



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Cássia Aparecida Rabelo Corrêa

**"Efeito da Adição do Extrato de Levedura na Degradação de Corante
Azo em Reator UASB"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental – Área de Concentração: Saneamento Ambiental”

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Francisco de Aquino

Ouro Preto, MG

2009

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

C824e

Corrêa, Cássia Aparecida Rabelo.

Efeito da adição do extrato de levedura na degradação de corante azo em reator UASB [manuscrito] / Cássia Aparecida Rabelo Corrêa - 2009.
xi, 112f. : il., color; graf.; tabs.


Orientador: Prof. Dr. Sérgio Francisco de Aquino.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Mestrado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Saneamento ambiental.

1. Levedos - Teses. 2. Reatores químicos - Teses. 3. Corantes - Teses.

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

 <p>UFOP Universidade Federal de Ouro Preto</p>	<p>Ministério da Educação Universidade Federal de Ouro Preto Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000 Fone: (031)3559-1725 E-mail: proagua@iceb.ufop.br</p>
---	--

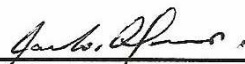
“Efeito da Adição do Extrato de Levedura na Degradação de Corante Azo em Reator UASB”

Autora: Cássia Aparecida Rabelo Corrêa

Dissertação defendida e aprovada, em 08 de maio de 2009, pela banca examinadora constituída pelos professores:



Professor Dr. Sérgio Francisco de Aquino Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto



Professor Dr. Carlos A. Lemos Chernicharo
Universidade Federal de Minas Gerais



Professor Dr. Cornélio de Freitas Carvalho
Universidade Federal de Ouro Preto



Professora Dr^a. Silvana de Queiroz Silva
Universidade Federal de Ouro Preto



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Cássia Aparecida Rabelo Corrêa

**"Efeito da Adição do Extrato de Levedura na Degradação de Corante
Azo em Reator UASB"**

Dissertação de mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do mestrado em Engenharia Ambiental, como parte integrante dos requisitos necessários para obtenção do grau em mestre em Engenharia Ambiental.

Ouro Preto 08 de maio de 2009.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Sérgio Francisco de Aquino	UFOP
Prof. Dr. Carlos Augusto Lemos Chernicharo	UFMG
Prof. Dr. Cornélio de Freitas Calda	UFOP
Prof ^a . Dr ^a . Silvana de Queiroz Silva	UFOP

Dedico este trabalho aos meu pai, Chico e minha mãe Merci, que apesar da distância geográfica sempre estiveram muito próximos de mim. Amo vocês.

*“Vivendo , se aprende; mas o
que se aprende, mais, é só a
fazer outras maiores
perguntas”*

Trecho do livro Grande Sertão:
Veredas, de João Guimarães Rosa.

Agradecimentos

A Deus por me dar o dom da vida e do livre arbítrio, espero estar fazendo jus a estas dádivas

Ao papai, a mamãe, meus irmãos Cláudia e Júnior, pelo amor dedicado a mim e pelo apoio incondicional.

A todos os meus familiares e amigos que de alguma forma e em algum momento contribuíram para realização deste trabalho.

A querida república Bico Doce, pela amizade, respeito, companheirismo e torcida de sempre.

A minha grande amiga Di, pelo valioso e acertado conselho, dando a mim a possibilidade de estar hoje aqui escrevendo estes agradecimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio, por acreditar em mim e por estar sempre presente em todos os momentos do trabalho, compartilhando comigo seus conhecimentos e experiências, contribuindo assim, para meu crescimento intelectual.

Ao Prof. Dr. Cornélio, pelos conselhos quanto às diretrizes do trabalho e pelos ensinamentos.

Aos Profs. Drs. Robson, Maurício, Cláudia (DEQUI), Alceni, Jorge Humberto, Silvana e Magela, pela boa vontade em ajudar sempre.

A Prof. Dr. Cláudia (DEMAT), pela valiosa e despretensiosa contribuição para o trabalho.

Aos meus queridíssimos parceiros, alunos de iniciação científica, Diego, Paula e Bia, pela boa vontade, dedicação ao trabalho, e pela perseverança diante dos desafios. Sem vocês este trabalho não se concretizaria.

A Patrícia, por sua amizade sincera, pelos conselhos e ensinamentos de sempre, e pela delicadeza e paciência com todos, e a todo momento.

Ao Júlio e ao Carlúcio, pelas valiosas ajudas, sempre com boa vontade e disposição.

Ao César, pela grandiosa contribuição para construção do reator e ao Anselmo, pela amizade e ajuda no que fosse preciso.

Aos colegas: Miriany, Laurinha, Débora, Amália, Erik, Leila, Fernanda e Mark.

A todos os professores do curso pelos ensinamentos.

Aos queridos colegas do CEFET, Pirequinho, Paulo Borges, Tião, Cristina e Oscar, pela amizade, compreensão e disposição de sempre em ajudar no que fosse preciso, para conclusão do trabalho.

