	374,7	3,4	3,4	15,4	142,5	26,4	41,3	52,6	81,5	71,0	63,1
15	7/12/2006	398,3	378,8	382,9	346,2	4,9	3,9	13,1	118,1	22,6	45,1	48,8	80,9	61,8	58,7
16	8/12/2006	385,2	362,5	329,9	297,3	5,9	14,4	22,8	163,1	22,6	38,2	48,8	86,1	76,6	70,1
17	9/12/2006	428,4	419,5	260,7	264,8	2,1	39,1	38,2	67,6	26,4	43,2	45,1	61,0	36,0	33,3
18	10/12/2006	345,0	220,0	199,6	179,2	36,2	42,1	48,1	39,5	15,1	26,4	18,9	61,7	33,2	52,2
19	11/12/2006	298,0	240,3	199,6	162,9	19,4	33,0	45,3	203,0	13,3	18,9	22,6	93,5	90,7	88,9
20	12/12/2006	302,0	264,8	199,6	183,3	12,3	33,9	39,3	230,5	20,7	26,4	37,6	91,0	88,6	83,7
21	13/12/2006	293,3	260,7	224,0	211,8	11,1	23,6	27,8	269,8	26,4	32,0	74,0	90,2	88,1	72,6
22	14/12/2006	390,4	382,9	268,8	248,5	1,9	31,1	36,3	253,0	30,1	39,5	52,6	88,1	84,4	79,2
23	15/12/2006	428,3	418,1	273,2	256,7	2,4	36,2	40,1	33,9	32,0	37,6	56,3	5,5	-11,1	-66,4
24	16/12/2006	456,2	430,6	318,8	289,8	5,6	30,1	36,5	41,3	37,6	45,1	67,6	9,1	-9,1	-63,4
25	17/12/2006	531,2	472,0	335,3	289,8	11,1	36,9	45,4	35,7	39,5	43,8	69,4	-10,5	-22,5	-94,4
26	18/12/2006	502,3	447,1	335,3	298,1	11,0	33,2	40,7	33,9	39,5	47,0	60,1	-16,6	-38,7	-77,5
27	19/12/2006	476,4	438,8	331,2	289,8	7,9	30,5	39,2	32,0	39,5	45,1	61,9	-23,4	-41,0	-93,7
28	20/12/2006	452,4	447,1	298,1	252,5	1,2	34,1	44,2	54,4	39,5	48,8	75,0	27,5	10,3	-37,8
29	21/12/2006	490,3	488,5	318,8	277,4	0,4	35,0	43,4	39,5	43,2	52,6	82,5	-9,5	-33,2	-109,1
30	22/12/2006	556,8	554,8	389,2	339,5	0,4	30,1	39,0	35,7	35,7	50,7	76,9	0,0	-41,9	-115,3
Carga 2	Média	466	439	350	291,8	6,4	25,1	36,9	111,7	23,4	35,5	57,5	61,8	46,6	17,2
	Máximo	578	555	538	415,5	36,2	42,9	61,3	269,8	43,2	52,6	82,5	99,9	90,7	88,9
	Mínimo	293	220	200	162,9	-1,7	3,4	13,1	32,0	0,1	15,1	18,9	-23,4	-41,9	-115,3
	Desvio Padrão	85	97	91	63,7	7,2	12,0	10,6	70,4	11,7	10,3	15,8	41,0	45,9	65,3

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 9,43 Kg DQO.m-3.d-1															
Série	Data	Dureza				Eficiência de Remoção de Dureza			Cor				Eficiência de Remoção de Cor		
		Entrada	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Entrada	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C	Tratado 1- 35°C	Tratado 2- 45°C	Tratado 3- 55°C
1	23/12/2006	524,3	459,5	409,9	335,3	12,4	21,8	36,0	127,5	56,3	73,2	86,3	55,8	42,6	32,3
2	24/12/2006	623,4	621,0	492,7	480,2	0,4	21,0	23,0	134,0	75,0	82,5	112,5	44,0	38,4	16,0
3	25/12/2006	634,5	616,9	592,0	538,2	2,8	6,7	15,2	120,0	67,6	82,5	116,2	43,7	31,2	3,1
4	26/12/2006	634,5	521,6	513,4	517,5	17,8	19,1	18,4	135,0	63,8	75,0	105,0	52,7	44,4	22,2
5	27/12/2006	605,3	575,5	550,6	525,8	4,9	9,0	13,1	127,5	60,1	75,0	103,1	52,9	41,1	19,1
6	28/12/2006	675,4	558,9	554,8	558,9	17,2	17,9	17,2	104,0	69,4	88,2	105,0	33,2	15,2	-1,0
7	29/12/2006	593,5	571,3	554,8	455,4	3,7	6,5	23,3	117,0	78,8	69,4	93,8	32,7	40,7	19,9
8	30/12/2006	732,4	728,6	612,7	343,6	0,5	16,3	53,1	278,0	63,8	101,3	97,5	77,0	63,6	64,9
9	31/12/2006	712,5	670,7	633,4	500,9	5,9	11,1	29,7	294,0	82,5	97,5	112,5	71,9	66,8	61,7
10	1/1/2007	754,2	728,6	641,7	650,0	3,4	14,9	13,8	307,0	86,3	97,5	123,7	71,9	68,2	59,7
11	2/1/2007	776,1	756,4	685,2	598,2	2,5	11,7	22,9	285,0	86,3	114,4	162,0	69,7	59,9	43,2
12	3/1/2007	712,4	678,4	654,8	632,2	4,8	8,1	11,3	300,0	82,5	139,0	184,0	72,5	53,7	38,7
13	4/1/2007	722,3	696,2	602,3	572,3	3,6	16,6	20,8	264,2	111,0	135,0	149,0	58,0	48,9	43,6
14	5/1/2007	623,4	532,6	486,7	403,8	14,6	21,9	35,2	238,0	78,8	129,4	145,0	66,9	45,6	39,1
15	6/1/2007	602,6	543,4	496,8	398,7	9,8	17,6	33,8	236,1	71,3	135,0	138,7	69,8	42,8	41,2
16	7/1/2007	576,4	543,8	476,0	402,4	5,7	17,4	30,2	153,7	90,0	120,0	135,0	41,4	21,9	12,2
17	8/1/2007	534,6	502,6	468,4	396,4	6,0	12,4	25,9	170,6	75,0	121,9	135,0	56,0	28,5	20,9
18	9/1/2007	553,6	543,6	407,3	303,6	1,8	26,4	45,2	174,3	82,5	118,1	140,6	52,6	32,2	19,3
19	10/1/2007	578,3	568,8	432,5	386,2	1,6	25,2	33,2	178,0	80,7	125,6	138,7	54,7	29,5	22,1
20	11/1/2007	657,8	643,8	503,7	465,0	2,1	23,4	29,3	247,3	88,2	123,7	180,4	64,4	50,0	27,1
21	12/1/2007	689,5	678,9	587,2	478,4	1,5	14,8	30,6	260,4	99,4	137,8	222,1	61,8	47,1	14,7
22	13/1/2007	715,3	702,7	645,9	548,3	1,8	9,7	23,3	264,2	110,6	151,8	196,8	58,1	42,5	25,5
23	14/1/2007	732,1	698,0	546,8	496,2	4,7	25,3	32,2	251,1	164,9	187,4	196,8	34,3	25,4	21,6
24	15/1/2007	745,3	725,3	654,2	543,7	2,7	12,2	27,0	258,6	153,7	178,0	247,3	40,6	31,1	4,3
25	16/1/2007	748,2	742,3	698,6	576,2	0,8	6,6	23,0	266,1	136,8	151,8	217,4	48,6	42,9	18,3
26	17/1/2007	726,3	708,2	654,3	565,3	2,5	9,9	22,2	264,2	150,0	178,0	213,6	43,2	32,6	19,1
27	18/1/2007	732,1	724,6	643,8	587,2	1,0	12,1	19,8	249,2	136,8	146,2	213,6	45,1	41,3	14,3
28	19/1/2007	745,3	743,2	686,4	635,2	0,3	7,9	14,8	213,6	174,3	193,0	288,5	18,4	9,6	-35,1
29	20/1/2007	732,1	668,4	532,4	498,7	8,7	27,3	31,9	264,2	191,2	196,8	292,3	27,6	25,5	-10,6
30	21/1/2007	738,4	725,6	533,4	468,7	1,7	27,8	36,5	253,0	185,5	193,0	249,2	26,7	23,7	1,5
Carga 3	Média	671	639	565	495,4	4,9	16,0	26,4	217,9	101,8	127,3	163,4	51,5	39,6	22,6
	Máximo	776	756	699	650,0	17,8	27,8	53,1	307,0	191,2	196,8	292,3	77,0	68,2	64,9
	Mínimo	524	460	407	303,6	0,3	6,5	11,3	104,0	56,3	69,4	86,3	18,4	9,6	-35,1
	Desvio Padrão	74	87	85	92,5	4,9	6,7	9,6	64,5	40,1	39,1	58,6	15,5	14,4	21,2