Aos meus colegas do laboratório e do curso de mestrado que estiveram juntos comigo nesta etapa de minha vida, aos funcionários do ICEB e a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

A Cia Itabirito Industrial por ter aberto as portas da empresa, contribuindo desta forma para realização do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE NOTAÇÕES.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1- INTRODUÇÃO.....	1
2 – OBJETIVOS.....	4
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 - Processo de produção têxtil.....	5
3.2 - Geração de efluentes na indústria têxtil.....	10
3.3 - Tratamento de efluentes de indústria têxtil.....	12
3.3.1 - Processos físicos e químicos.....	12
3.3.2. – Processo biológico aeróbio.....	14
3.3.3. – Processo biológico anaeróbio.....	18
3.4 - Conclusões da revisão de literatura.....	29
4– MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 – Introdução.....	31
4.2 – Primeira etapa: ensaios em batelada.....	31
4.3 – Segunda etapa: ensaios com alimentação contínua.....	38
4.4 - Caracterização físico-química de amostras.....	44
4.5 – Análises da cinética de degradação e da estatística dos dados.....	47
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1 – Primeira etapa: ensaios em batelada.....	49
5.2. – Segunda etapa: ensaios com alimentação contínua.....	66
6 – CONCLUSÕES	89
7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
8 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	92
ANEXO.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Despejos provenientes do processamento dos tecidos de algodão e sintéticos.....	6
Figura 3.2 – Estrutura química do corante azo Reactive Red (RR2)	16
Figura 3.3 - Fluxo de preferência de elétrons em função dos diferentes pares redox.....	16
Figura 3.4 – Resumo da seqüência de processos na digestão anaeróbia de macromoléculas complexas.....	19
Figura 3.5 – Proposição de reações químicas de redução do corante azo.....	20
Figura 3.6 – Reação co-metabólica da redução anaeróbia de corantes azo por bactéria.	21
Figura 3.7 – Redução anaeróbia de corantes azo por bactéria, na ausência (A) e presença (B) de mediadores redox.....	22
Figura 3.8 – Valores de potencial de redução padrão (E_0') para mediadores redox quinônicos e não-quinônicos.....	23
Figura 3.9 – Esquema de um reator UASB.....	26
Figura 4.1 – Estrutura química da Niacina (a) e da Riboflavina (b).....	33
Figura 4.2 – Incubadora <i>shaker</i> utilizada nos ensaios e detalhe da coleta de amostra dos frascos-reatores (a) e detalhe do procedimento de coleta de amostras para análise (b).....	34
Figura 4.3 – Material utilizado na construção do reator UASB de bancada constituído pela câmara de digestão (a) e pelo separador trifásico na câmara de decantação (b).....	39
Figura 4.4 - Representação esquemática do reator UASB utilizado.....	39
Figura 4.5 – Foto do reator UASB de bancada utilizado (a) e detalhe do sistema de alimentação do referido reator (b).....	40
Figura 5.1 – Variação temporal da absorbância durante primeiro ensaio com o corante Azul marinho CL-R.....	56
Figura 5.2 – Variação temporal da absorbância durante segundo ensaio com a relação C/M fixa em 0,1.....	56
Figura 5.3 – Variação temporal da absorbância durante o terceiro ensaio. Frascos incubados com glicose.....	57

Figura 5.4 – Variação temporal da absorvância durante o terceiro ensaio. Frascos incubados sem glicose.....	57
Figura 5.5 – Variação temporal da absorvância durante terceiro ensaio em frascos incubados para avaliar a degradação abiótica e a adsorção do corante.....	58
Figura 5.6 – Variação temporal da absorvância durante o quarto ensaio, em frascos incubados para avaliar a atuação do extrato de levedura.....	59
Figura 5.7 – Variação temporal da absorvância durante o quinto ensaio, em frascos incubados para avaliar a atuação do extrato de levedura e da riboflavina.....	59
Figura 5.8 – Acúmulo de AGVs durante o quarto ensaio.....	61
Figura 5.9 – Acúmulo de AGVs durante o quinto ensaio.....	62
Figura 5.10 – Variação temporal da absorvância durante o sexto ensaio, em frascos incubados para avaliar a atuação do extrato de levedura e da riboflavina.....	64
Figura 5.11 – Acúmulo de AGVs durante o sexto ensaio.....	64
Figura 5.12 - Variação temporal da absorvância no comprimento de onda de 600 nm.	68
Figura 5.13 – Variação temporal de DQO.....	69
Figura 5.14 – Variação temporal do pH no UASB.....	73
Figura 5.15 – Variação temporal da temperatura ambiente.....	73
Figura 5.16 – Acúmulo de AGVs no meio durante a segunda fase.....	74
Figura 5.17 – Acúmulo de AGVs no meio durante a terceira fase.....	74
Figura 5.18 – Acúmulo de AGVs no meio durante a quinta fase.....	74
Figura 5.19 – Acúmulo de AGVs no meio durante a sexta fase.....	74
Figura 5.20 – Acúmulo de AGVs no meio durante a sétima fase.....	74
Figura 5.21 – Acúmulo de AGVs no meio durante a oitava fase.....	74
Figura 5.22 – Variação temporal da massa de sólidos suspensos voláteis no UASB...	85
Figura 5.23 – Variação temporal da média de sólidos suspensos no efluente do UASB.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Cargas dos despejos do processamento do algodão.....	9
Tabela 4.1 - Solução nutricional utilizada nos ensaios de degradação anaeróbia preparados para DQO de 5.000 mg/L.....	32
Tabela 4.2 - Detalhamento dos ensaios em batelada.....	35
Tabela 4.3 - Estratégia utilizada para monitoramento do reator UASB.....	42
Tabela 4-4 - Descrição das fases de operação do reator UASB.....	43
Tabela 5.1 - Resumo da eficiência de remoção de cor obtida nas diferentes condições de incubação.....	50
Tabela 5.2 - Determinação da constante (k), coeficiente de ajuste (R^2) e a classificação quanto à ordem da cinética de degradação que resultou em melhor ajuste.....	54
Tabela 5.3 - Estatística descritiva de alguns parâmetros operacionais.....	67
Tabela 5.4 - Estatística descritiva de valores de eficiência na remoção de cor.....	68
Tabela 5.5 - Estatística descritiva de valores de eficiência na remoção de DQO.	69
Tabela 5.6 - Análise estatística de variância da remoção de cor e DQO entre as fases operacionais do UASB. Se $p < 0,05$ rejeita-se a hipótese de igualdade entre fases.....	71
Tabela 5.7 - Carga orgânica aplicada ao reator.....	84
Tabela 5.8 - Estimativa de remoção específica de cor e DQO no reator UASB...	87

LISTA DE NOTAÇÕES

AGV	ácidos graxos voláteis
AQDS	antraquinônio-2,6-disulfonato
AQS	antraquinônio-2sulfonato
C/M	corante/microorganismos
DBO	demanda bioquímica de oxigênio
DP	desvio padrão
DQO	demanda química de oxigênio
DQO:N:P	relação DQO:nitrogênio:fósforo
DQO _{AFL}	demanda química de oxigênio afluyente ao reator
DQO _{EFL}	demanda química de oxigênio efluente ao reator
E ₀	potencial redox padrão
EGSB	reator de manta de lodo granular expandido
HPLC –	cromatografia líquida de alta eficiência
LAB/CAP	lodos ativados em batelada / carvão ativado em pó
LD	limite de detecção
LQ	limite de quantificação
-N=N-	ligação do corante azo
NADH	quinona oxidorredutase
OD	oxigênio dissolvido
pH	potencial hidrogeniônico
POAs	processos oxidativos avançados
P-VALOR	nível de significância ou probabilidade de significância
RBS	reator de biomassa submergida
SMPs	produtos microbianos solúveis
SPSS	pacote estatístico para as ciências sociais
SSVs	sólidos suspensos voláteis
ST	sólidos totais
TDH	tempo de detenção hidráulica
UASB	reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo
λ_{\max}	comprimento de onda máximo

RESUMO

O trabalho investigou a influência do uso do extrato de levedura, fonte dos mediadores redox riboflavina e ácido nicotínico, na degradação do corante azo Drimaren Azul HF-RL em sistemas anaeróbios operados em escala de bancada de forma batelada e contínua. A primeira etapa do trabalho envolveu a execução de ensaios em batelada, onde foi possível comprovar que a adição do extrato de levedura nas concentrações de 0,005; 0,05 e 0,5g/L melhorou a cinética de remoção de cor nas primeiras 24 horas de incubação, provavelmente atuando como fonte de mediadores redox e/ou como fonte de carbono e energia (doador de elétrons). Os frascos-reatores incubados com o extrato de levedura na concentração de 0,5g/L apresentaram os melhores resultados, removendo em média mais de 80% da cor do corante nas primeiras 24 horas de incubação; sendo que durante este período de tempo os frascos incubados com riboflavina (Vitamina B2) e glicose (fonte de carbono e energia) foram menos eficientes na degradação do corante azo, removendo em média menos de 20 e 30% da cor do corante respectivamente. Durante a segunda etapa, um reator UASB de bancada foi operado continuamente à temperatura ambiente com um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 19h, em oito fases operacionais que avaliaram a influência do extrato de levedura e da glicose na degradação do corante Drimaren Azul HF-RL. Durante a operação do UASB, constatou-se que a adição do extrato de levedura nas concentrações de 0,1 e 0,5g/L resultou em melhoria na eficiência de remoção de cor, confirmando assim os resultados dos ensaios de batelada. O uso de extrato de levedura na concentração de 0,5 g/L resultou em eficiências médias de remoção de 90% para cor e de 50% para a DQO, confirmando a não necessidade de utilização da glicose como fonte extra de carbono e energia. Os resultados mostraram ainda que houve significativo acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGV) durante os ensaios em batelada e contínuo, sugerindo que os produtos da degradação do corante azo foram tóxicos para os microrganismos anaeróbios. Tal fato resultou em elevados valores de DQO no efluente anaeróbio, indicando a necessidade de uma etapa de pós-tratamento (Ex. reatores aeróbios) para adequação do efluente aos padrões de lançamento estipulados na legislação ambiental vigente.

Palavras-chave: extrato de levedura, mediadores redox, riboflavina, ácido nicotínico, corante azo, reator UASB.

ABSTRACT

This work investigated the influence of using yeast extract, source of the redox mediators riboflavin and nicotinic acid, in the degradation of azo dye Drimaren Blue HF-RL in anaerobic systems operated in bench scale in batch and continuous way. The first stage of the work involved the execution of batch assays, which showed that the addition of yeast extract, in concentrations of 0.005; 0.05 and 0.5g/L, probably acted as source of carbon and energy (electrons donor) and/or redox mediators, hence improving the kinetics of color removal in the first 24 hours of incubation. The serum bottles incubated with the yeast extract in the concentration of 0.5 g/L showed the best results, removing, on average, over 80% of color of the dye in the first 24 hours of incubation; whereas the bottles incubated with riboflavin (Vitamin B12) and glucose (source of carbon and energy) were less efficient in the degradation of the azo dye, removing, on average, less than 20% and 30 % of the dye color, respectively. In the second stage, a bench scale UASB reactor was run continuously at room temperature with an hydraulic detention time (HRT) of 19 hours, according to eight operational phases, which evaluated the influence of yeast extract and glucose in the degradation of the dye Blue HF-RL. During the UASB operation, it was observed that the addition of the yeast extract in the concentrations of 0.1 and 0.5g/L enhanced the efficiency of removal dye degradation, thus confirming the results of batch assays. The use of yeast extract in the concentration of 0.5g/L resulted in an average efficiency of removal of 90% for color and 50% for COD, confirming that it is not necessary to use glucose as an extra source of carbon and energy. In addition, the results showed that there was significant accumulation of volatile fatty acids (VFA) during batch and continuous experiments, which suggests that the products of degradation of azo dye were toxic for anaerobic microorganisms. This resulted in high values of COD in the anaerobic effluent, indicating the necessity of a post treatment step (with, for example, aerobic reactors) to bring the effluent quality to the levels required for discharge by the current Brazilian environmental legislation.