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 2,57 Kg DQO.m-3.d-1													
Série	Data	Sólidos Suspensos Totais				Sólidos Suspensos Voláteis				Sólidos Suspensos Fixos			
		Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C	Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C	Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C
1	22/10/2006	0,1440	4,4240	4,6240	4,7240	0,0440	2,4120	2,5440	2,7480	0,1000	2,0120	2,0800	1,9760
2	23/10/2006	0,2520	4,5600	4,7200	4,7480	0,1320	2,4160	2,6240	2,9560	0,1200	2,1440	2,0960	1,7920
3	24/10/2006	0,2360	4,8440	4,6960	4,9560	0,0520	2,4000	2,7560	2,9360	0,1840	2,4440	1,9400	2,0200
4	25/10/2006	0,2480	4,8240	4,7560	4,9640	0,0480	2,3320	2,5840	2,9560	0,2000	2,4920	2,1720	2,0080
5	26/10/2006	0,4560	4,4240	4,8120	5,0920	0,2440	2,2640	3,0120	2,9480	0,2120	2,1600	1,8000	2,1440
6	27/10/2006	0,1200	4,5600	4,8400	5,1240	0,1080	2,4160	2,6560	2,9880	0,0120	2,1440	2,1840	2,1360
7	28/10/2006	0,1560	4,8440	5,2120	5,2120	0,0560	2,4000	2,7520	3,2440	0,1000	2,4440	2,4600	1,9680
8	29/10/2006	0,6320	5,6240	5,3120	5,4240	0,4120	2,9320	2,9840	3,2560	0,2200	2,6920	2,3280	2,1680
9	30/10/2006	0,2560	5,5400	5,6840	5,7120	0,1040	2,9280	3,2560	3,4600	0,1520	2,6120	2,4280	2,2520
10	31/10/2006	0,4760	5,6240	5,7240	5,7440	0,2320	2,8480	3,2040	3,2560	0,2440	2,7760	2,5200	2,4880
11	1/11/2006	0,0440	5,9200	5,9440	5,8920	0,0280	3,0280	3,4560	3,4200	0,0160	2,8920	2,4880	2,4720
12	2/11/2006	0,0880	6,1240	6,0120	6,0200	0,0480	3,4560	3,2160	3,5400	0,0400	2,6680	2,7960	2,4800
13	3/11/2006	0,4480	6,1520	6,2520	6,5600	0,1000	3,5400	3,2640	3,8280	0,3480	2,6120	2,9880	2,7320
14	4/11/2006	0,2480	6,1880	6,4840	6,7440	0,1480	3,6240	3,5880	3,9680	0,1000	2,5640	2,8960	2,7760
15	5/11/2006	0,0120	6,4560	6,8520	6,8560	0,0120	3,5480	3,9840	3,9960	0,0000	2,9080	2,8680	2,8600
16	6/11/2006	0,1600	6,7680	7,0120	6,8680	0,1200	3,8760	3,5680	3,6640	0,0400	2,8920	3,4440	3,2040
17	7/11/2006	0,1200	6,8440	6,8840	6,4720	0,0800	3,5880	3,9040	3,1600	0,0400	3,2560	2,9800	3,3120
18	8/11/2006	0,0840	6,9840	7,0120	6,8360	0,0200	3,4880	3,5720	3,7240	0,0640	3,4960	3,4400	3,1120
19	9/11/2006	0,0760	7,1400	7,8280	7,0320	0,0480	3,2120	4,0760	4,0840	0,0280	3,9280	3,7520	2,9480
20	10/11/2006	0,1520	7,2200	8,5160	6,9480	0,1040	3,4920	4,6160	3,9840	0,0480	3,7280	3,9000	2,9640
21	11/11/2006	0,0840	8,8400	9,3200	7,2560	0,0600	4,7080	5,5240	4,1440	0,0240	4,1320	3,7960	3,1120
22	12/11/2006	0,1240	8,5240	8,5600	7,8920	0,0400	4,6360	4,6200	4,9840	0,0840	3,8880	3,9400	2,9080
23	13/11/2006	0,2440	8,1200	9,0080	8,6880	0,1640	4,2040	4,2440	5,0480	0,0800	3,9160	4,7640	3,6400
24	14/11/2006	0,0880	9,2400	8,8720	8,2360	0,0480	4,9400	5,0160	4,8652	0,0400	4,3000	3,8560	3,3708
25	15/11/2006	0,0440	8,9120	9,5160	8,9720	0,0280	4,3760	4,7120	3,1040	0,0160	4,5360	4,8040	5,8680
26	16/11/2006	0,1880	8,3000	9,0320	8,2560	0,0680	4,2480	4,7880	3,5160	0,1200	4,0520	4,2440	4,7400
27	17/11/2006	0,1240	8,0360	9,2040	8,5680	0,1000	4,3080	4,9520	2,8000	0,0240	3,7280	4,2520	5,7680
28	18/11/2006	0,2640	8,2480	8,8840	9,1000	0,1680	5,2000	4,8680	3,6320	0,0960	3,0480	4,0160	5,4680
29	19/11/2006	0,0480	7,9160	9,7160	8,7680	0,0120	4,5560	4,9040	4,4080	0,0360	3,3600	4,8120	4,3600
30	20/11/2006	0,2000	7,6720	8,1840	8,7600	0,0640	4,8960	4,5080	3,5200	0,1360	2,7760	3,6760	5,2400
Carga 1	Média	0,194	6,6291	6,9824	6,7475	0,0964	3,5424	3,7917	3,6046	0,0975	3,0867	3,1907	3,1429
	Máximo	0,632	9,2400	9,7160	9,1000	0,4120	5,2000	5,5240	5,0480	0,3480	4,5360	4,8120	5,8680
	Mínimo	0,012	4,4240	4,6240	4,7240	0,0120	2,2640	2,5440	2,7480	0,0000	2,0120	1,8000	1,7920
	Desvio Padrão	0,146	1,5086	1,7516	1,4303	0,0843	0,9020	0,8881	0,6329	0,0836	0,7205	0,9171	1,1917