Key words: yeast extract, redox mediators, riboflavin, nicotinic acid, azo dye, UASB reactor.

1 – INTRODUÇÃO

A indústria têxtil representa um importante setor da economia brasileira e mundial, tendo experimentado um considerável crescimento nos últimos anos. Como consequência, essa indústria tem aumentado a produção de efluentes líquidos altamente poluidores, contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Segundo BRAILE e CAVALCANTI (1993) despejos gerados pela indústria têxtil variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos, novos maquinários, novas técnicas e, também, conforme a demanda do consumidor por outros tipos de tecidos e cores.

Numerosas operações são necessárias a fim de dar ao tecido o máximo de propriedades, gerando assim, em cada etapa, diferentes despejos, dentre estas etapas distingue-se a etapa de tingimento, como responsável pela alta coloração característica deste tipo de efluente, uma vez que 10 a 15% dos corantes aplicados nesta etapa não se aderem às fibras do tecido contribuindo para a fração colorida do efluente têxtil gerado. Estima-se que existam mais de três mil tipos de corantes específicos de tingimento utilizados comercialmente, sendo que, atualmente, mais de 70% desses utilizam corantes do tipo azo, caracterizados pela ligação dupla entre átomos de nitrogênio (-N=N-) (TUNUSSI e ALEM SOBRINHO 2003).

Para efluentes de indústria têxtil, os processos de tratamento físico-químicos (coagulação, flotação, sedimentação) apresentam elevada eficiência na remoção de material particulado, no entanto, de forma geral, se mostram deficientes na remoção de cor e de compostos orgânicos dissolvidos (KUNZ *et al*, 2002 *apud* LUCAS *et al*, 2008). Em função deste inconveniente, existe uma predileção pela utilização de processos que realmente possam degradar os compostos de interesse, como os corantes têxteis. Dentro do contexto dos processos destrutivos, cabe aos processos biológicos um lugar de destaque, principalmente em função da relativa facilidade encontrada na implementação de sistemas que operam em grande escala, e do menor custo de operação quando comparado, por exemplo, aos tratamentos físico-químicos.

Geralmente o processo biológico mais utilizado para o tratamento de efluentes de indústrias têxteis é o sistema de lodos ativados, devido ao baixo tempo de residência (4 a 8 horas) e à maior flexibilidade operacional. Entretanto o processo tem alguns inconvenientes como o de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), de produzir um grande volume de lodo. Além disso, a remoção de corantes azo por bactérias aeróbias é normalmente baixa (10-30%), uma vez que tais bactérias preferem usar o oxigênio dissolvido, ao invés dos corantes azo, como receptor final de elétrons (DOS SANTOS, 2005a). Conseqüentemente, a maior parte do corante removido no sistema aeróbio é associada, principalmente, à adsorção do corante ao lodo ativado, removido do sistema por decantação. Por outro lado, sob condições anaeróbias, tais corantes são usualmente os únicos aceptores finais de elétrons, fazendo com que melhores eficiências de remoção de cor (60-80%) sejam normalmente alcançadas (DOS SANTOS, 2007 e 2005a).

Uma estratégia para melhorar a eficiência de remoção de cor no tratamento anaeróbio envolve o uso de mediadores redox para aumentar a cinética de degradação de corantes azo (DOS SANTOS, 2005b). Mediadores redox são compostos que aceleram a transferência de elétrons do doador primário (DBO do efluente) para o receptor final (corantes azo) no processo anaeróbio. Segundo RAU *et al.* (2002) vitaminas como a riboflavina (Vitamina B2), e outras substâncias como as quinonas podem funcionar como mediadores redox. Dessa forma o processo de redução dos corantes azo se daria em duas fases: a primeira consistiria na redução enzimática do mediador redox através dos elétrons gerados nos processos oxidativos e a segunda fase consiste na transferência química destes elétrons para os corantes azo (DOS SANTOS, 2005a).

Pesquisas realizadas por DOS SANTOS (2007) e CERVANTES *et al* (2006) mostraram que os compostos modelos, *antraquinone-2-sulfonate* (AQS), e riboflavina (Vitamina B2), agem como mediadores redox. Em seu trabalho DOS SANTOS (2007) constatou que na presença destes compostos na temperatura controlada de 55 °C, as taxas de descoloração foram aumentadas em 2,7 vezes (AQS) e 6,1 vezes (Vitamina B2). Vale ressaltar que tal estudo foi realizado com mediadores redox adquiridos na forma 'purificada', o que resulta em encarecimento do produto. Não são muitos os trabalhos de pesquisa que tratam de remoção de cor com o auxílio de mediadores redox e ainda menos trabalhos que

investiguem a adição destes compostos no tratamento em reatores UASB que, atualmente, em se tratando de tratamento anaeróbio de efluentes são os mais utilizados no Brasil.

Existe no Brasil uma crescente demanda por desenvolvimento de tecnologias de tratamento eficazes. Neste contexto, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) apresentam inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, notadamente quando aplicados em locais de clima quente, como é o caso do Brasil. Isto se deve, entre outros fatores, ao sistema compacto, com baixa demanda de área; ao baixo custo de implantação e de operação; à simplicidade operacional; à satisfatória remoção de DQO e DBO; à baixa produção de lodo; e à possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações (CHERNICHARO, 2007).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar se a adição de extrato de levedura, fonte dos mediadores redox riboflavina e ácido nicotínico (precursor o carreador de elétrons NAD), resulta no aumento da velocidade de degradação de corantes azo e no conseqüente aumento da eficiência de remoção de cor em sistemas anaeróbios alimentados com fonte de carbono e corante modelos utilizados na indústria têxtil.

O uso de extrato de levedura foi avaliado em função de tal material ser de baixo custo e facilmente encontrado no mercado. Além disso, a confirmação da efetividade do extrato de levedura abriria a possibilidade de utilização do resíduo de indústrias de fermentação, que descartam leveduras utilizadas na produção de cerveja e cachaça, como fonte de mediadores redox.

De início, ensaios em batelada foram realizados com o intuito de definir os parâmetros operacionais para a operação em regime de alimentação contínua. Tais ensaios, além de simularem o comportamento do efluente em ambiente anaeróbio e permitirem a determinação da cinética de degradação sem e com a presença do extrato de levedura, permitiram avaliar o acúmulo de subprodutos no meio (ácidos voláteis subprodutos da fermentação) e determinar as melhores condições de remoção de cor (relação corante/microrganismo). Posteriormente, um reator UASB em escala de bancada foi operado de forma contínua e os resultados obtidos comparados aos dos ensaios em batelada confirmando ou não a aceleração da cinética de degradação dos corantes azo em meio anaeróbio na presença de extrato de levedura atuando como fonte de mediadores redox.

2 – OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi investigar o uso do extrato de levedura como fonte de mediadores redox, acelerando a degradação do corante azo Drimaren Azul HF-RL em ambientes anaeróbios.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Avaliar a influência de diferentes concentrações de extrato de levedura na degradação do corante azo Drimaren Azul HF-RL e remoção de cor sob condições anaeróbias.
- Avaliar a influência da glicose como doador de elétrons na degradação do corante azo Drimaren Azul HF-RL e remoção de cor sob condições anaeróbias.
- Comparar as eficiências de remoção de cor obtidas com o uso da riboflavina na forma purificada com aquela obtida com o uso do extrato de levedura.
- Avaliar a remoção de cor e DQO em sistema UASB alimentado continuamente com solução do corante azo modelo Drimaren Azul HF-RL.

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - Processo de produção têxtil

No Brasil a indústria têxtil constitui uma atividade tradicional, tendo sido peça fundamental na estratégia de desenvolvimento da política industrial brasileira, uma vez que foi através dela que o Brasil iniciou o seu processo de industrialização. No contexto brasileiro as empresas do ramo têxteis são na sua maioria de pequeno e médio porte, embora de 80% a 90% do faturamento e a maior parcela de produção seja devido às indústrias de grande porte. A maioria destas indústrias estão localizadas na região sudeste (LEÃO *et al*, 2002).

Em Minas Gerais são 618 empresas têxteis cadastradas na Secretaria de Estado da Fazenda. Dentre essas 208 são pequenas tecelagens e confecções do pólo têxtil de Monte Sião, no sul do Estado. A região metropolitana de Belo Horizonte concentra 70 empresas de pequeno porte, especializadas em tecelagens semi-artesanal, malharia e decoração. Outras 62 empresas, também de pequeno porte, estão distribuídas no interior do Estado. O grupo restante é formado por 10 algodozeiras e 130 fábricas pertencentes aos principais grupos têxteis do Estado (LEÃO *et al*, 2002).

Em uma indústria têxtil são processadas fibras de algodão, viscose e poliéster pelas operações de fiação, tecelagem, acabamento e expedição, conforme mostra a Figura 3.1. A fiação é um conjunto de operações que tratam os diversos materiais fibrosos tanto de origem animal ou vegetal, até sua transformação em fios. Não há geração de despejo industrial neste processo. A tecelagem transforma os fios em tecidos, e como o processo é a seco também não há geração de efluentes líquidos. Por sua vez, as operações de acabamento são responsáveis pelo beneficiamento dos tecidos crus, transformando-os em tecidos purgados, alvejados, tintos, estampados e acabados. É nessa etapa que são gerados os efluentes líquidos da indústria têxtil. O processo de acabamento engloba, tipicamente, cinco fases que serão descritas a seguir: alvejamento, tinturaria, estamparia, acabamento físico e químico, e expedição (LEÃO *et al*, 2002).