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 4,75 Kg DQO.m-3.d-1													
Série	Data	Sólidos Suspensos Totais				Sólidos Suspensos Voláteis				Sólidos Suspensos Fixos			
		Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C	Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C	Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C
1	23/11/2006	0,8040	6,1400	7,5240	6,3120	0,4360	3,5520	3,5160	2,7240	0,3680	2,5880	4,0080	3,5880
2	24/11/2006	0,0480	6,6960	7,5240	5,7160	0,0320	3,9960	3,9640	2,5440	0,0160	2,7000	3,5600	3,1720
3	25/11/2006	0,0400	5,8760	7,8000	5,8800	0,0080	3,8240	4,1080	2,6240	0,0320	2,0520	3,6920	3,2560
4	26/11/2006	1,2600	7,2240	7,2560	6,0460	1,2360	3,2400	3,6560	2,7920	0,0240	3,9840	3,6000	3,2540
5	27/11/2006	0,2160	8,8600	9,4960	6,3504	0,0160	5,1600	4,5240	3,0104	0,2000	3,7000	4,9720	3,3400
6	28/11/2006	0,1920	9,6920	10,2240	6,9720	0,0920	6,8960	5,2640	2,9960	0,1000	2,7960	4,9600	3,9760
7	29/11/2006	0,7360	10,5320	11,1080	7,5240	0,7360	6,9640	6,2800	4,3520	0,0000	3,5680	4,8280	3,1720
8	30/11/2006	0,7640	11,0760	11,1560	8,4360	0,7440	7,2080	6,6000	4,6680	0,0200	3,8680	4,5560	3,7680
9	1/12/2006	0,9200	9,8560	11,8440	9,2920	0,8800	6,5280	7,0480	5,1480	0,0400	3,3280	4,7960	4,1440
10	2/12/2006	1,1040	10,8560	11,4320	8,3200	1,0240	7,5560	6,7680	5,2480	0,0800	3,3000	4,6640	3,0720
11	3/12/2006	0,6840	10,5360	10,8760	8,4520	0,0040	5,8680	5,1240	3,4360	0,6800	4,6680	5,7520	5,0160
12	4/12/2006	0,6080	9,6160	11,4200	8,1360	0,0760	5,5920	5,6160	3,6440	0,5320	4,0240	5,8040	4,4920
13	5/12/2006	0,4600	10,4880	11,4120	9,0560	0,2040	6,5080	5,9040	3,7360	0,2560	3,9800	5,5080	5,3200
14	6/12/2006	0,5040	10,0680	11,5080	8,3840	0,0720	5,7040	6,4200	4,1320	0,4320	4,3640	5,0880	4,2520
15	7/12/2006	0,4240	10,2240	11,5000	9,3160	0,2240	6,1840	6,5160	4,3080	0,2000	4,0400	4,9840	5,0080
16	8/12/2006	0,5440	10,1360	11,4800	8,6040	0,1800	6,0520	6,2040	4,4600	0,3640	4,0840	5,2760	4,1440
17	9/12/2006	0,3280	10,0960	11,1200	9,4520	0,1440	5,1120	4,5720	5,9720	0,1840	4,9840	6,5480	3,4800
18	10/12/2006	0,4240	9,6960	11,0440	9,8440	0,2280	4,0560	4,1520	6,0240	0,1960	5,6400	6,8920	3,8200
19	11/12/2006	0,4720	9,6680	10,7680	10,1800	0,0400	5,9120	6,1040	4,3360	0,4320	3,7560	4,6640	5,8440
20	12/12/2006	0,0640	8,8720	11,3320	8,6800	0,0280	5,7080	6,1600	4,4680	0,0360	3,1640	5,1720	4,2120
21	13/12/2006	0,4840	8,2520	10,2880	8,5840	0,2720	5,2240	5,7880	4,1080	0,2120	3,0280	4,5000	4,4760
22	14/12/2006	0,3880	9,4600	10,5600	8,3960	0,2240	6,3000	5,7120	4,3280	0,1640	3,1600	4,8480	4,0680
23	15/12/2006	0,4560	9,5200	10,7800	8,6842	0,2560	4,4160	4,9360	4,8540	0,2000	5,1040	5,8440	3,8302
24	16/12/2006	0,5840	9,9440	11,2440	9,2440	0,3000	4,6000	5,5600	4,8600	0,2840	5,3440	5,6840	4,3840
25	17/12/2006	0,4680	10,5240	11,8640	10,4680	0,2160	6,1240	6,2520	6,2480	0,2520	4,4000	5,6120	4,2200
26	18/12/2006	0,5120	11,0080	12,4640	11,6440	0,2640	5,8240	6,8440	5,3920	0,2480	5,1840	5,6200	6,2520
27	19/12/2006	0,0800	11,0240	12,6840	12,4840	0,0120	7,6560	6,8400	6,8160	0,0680	3,3680	5,8440	5,6680
28	20/12/2006	0,8560	11,0560	12,9160	12,6080	0,4580	7,3000	7,6920	6,4640	0,3980	3,7560	5,2240	6,1440
29	21/12/2006	0,4640	11,3560	13,2360	12,8240	0,2520	8,4800	8,3800	7,6240	0,2120	2,8760	4,8560	5,2000
30	22/12/2006	0,0280	10,8120	12,8160	11,9280	0,0080	8,2360	8,7920	7,3520	0,0200	2,5760	4,0240	4,5760
Carga 2	Média	0,497	9,6388	10,8892	8,9272	0,2889	5,8593	5,8432	4,6223	0,2083	3,7795	5,0460	4,3049
	Máximo	1,260	11,3560	13,2360	12,8240	1,2360	8,4800	8,7920	7,6240	0,6800	5,6400	6,8920	6,2520
	Mínimo	0,028	5,8760	7,2560	5,7160	0,0040	3,2400	3,5160	2,5440	0,0000	2,0520	3,5600	3,0720
	Desvio Padrão	0,308	1,4618	1,5717	1,9721	0,3228	1,3694	1,3085	1,4022	0,1712	0,9040	0,8024	0,9055