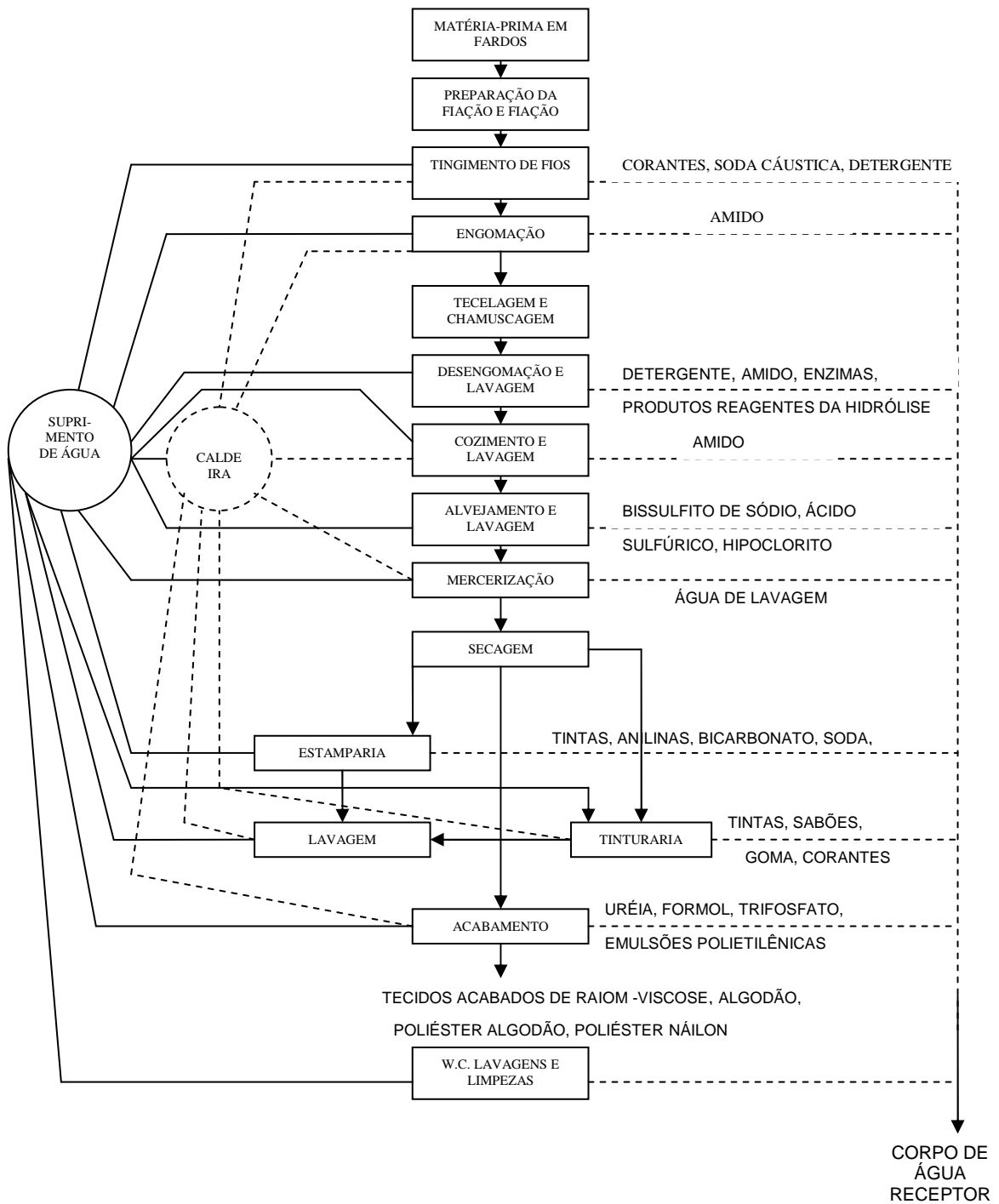


Figura 3.1 – Despejos provenientes do processamento dos tecidos de algodão e sintéticos.

Fonte: BRAILE e CAVALCANTI (1993).

a) Alvejamento

Processo químico que elimina cor indesejável de fibras, fios ou tecidos. Vários tipos de produtos químicos são utilizados como alvejantes e a seleção depende do tipo de fibra e do tratamento subsequente. Hoje em dia o agente alvejante mais utilizado é o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), mas o hipoclorito de sódio ($NaClO$), clorito de sódio ($NaClO_2$) e dióxido de enxofre gasoso (SO_2) ainda são utilizados como alvejantes (LEÃO *et al*, 2002). O alvejamento é utilizado principalmente para produzir tecidos estampados de fundo branco.

b) Tinturaria

Essa etapa é usada para a produção de tecidos lisos tingidos. O tecido passa por uma solução contendo corantes e os despejos do tingimento são variados por causa dos diferentes tipos de corantes utilizados e da maneira pela qual são aplicados. Além disso, os efluentes dessa etapa têm forte coloração e podem conter corantes tóxicos como alguns do tipo azo. A DBO_5 (demanda bioquímica de oxigênio) dos efluentes da etapa de tingimento é geralmente baixa, sendo o grau de biodegradabilidade aeróbia (DQO/DBO_5) bastante variável. Tais efluentes possuem corantes/pigmentos dispersos de difícil remoção, além de sais e umectantes, sendo teor de sólidos elevado e o pH (potencial hidrogeniônico) variável em função do tipo de tingimento utilizado. Além da natureza tóxica de alguns tipos de corantes, nesta etapa também são utilizados agentes aceleradores de tingimento que, além de serem na sua maioria tóxicos, sua presença nos efluentes líquidos exerce elevados valores de DQO (demanda química de oxigênio) (LEÃO *et al*, 2002).

c) Estamparia

A estamparia transforma os tecidos alvejados em tecidos estampados por meio de rolos gravados ou de quadros com corantes reativos, e outros pigmentos. Os despejos líquidos dessa etapa contêm corantes e, em alguns casos, soda cáustica e goma.

d) Acabamento físico e químico

O acabamento é dividido nas etapas química e física. No acabamento químico, as peças são impregnadas por banhos de acabamento (gomas e resinas) e são secas sob temperaturas controladas. No acabamento físico, as peças são estiradas para promover a estabilização da trama e da largura do tecido. Os despejos são provenientes das lavagens do “fulão” (tipo de cilindro), das máquinas e do piso. Tais despejos podem conter uréia, formol, trifosfato,

amido, estearato, óleo sulfurizado, emulsões de resinas polivinílicas e sais de magnésio (LEÃO *et al.*, 2002).

e) Expedição

A expedição envolve um conjunto de processos que têm por finalidade revisar, cortar, embalar e despachar o tecido, em conformidade com os padrões e parâmetros solicitados pelos clientes.

Dentre as etapas do processo de produção têxtil descrito anteriormente, o tingimento e a Lavagem dos fios coloridos contribuem para a fração colorida do efluente têxtil gerado, e isso ocorre devido aos corantes que não se aderem às fibras do tecido nas operações de acabamento (DOS SANTOS, 2005b). A Tabela 3.1, obtida de BRAILE e CAVALCANTI (1993), apresenta as características dos despejos gerados nas várias unidades do processamento do algodão. Salienta-se que outras referências mais atuais (LEÃO *et al.* 2002; MANU e CHAUDHARI, 2002) apresentam dados complementares de consumo de água na indústria têxtil.

Tabela 3.1 – Cargas dos despejos do processamento do algodão.

Processo	Despejos			Litros de despejos por kg processado	kg de DBO por 1000 kg processado	kg de sólidos totais por 1000 kg processado	População equivalente por 453 kg processado
	pH	DBO (mgL ⁻¹)	Sólidos totais (mgL ⁻¹)				
Engomagem de fio(*)	7,0-9,5	620-2500	8500-22600	1-8	0,5-5,0	47-67	2-30
Desengomagem	-	1700-5200	16000-32000	2-9	14,8-16,1	66-70	90-100
Maceração	10-13	680-2900	7600-17400	3-14	1,5-17,5	19-47	10-105
Limpeza	-	50-110	-	19-43	1,36-3,02	-	8-18
Alvejamento	8,5-9,6	90-1700	2300-14400	2-124	5,0-14,8	38-290	30-90
Mercerização	5,5-9,5	45-65	600-1900	233-308	10-13	185-450	60-80
Tingimento:							
Anilina preta	-	40-55	600-1200	125-192	5-10	100-200	40-60
Básico	6-7,5	100-200	500-800	150-300	15-50	150-250	100-400
Direto	6,5-7,6	220-600	2200-14000	14-53	1-12	25-250	25-75
Índigo	5-10	90-1700	1100-9500	5-50	2-10	21-63	10-60
Naftol	5-10	15-675	4500-10700	19-140	2-15	200-650	13-80
Enxofre	8-10	11-1800	4200-14100	24-213	2-250	300-1200	14-1500
A cuba	5-10	125-1500	1700-7400	8-167	12-30	150-250	75-175

Fonte: Adaptado de BRAILE e CAVALCANTI (1993).

Obs: * Despejo de indústria com tecelagem.

3.2 - Geração de efluentes na indústria têxtil

Na indústria têxtil a etapa de fiação (transformação do algodão em fio) gera grande quantidade de resíduos de algodão (estopas) que são normalmente mandados para aterros e, outras vezes, doados a terceiros. Contudo, o principal problema da indústria têxtil é a geração de efluentes líquidos, uma vez que estimativas apontam que são necessários de 80 a 150L de água para a produção de 1kg de tecido, sendo que cerca de 88% desse volume descartado como efluente (TORQUETTI, 1998 *apud* LACERDA, 2004).

Conforme, apresentado na Figura 3.1 e discutido anteriormente, os despejos líquidos são provenientes basicamente das etapas de limpeza, tingimento e acabamento, e caracterizam-se por extrema variação de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e por elevada presença de sólidos totais (ST). Além disso, segundo LEÃO *et al* (2002), a baixa biodegradabilidade dos efluentes têxteis se deve ao alto conteúdo de corantes (10 a 15% não fixados são perdidos com o efluente), surfactantes e aditivos, que geralmente são compostos orgânicos de estruturas complexas, e estão presentes nos efluentes em concentrações relativamente elevadas. De fato, os efluentes líquidos da indústria têxtil são altamente coloridos, resultado principalmente dos diferentes tipos corantes que são aplicados nas operações de tingimento.

Os corantes compreendem dois componentes principais: o grupo cromóforo, responsável pela absorção de radiação eletromagnética da luz e formação da cor por meio da emissão de radiação na região do visível (400 a 700 nm), e o grupo funcional que permite a fixação do corante nas fibras do tecido (DURÁN *et al*, 2002). Segundo DOS SANTOS (2003) dentre os grupos de corantes azo, aquele que apresenta o grupo triazina tem a menor taxa de descoloração durante o tratamento biológico, requerendo TDHs (tempos de detenção hidráulica) mais elevados.

Os corantes podem ser classificados segundo sua estrutura em antraquinônios (contém quinonas ou benzoquinonas na sua estrutura), índigo (contém enxofre), ftalocianinos (contém metais) azóico ou azo (contém a ligação azo -N=N-). Estima-se que a produção deste último, caracterizada pela presença da ligação (-N=N-) represente cerca de 70% dos corantes fabricados anualmente em todo o mundo (DOS SANTOS, 2005a). Podem

também ser classificados pelos métodos de aplicação usados no processo de fabricação (Ex. ácido, básico, direto, reativo) (CLIONA *et al*, 1999 *apud* SOMASIRI *et al*, 2007).

A legislação ambiental brasileira não estipula limite de emissão para corantes ou cor, mas é clara no aspecto de que o lançamento não pode resultar em cor no corpo receptor, limitando a cor em 75 mg-PtL⁻¹ para os corpos de água classe 2. O lançamento, em corpos de água, de efluentes contendo concentrações de corantes é indesejável, pois podem afetar a fotossíntese das algas, além de muitos desses corantes e seus produtos de degradação serem carcinogênicos (WEISBURGER, 2002 *apud* DOS SANTOS, 2005a).