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 9,43 Kg DQO.m-3.d-1													
Série	Data	Sólidos Suspensos Totais				Sólidos Suspensos Voláteis				Sólidos Suspensos Fixos			
		Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C	Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C	Entrada	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C
1	23/12/2006	0,1960	10,7560	14,0440	13,2320	0,1560	8,7040	8,2600	8,1720	0,0400	2,0520	5,7840	5,0600
2	24/12/2006	1,0800	13,3480	14,6120	15,3080	0,9200	10,5360	9,1880	8,6320	0,1600	2,8120	5,4240	6,6760
3	25/12/2006	0,7200	13,2920	15,0760	16,6760	0,1600	9,7760	9,8560	9,1920	0,5600	3,5160	5,2200	7,4840
4	26/12/2006	0,9480	13,9440	14,1880	16,9840	0,1480	9,2680	8,4160	9,1080	0,8000	4,6760	5,7720	7,8760
5	27/12/2006	1,0480	14,6120	15,5320	17,6280	0,8240	11,3040	9,8760	9,3160	0,2240	3,3080	5,6560	8,3120
6	28/12/2006	0,5280	14,9520	16,3360	18,3600	0,3880	11,2120	10,5120	10,6440	0,1400	3,7400	5,8240	7,7160
7	29/12/2006	0,6000	14,9240	15,8480	16,6000	0,3640	11,2400	10,1040	9,3320	0,2360	3,6840	5,7440	7,2680
8	30/12/2006	0,9720	15,3320	16,4320	15,8680	0,8560	11,4440	10,4800	8,8640	0,1160	3,8880	5,9520	7,0040
9	31/12/2006	0,9720	16,1520	16,6640	16,9160	0,8560	12,0240	10,7960	9,7800	0,1160	4,1280	5,8680	7,1360
10	1/1/2007	0,9720	17,3960	18,3320	17,9560	0,8560	13,0760	11,9240	10,5560	0,1160	4,3200	6,4080	7,4000
11	2/1/2007	0,9720	17,9440	18,9120	16,9640	0,8560	13,5720	12,0120	9,9560	0,1160	4,3720	6,9000	7,0080
12	3/1/2007	0,9720	18,5720	19,3600	18,4080	0,8560	14,1640	12,4840	11,0800	0,1160	4,4080	6,8760	7,3280
13	4/1/2007	0,9720	17,6000	17,7720	16,2480	0,8560	13,3600	11,7360	10,1560	0,1160	4,2400	6,0360	6,0920
14	5/1/2007	0,3840	17,3440	17,7560	16,5760	0,2000	12,5600	10,9840	9,4560	0,1840	4,7840	6,7720	7,1200
15	6/1/2007	0,4960	17,4320	16,9320	16,3520	0,0720	11,8640	9,3880	8,9200	0,4240	5,5680	7,5440	7,4320
16	7/1/2007	0,4520	19,2840	16,3120	15,9120	0,2280	12,6320	10,5240	8,8720	0,2240	6,6520	5,7880	7,0400
17	8/1/2007	0,1040	19,4280	15,7246	16,5720	0,0920	10,6880	9,2716	10,4200	0,0120	8,7400	6,4530	6,1520
18	9/1/2007	0,1040	19,0920	16,5800	15,2560	0,0920	11,7200	11,3680	9,6360	0,0120	7,3720	5,2120	5,6200
19	10/1/2007	0,0760	17,6240	14,6200	14,1600	0,0480	11,7960	9,1760	7,9720	0,0280	5,8280	5,4440	6,1880
20	11/1/2007	0,0760	17,6600	13,9500	13,8960	0,0480	10,2560	7,7300	6,9156	0,0280	7,4040	6,2200	6,9804
21	12/1/2007	0,3240	16,9880	15,5920	13,2600	0,1920	9,7760	8,9200	6,9720	0,1320	7,2120	6,6720	6,2880
22	13/1/2007	0,4560	17,5120	14,6000	13,1440	0,2560	10,4080	8,0570	6,3360	0,2000	7,1040	6,5430	6,8080
23	14/1/2007	0,7640	16,9760	13,6100	13,0960	0,4120	9,4120	8,1540	6,3760	0,3520	7,5640	5,4560	6,7200
24	15/1/2007	0,3240	16,7640	12,9840	12,7960	0,2000	9,1120	7,3080	6,0160	0,1240	7,6520	5,6760	6,7800
25	16/1/2007	0,2400	15,7840	13,2440	12,8560	0,1440	8,4640	6,7880	6,5320	0,0960	7,3200	6,4560	6,3240
26	17/1/2007	0,1320	15,4320	12,7680	12,8800	0,0800	7,8960	6,6440	6,0880	0,0520	7,5360	6,1240	6,7920
27	18/1/2007	0,4320	14,3440	12,0680	11,2680	0,2560	7,4320	7,7840	5,9680	0,1760	6,9120	4,2840	5,3000
28	19/1/2007	0,3240	14,4800	12,6280	12,3240	0,1520	7,9320	6,8400	6,0240	0,1720	6,5480	5,7880	6,3000
29	20/1/2007	0,2760	14,5640	13,0240	12,4320	0,1080	7,6360	6,2390	6,0120	0,1680	6,9280	6,7850	6,4200
30	21/1/2007	0,4320	14,2320	13,5430	12,5360	0,1520	6,5360	6,5560	5,9880	0,2800	7,6960	6,9870	6,5480
Carga 3	Média	0,545	16,1255	15,3015	15,0821	0,3609	10,5267	9,2459	8,3097	0,1840	5,5988	6,0556	6,7724
	Máximo	1,080	19,4280	19,3600	18,4080	0,9200	14,1640	12,4840	11,0800	0,8000	8,7400	7,5440	8,3120
	Mínimo	0,076	10,7560	12,0680	11,2680	0,0480	6,5360	6,2390	5,9680	0,0120	2,0520	4,2840	5,0600
	Desvio Padrão	0,341	2,0505	1,9639	2,1019	0,3189	2,0021	1,8116	1,7099	0,1674	1,8189	0,6717	0,7266

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 2,57 Kg DQO.m-3.d-1							
Série	Data	Taxa A/M			TUS		
		A/M 1- 35°C	A/M 2- 45°C	A/M 3- 55°C	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C
1	22/10/2006	0,500	0,479	0,469	0,474	0,452	0,434
2	23/10/2006	0,480	0,464	0,461	0,459	0,448	0,433
3	24/10/2006	0,499	0,515	0,488	0,483	0,493	0,465
4	25/10/2006	0,453	0,460	0,440	0,441	0,445	0,422
5	26/10/2006	0,513	0,471	0,445	0,502	0,459	0,417
6	27/10/2006	0,472	0,444	0,420	0,446	0,416	0,387
7	28/10/2006	0,455	0,423	0,423	0,425	0,392	0,386
8	29/10/2006	0,389	0,412	0,403	0,355	0,375	0,367
9	30/10/2006	0,428	0,417	0,415	0,394	0,381	0,379
10	31/10/2006	0,428	0,421	0,419	0,400	0,388	0,384
11	1/11/2006	0,369	0,368	0,371	0,339	0,334	0,335
12	2/11/2006	0,360	0,366	0,366	0,334	0,336	0,333
13	3/11/2006	0,367	0,361	0,344	0,347	0,333	0,313
14	4/11/2006	0,393	0,375	0,360	0,376	0,351	0,330
15	5/11/2006	0,387	0,365	0,365	0,376	0,350	0,342
16	6/11/2006	0,334	0,322	0,329	0,324	0,309	0,306
17	7/11/2006	0,388	0,386	0,411	0,376	0,369	0,385
18	8/11/2006	0,359	0,357	0,367	0,342	0,334	0,337
19	9/11/2006	0,381	0,348	0,387	0,369	0,333	0,359
20	10/11/2006	0,385	0,326	0,400	0,375	0,310	0,371
21	11/11/2006	0,243	0,230	0,296	0,234	0,218	0,268
22	12/11/2006	0,231	0,230	0,249	0,222	0,218	0,225
23	13/11/2006	0,256	0,231	0,240	0,248	0,220	0,217
24	14/11/2006	0,215	0,223	0,241	0,207	0,210	0,216
25	15/11/2006	0,233	0,219	0,232	0,224	0,205	0,208
26	16/11/2006	0,282	0,259	0,283	0,272	0,247	0,258
27	17/11/2006	0,303	0,264	0,284	0,294	0,251	0,260
28	18/11/2006	0,291	0,271	0,264	0,276	0,253	0,240
29	19/11/2006	0,278	0,227	0,251	0,267	0,212	0,226
30	20/11/2006	0,343	0,322	0,301	0,329	0,302	0,276
Carga 1	Média	0,367	0,352	0,357	0,350	0,331	0,329
	Máximo	0,513	0,515	0,488	0,502	0,493	0,465
	Mínimo	0,215	0,219	0,232	0,207	0,205	0,208
	Desvio Padrão	0,087	0,089	0,077	0,083	0,085	0,075

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 4,75 Kg DQO.m-3.d-1							
Série	Data	Taxa A/M			TUS		
		A/M 1- 35°C	A/M 2- 45°C	A/M 3- 55°C	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C
1	23/11/2006	0,700	0,571	0,681	0,679	0,547	0,645
2	24/11/2006	0,632	0,563	0,741	0,622	0,535	0,702
3	25/11/2006	0,682	0,514	0,682	0,669	0,492	0,647
4	26/11/2006	0,602	0,600	0,720	0,594	0,569	0,683
5	27/11/2006	0,523	0,488	0,730	0,516	0,465	0,694
6	28/11/2006	0,458	0,434	0,636	0,449	0,413	0,605
7	29/11/2006	0,406	0,385	0,568	0,398	0,366	0,540
8	30/11/2006	0,366	0,364	0,481	0,358	0,347	0,456
9	1/12/2006	0,385	0,321	0,409	0,375	0,304	0,386
10	2/12/2006	0,366	0,347	0,477	0,356	0,329	0,452
11	3/12/2006	0,398	0,385	0,496	0,388	0,367	0,471
12	4/12/2006	0,461	0,388	0,545	0,450	0,372	0,519
13	5/12/2006	0,392	0,361	0,454	0,382	0,345	0,431
14	6/12/2006	0,407	0,356	0,489	0,397	0,341	0,464
15	7/12/2006	0,424	0,377	0,465	0,412	0,361	0,442
16	8/12/2006	0,423	0,374	0,499	0,411	0,357	0,473
17	9/12/2006	0,424	0,385	0,452	0,412	0,372	0,431
18	10/12/2006	0,458	0,402	0,451	0,449	0,389	0,432
19	11/12/2006	0,450	0,404	0,427	0,442	0,393	0,407
20	12/12/2006	0,489	0,383	0,500	0,481	0,372	0,482
21	13/12/2006	0,520	0,417	0,500	0,511	0,403	0,478
22	14/12/2006	0,453	0,406	0,510	0,441	0,392	0,486
23	15/12/2006	0,456	0,403	0,500	0,440	0,387	0,477
24	16/12/2006	0,438	0,387	0,471	0,424	0,368	0,449
25	17/12/2006	0,433	0,384	0,435	0,420	0,367	0,415
26	18/12/2006	0,367	0,324	0,347	0,355	0,308	0,329
27	19/12/2006	0,382	0,332	0,337	0,371	0,316	0,321
28	20/12/2006	0,388	0,332	0,340	0,374	0,319	0,325
29	21/12/2006	0,382	0,327	0,338	0,365	0,313	0,323
30	22/12/2006	0,430	0,362	0,389	0,405	0,335	0,356
Carga 2	Média	0,456	0,402	0,502	0,445	0,385	0,477
	Máximo	0,700	0,600	0,741	0,679	0,569	0,702
	Mínimo	0,366	0,321	0,337	0,355	0,304	0,321
	Desvio Padrão	0,090	0,073	0,116	0,090	0,070	0,110

DADOS DA FASE II DO EXPERIMENTO - DQO - CARGA 9,43 Kg DQO.m-3.d-1							
Série	Data	Taxa A/M			TUS		
		A/M 1- 35°C	A/M 2- 45°C	A/M 3- 55°C	Reator 1- 35°C	Reator 2- 45°C	Reator 3- 55°C
1	23/12/2006	0,787	0,603	0,640	0,764	0,576	0,607
2	24/12/2006	0,619	0,565	0,540	0,592	0,538	0,501
3	25/12/2006	0,654	0,577	0,521	0,624	0,549	0,479
4	26/12/2006	0,617	0,606	0,506	0,594	0,577	0,457
5	27/12/2006	0,565	0,532	0,469	0,542	0,503	0,433
6	28/12/2006	0,589	0,539	0,480	0,567	0,520	0,454
7	29/12/2006	0,573	0,540	0,515	0,550	0,516	0,484
8	30/12/2006	0,529	0,493	0,511	0,510	0,468	0,463
9	31/12/2006	0,502	0,486	0,479	0,478	0,447	0,424
10	1/1/2007	0,466	0,442	0,451	0,444	0,399	0,400
11	2/1/2007	0,452	0,429	0,478	0,427	0,398	0,424
12	3/1/2007	0,436	0,419	0,440	0,414	0,378	0,385
13	4/1/2007	0,494	0,490	0,535	0,466	0,443	0,476
14	5/1/2007	0,502	0,490	0,525	0,496	0,467	0,466
15	6/1/2007	0,506	0,521	0,539	0,489	0,477	0,478
16	7/1/2007	0,427	0,505	0,518	0,410	0,483	0,447
17	8/1/2007	0,424	0,524	0,497	0,401	0,484	0,450
18	9/1/2007	0,432	0,497	0,540	0,414	0,468	0,494
19	10/1/2007	0,468	0,564	0,582	0,457	0,510	0,530
20	11/1/2007	0,493	0,624	0,626	0,473	0,583	0,555
21	12/1/2007	0,512	0,558	0,656	0,489	0,521	0,585
22	13/1/2007	0,497	0,596	0,662	0,471	0,555	0,594
23	14/1/2007	0,512	0,639	0,664	0,484	0,591	0,582
24	15/1/2007	0,519	0,670	0,680	0,491	0,622	0,600
25	16/1/2007	0,557	0,664	0,684	0,526	0,616	0,601
26	17/1/2007	0,570	0,689	0,683	0,538	0,638	0,598
27	18/1/2007	0,592	0,704	0,754	0,563	0,656	0,661
28	19/1/2007	0,587	0,673	0,689	0,558	0,619	0,590
29	20/1/2007	0,583	0,652	0,683	0,556	0,593	0,604
30	21/1/2007	0,606	0,637	0,688	0,579	0,593	0,616
Carga 3	Média	0,536	0,564	0,575	0,512	0,526	0,515
	Máximo	0,787	0,704	0,754	0,764	0,656	0,661
	Mínimo	0,424	0,419	0,440	0,401	0,378	0,385
	Desvio Padrão	0,079	0,080	0,091	0,077	0,075	0,077

ANEXO 3 – TESTES ESTATÍSTICOS – ANÁLISE DE VARIÂNCIA FASE I

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => ENTRADA_LAC

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	1330848.177778	665424.088889	45.6336	.0
RESÍDUO	42	612439.2333	14581.886507		
TOTAL	44	1943287.4111			
MÉDIA geral			558.155555555556		
CV(%)			21.6347362495722		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => ENTRADA_MBR

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	51762.177778	25881.088889	1.9217	.159008
RESÍDUO	42	565650.133333	13467.860317		
TOTAL	44	617412.311111			
MÉDIA geral			405.2444		
CV(%)			28.6373106406736		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => SAÍDA_LAC

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	50763.544444	25381.772222	18.5254	.0
RESÍDUO	42	57544.6	1370.109524		
TOTAL	44	108308.1444			
MÉDIA geral			133.411111111111		
CV(%)			27.7450582788894		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => SAÍDA_MBR

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	336.460444	168.230222	.6311	100.0
RESÍDUO	42	11196.656	266.587048		
TOTAL	44	11533.1164			
MÉDIA geral			74.191111111111		
CV(%)			22.0073447701876		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => EFICIÊNCIA_LAC

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	565.80464	282.90232	7.4901	.001649
RESÍDUO	42	1586.337859	37.769949		
TOTAL	44	2152.142499			
MÉDIA geral			74.918716896		
CV(%)			8.203191849129957101501291574		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => EFICIÊNCIA_MBR

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	88.82688	44.41344	1.6416	.205849
RESÍDUO	42	1136.303639	27.054849		
TOTAL	44	1225.13052			
MÉDIA geral			80.672471387777777777777777777778		
CV(%)			6.4475867171651175874877229317		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => A/M_LAC

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	.130094	.065047	43.6576	.0
RESÍDUO	42	.062577	.00149		
TOTAL	44	.192672			
MÉDIA geral			0.139245171288888888888888888889		
CV(%)			27.720686566026132846672015806		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => A/M_BMR

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	.008928	.004464	2.9504	.063243
RESÍDUO	42	.063546	.001513		
TOTAL	44	.072474			
MÉDIA geral			0.085342231466666666666666666667		
CV(%)			45.577923147238352970743975654		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => U_LAC

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	.083123	.041562	41.1305	.0
RESÍDUO	42	.04244	.00101		
TOTAL	44	.125564			
MÉDIA geral			0.106206377777777777777777777778		
CV(%)			29.930530890765986641940523758		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => U_BRM

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	.006948	.003474	2.6317	.083794
RESÍDUO	42	.055446	.00132		
TOTAL	44	.062395			
MÉDIA geral			0.06991414311111111111111111111111		
CV(%)			51.969279221157379302977718292		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_ENTRADA_FASE1_35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	72619.2	72619.2	5.4656	.026765
RESÍDUO	28	372024.8	13286.6		
TOTAL	29	444644.0			
MÉDIA geral			395		
CV(%)			29.1816493514121		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_ENTRADA F1_45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	172520.833333	172520.833333	11.7455	.001902
RESÍDUO	28	411269.3334	14688.190479		
TOTAL	29	583790.1667			
MÉDIA geral			485.833333333333		
CV(%)			24.9457657150607		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_ENTRADA F1_55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	1233024.133333	1233024.133333	87.4496	.0
RESÍDUO	28	394795.2334	14099.829764		
TOTAL	29	1627819.3667			
MÉDIA geral			564.266666666667		
CV(%)			21.0437211802717		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_SAIDA F1_35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	3696.3	3696.3	7.968	.008663
RESÍDUO	28	12989.066667	463.895238		
TOTAL	29	16685.366667			
MÉDIA geral			88.56667		
CV(%)			24.3186612126227		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_SAIDA F1_45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	19172.352	19172.352	28.7759	.00001
RESÍDUO	28	18655.4227	666.265096		
TOTAL	29	37827.7747			
MÉDIA geral			96.0533333333333		
CV(%)			26.8726868015399		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_SAIDA F1_55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	82530.075	82530.075	62.2923	.0
RESÍDUO	28	37096.7667	1324.884525		
TOTAL	29	119626.8417			
MÉDIA geral			126.783333333333		
CV(%)			28.7095805763611		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_EFICIENCIA F1_35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	978.892169	978.892169	19.8024	.000122
RESÍDUO	28	1384.124081	49.433003		
TOTAL	29	2363.01625			
MÉDIA geral			75.6880411126666666666666666667		
CV(%)			9.289262409096977005588953267		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_EFICIENCIA F1_45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	107.590152	107.590152	3.4832	.072498
RESÍDUO	28	864.866309	30.888082		
TOTAL	29	972.456461			
MÉDIA geral			80.015929113		
CV(%)			6.9457479834265059632414544128		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO_EFICIENCIA F1_55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	31.495634	31.495634	1.8619	.183274
RESÍDUO	28	473.651108	16.916111		
TOTAL	29	505.146742			
MÉDIA geral			77.6828122		
CV(%)			5.2945045291452000240537121029		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => A/M FASE 1_35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	.000006	.000006	.0105	100.0
RESÍDUO	28	.017167	.000613		
TOTAL	29	.017173			
MÉDIA geral			0.072681239466666666666666666667		
CV(%)			34.067498432516733304801318214		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => A/M FASE 1_45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	.010037	.010037	4.159	.050949
RESÍDUO	28	.067575	.002413		
TOTAL	29	.077613			
MÉDIA geral			0.123371253866666666666666666667		
CV(%)			39.820004422611153186582835768		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => A/M FASE 1_55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	1	.11917	.11917	80.6345	.0
RESÍDUO	28	.041381	.001478		
TOTAL	29	.160551			
MÉDIA geral			0.1408286108		
CV(%)			27.29804306639997048099831146		

ANEXO 4 - TESTES ESTATÍSTICOS - TESTE TUKEY - FASE II

VARIÁVEL : ENTRADA_LAC Q.M.R. : 14581.8865 q : 3.4343 DMS : 107.0778

3 Trat 3	767.	a 1	345.8	c
2 Trat 2	561.6667	b 2	561.6667	b
1 Trat 1	345.8	c 3	767.	a

VARIÁVEL : ENTRADA_MBR Q.M.R. : 13467.8603 q : 3.4343 DMS : 102.9063

1 Trat 1	444.2	a 1	444.2	a
2 Trat 2	410.	a 2	410.	a
3 Trat 3	361.5333	a 3	361.5333	a

VARIÁVEL : SAIDA_LAC Q.M.R. : 1370.1095 q : 3.4343 DMS : 32.8224

3 Trat 3	179.2333	a 1	99.6667	b
2 Trat 2	121.3333	b 2	121.3333	b
1 Trat 1	99.6667	b 3	179.2333	a

VARIÁVEL : SAIDA_MBR Q.M.R. : 266.587 q : 3.4343 DMS : 14.4781

1 Trat 1	77.4667	a 1	77.4667	a
3 Trat 3	74.3333	a 2	70.7733	a
2 Trat 2	70.7733	a 3	74.3333	a

VARIÁVEL : EFICIENCIA_LAC Q.M.R. : 37.7699 q : 3.4343 DMS : 5.4496

2 Trat 2	78.1222	a 1	69.9758	b
3 Trat 3	76.6582	a 2	78.1222	a
1 Trat 1	69.9758	b 3	76.6582	a

VARIÁVEL : EFICIENCIA_MBR Q.M.R. : 27.0548 q : 3.4343 DMS : 4.6123

2 Trat 2	81.9097	a 1	81.4003	a
1 Trat 1	81.4003	a 2	81.9097	a
3 Trat 3	78.7074	a 3	78.7074	a

VARIÁVEL : A/M_LAC Q.M.R. : .0015 q : 3.4343 DMS : .0342

3 Trat 3	.2039	a 1	.0722	c
2 Trat 2	.1417	b 2	.1417	b
1 Trat 1	.0722	c 3	.2039	a

VARIÁVEL : A/M_BMR Q.M.R. : .0015 q : 3.4343 DMS : .0345

2 Trat 2	.1051	a 1	.0731	a
3 Trat 3	.0778	a 2	.1051	a
1 Trat 1	.0731	a 3	.0778	a

VARIÁVEL : U_LAC Q.M.R. : .001 q : 3.4343 DMS : .0282

3 Trat 3	.1563	a 1	.0514	c
2 Trat 2	.111	b 2	.111	b
1 Trat 1	.0514	c 3	.1563	a

VARIÁVEL : U_BRM Q.M.R. : .0013 q : 3.4343 DMS : .0322

2 Trat 2	.0875	a 1	.0604	a
3 Trat 3	.0618	a 2	.0875	a
1 Trat 1	.0604	a 3	.0618	a

ANEXO 5 – TESTES ESTATÍSTICOS – ANÁLISE DE VARIÂNCIA FASE II

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	305140.772222	152570.386111	188.5457	.0
RESÍDUO	87	70400.05	809.195977		
TOTAL	89	375540.8222			
MÉDIA geral			90.9055555555556		
CV(%)			31.2922241293101		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	732438.755556	366219.377778	196.5089	.0
RESÍDUO	87	162135.5916	1863.62749		
TOTAL	89	894574.3472			
MÉDIA geral			137.9444444444444		
CV(%)			31.2950276439372		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => DQO55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	1954260.855076	977130.427538	316.5745	.0
RESÍDUO	87	268531.8638	3086.573147		
TOTAL	89	2222792.7189			
MÉDIA geral			196.3524444444444		
CV(%)			28.294496787119		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => EFICIENCIA DQO35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	67.246693	33.623347	19.8652	.0
RESÍDUO	87	147.2537	1.692571		
TOTAL	89	214.500393			
MÉDIA geral			96.162960821222222222222222222222		
CV(%)			1.3528998713370050299664881636		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => EFICIENCIA DQO45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	83.774327	41.887163	17.5828	.0
RESÍDUO	87	207.25867	2.382284		
TOTAL	89	291.032997			
MÉDIA geral			94.345549109666666666666666667		
CV(%)			1.6359699069950786288060398451		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => EICIENCIA_DQO55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	430.043289	215.021644	75.402	.0
RESÍDUO	87	248.095229	2.851669		
TOTAL	89	678.138517			
MÉDIA geral			92.213089722666666666666666666667		
CV(%)			1.8312895017339904975988408803		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => TURBIDEZ_DQO35°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	11.640576	5.820288	20.4143	.0
RESÍDUO	87	24.8044	.285108		
TOTAL	89	36.445			
MÉDIA geral			0.3607777777777778		
CV(%)			148.001104899102		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => TURBIDEZ_DQO45°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	64.555071	32.277536	35.529	.0
RESÍDUO	87	79.0382	.908485		
TOTAL	89	143.5933			
MÉDIA geral			0.7996777777777778		
CV(%)			119.191110658763		

ANALISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL => TURBIDEZ_DQO55°C

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Probabilidade
TRATAMENTOS	2	213.175344	106.587672	33.9404	.0
RESÍDUO	87	273.2179	3.140436		
TOTAL	89	486.3932			
MÉDIA geral			2.1619111111111111		
CV(%)			81.9704113655718		

ANEXO 6 – TESTES ESTATÍSTICOS – TESTE TUKEY – FASE II

VARIÁVEL : EFICIENCIA DQO PARA CARGA 2,57 KG DQO.M⁻³.D⁻¹
 Q.M.R. : 2.881 q : 3.3752 DMS : 1.0459

1 Trat 1	95.5128	a 1	95.5128	a
2 Trat 2	94.1824	b 2	94.1824	b
3 Trat 3	91.9071	c 3	91.9071	c

VARIÁVEL : EFICIENCIA DQO PARA CARGA 4,75 KG DQO.M⁻³.D⁻¹
 Q.M.R. : .777 q : 3.3752 DMS : .5432

1 Trat 1	97.3846	a 1	97.3846	a
2 Trat 2	95.6003	b 2	95.6003	b
3 Trat 3	95.0301	c 3	95.0301	c

VARIÁVEL : EFICIENCIA DQO PARA CARGA 9,43 KG DQO.M⁻³.D⁻¹
 Q.M.R. : 3.2685 q : 3.3752 DMS : 1.1141

1 Trat 1	95.5915	a 1	95.5915	a
2 Trat 2	93.254	b 2	93.254	b
3 Trat 3	89.702	c 3	89.702	c

VARIÁVEL : DQO35°C Q.M.R. : 809.196 q : 3.3752 DMS : 17.5293

3 Trat 3	173.2167	a 1	47.6667	b
2 Trat 2	51.8333	b 2	51.8333	b
1 Trat 1	47.6667	b 3	173.2167	a

VARIÁVEL : DQO45°C Q.M.R. : 1863.6275 q : 3.3752 DMS : 26.6023

3 Trat 3	264.7	a 1	62.0333	b
2 Trat 2	87.1	b 2	87.1	b
1 Trat 1	62.0333	b 3	264.7	a

VARIÁVEL : DQO55°C Q.M.R. : 3086.5731 q : 3.3752 DMS : 34.2355

3 Trat 3	404.624	a 1	86.0333	b
2 Trat 2	98.4	b 2	98.4	b
1 Trat 1	86.0333	b 3	404.624	a

VARIÁVEL : Ef_DQO35°C Q.M.R. : 1.6926 q : 3.3752 DMS : .8017

2 Trat 2	97.3846	a 1	95.5128	b
3 Trat 3	95.5915	b 2	97.3846	a
1 Trat 1	95.5128	b 3	95.5915	b

VARIÁVEL : Ef_DQO45°C Q.M.R. : 2.3823 q : 3.3752 DMS : .9511

2 Trat 2	95.6003	a 1	94.1824	b
1 Trat 1	94.1824	b 2	95.6003	a
3 Trat 3	93.254	b 3	93.254	b

VARIÁVEL : Ef_DQO°C 55 Q.M.R. : 2.8517 q : 3.3752 DMS : 1.0406

2 Trat 2	95.0301	a 1	91.9071	b
1 Trat 1	91.9071	b 2	95.0301	a
3 Trat 3	89.702	c 3	89.702	c

VARIÁVEL : TURBIDEZ_DQ035

Q.M.R. : .2851

q : 3.3752

DMS : .329

3	Trat 3	.8693	a	1	.1127	b
1	Trat 1	.1127	b	2	.1003	b
2	Trat 2	.1003	b	3	.8693	a

VARIÁVEL : TURBIDEZ_DQ045

Q.M.R. : .9085

q : 3.3752

DMS : .5874

3	Trat 3	1.9967	a	1	.2377	b
1	Trat 1	.2377	b	2	.1647	b
2	Trat 2	.1647	b	3	1.9967	a

VARIÁVEL : TURBIDEZ_DQ055

Q.M.R. : 3.1404

q : 3.3752

DMS : 1.092

3	Trat 3	4.3373	a	1	1.134	b
1	Trat 1	1.134	b	2	1.0144	b
2	Trat 2	1.0144	b	3	4.3373	a

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)