A presença de pequenas quantidades de corantes na água já causa a percepção da cor e afeta seriamente seu aspecto, como transparência e concentração de oxigênio dissolvido, resultando na deteriorização do meio aquático. Sem um tratamento adequado os mesmos podem permanecer no meio-ambiente por longos períodos de tempo. Um exemplo disto é o tempo médio de degradação do corante hidrolisado *Reactive Blue 19*, que leva cerca de 46 anos a pH 7 e 25 °C para se degradar (HAO *et al*, 2000 *apud* DOS SANTOS, 2005b). Também é importante lembrar que a remoção de DQO e DBO desses efluentes representa um desafio para os profissionais da área, uma vez que os efluentes têxteis são caracterizados por extrema variação em muitos parâmetros tais como pH, cor salinidade, temperatura, DQO e DBO (Tabela 3.1). A composição do efluente dependerá dos diferentes compostos orgânicos, químicos, dos corantes usados pela indústria e das etapas empregadas no tingimento (DOS SANTOS, 2005c).

Devido ao aprimoramento da legislação ambiental brasileira, as indústrias têxteis precisam considerar, desde já, a implantação de novos tratamentos para seus efluentes líquidos, visando inclusive o reuso de água. Pesquisas que busquem por novos corantes, menos tóxicos e produzidos em condições mais seguras e de menor impacto ambiental, também são ações necessárias.

3.3 - Tratamento de efluentes de indústria têxtil

O principal objetivo deste item da revisão de literatura é apresentar mais detalhadamente os processos de tratamentos biológicos, mas serão citados outros processos que também são utilizados para tratar efluentes líquidos.

3.3.1 - Processos físicos e químicos

Os métodos de filtração, como a ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, são utilizados para reuso de água e recuperação de produtos químicos em diversas indústrias. Especificamente na indústria têxtil esses métodos de filtração podem ser usados tanto para filtrar água, quanto para reciclar fluxos ricos em corantes (PORTER, 1997 *apud* DOS SANTOS, 2005c). A temperatura e a composição química do efluente determinam o tipo de porosidade do filtro a ser aplicado (PORTER, 1997 *apud* DOS SANTOS, 2005c), mas o principal problema da tecnologia de membranas é o alto custo de investimento. O reuso da água vinda dos efluentes coloridos pode ser potencializada com o uso da osmose reversa. No entanto a coagulação e a micro-filtração como pré-tratamento são necessárias para evitar a colmatação (*fouling*) da membrana (VANDEVIVERE *et al*, 1998 *apud* DOS SANTOS, 2005c).

Dentre os processos físicos vale ressaltar os métodos de adsorção para remoção de cor, que baseiam-se na afinidade de muitos corantes por materiais adsorventes. A descoloração por adsorção é influenciada por alguns fatores físico-químicos como área superficial do adsorvente, tamanho da partícula, temperatura, pH e tempo de contato (MATTIOLI *et al*, 2002 *apud* DOS SANTOS, 2005c). O principal critério para a seleção de um adsorvente deve ser baseado em características como grande afinidade pelo corante e a capacidade de se regenerar o adsorvente (KARCHER *et al*, 2001 *apud* DOS SANTOS, 2005c). O adsorvente mais utilizado no tratamento de efluentes industriais é o carvão ativado, e isso ocorre devido a sua alta afinidade por muitos corantes, resultando em alta eficiência na remoção de cor. Mas esta eficiência depende diretamente do tipo do material do carvão utilizado e das características do efluente têxtil.

Dentre os processos químicos que podem ser utilizados para tratamento de efluentes de indústria têxtil, a oxidação química se destaca. Tal processo envolve o uso de agentes oxidantes como o ozônio (O_3), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e permanganato (MnO_4^{2-}) para mudar a composição química dos compostos ou grupo de compostos como por exemplo os corantes (METCALF e EDDY, 2003). No caso dos corantes os agentes oxidantes oxidam os grupos cromóforos (duplas ligações conjugadas) que absorvem radiação eletromagnética em comprimento de ondas na faixa do visível e conferem assim cor ao corante. Dentre os oxidantes citados, o ozônio é o mais utilizado por causa do seu

alto poder reativo com elevado número de corantes, promovendo remoções de cor eficientes (ALATON *et al*, 2002 *apud* DOS SANTOS, 2005c).

Devido à baixa eficiência de remoção de cor e de DQO com as técnicas de oxidação química convencional, tem se desenvolvido os processos oxidativos avançados (POAs). Nestes processos agentes oxidantes como O_3 e o H_2O_2 são usados com catalisadores (Fe, Mn e TiO_2) na presença ou ausência de uma fonte de irradiação para a geração de radicais hidroxila (HO^*) (ALATON *et al*, 2002 *apud* DOS SANTOS, 2005c). Os radicais hidroxila são altamente oxidantes e aumentam em uma ordem de magnitude a degradação quando comparado aos oxidantes moleculares (Ex. O_3 , H_2O_2). Atualmente diferentes combinações de POAs têm sido estudadas com o objetivo de se remover cor, mas como a presente dissertação envolve a degradação biológica de corantes, tais métodos de tratamento não serão revisados aqui.

Nos métodos físico-químicos (coagulação, flotação, sedimentação) agentes coagulantes como sais férricos ou sulfato de alumínio são utilizados para formar flocos, que posteriormente são separados através de sedimentação, flotação e/ou filtração. O método de coagulação-floculação é um dos processos mais utilizados pela indústria têxtil em muitos países, tais como Alemanha e França (DOS SANTOS, 2005c). Ele pode ser usado como pré-tratamento, pós-tratamento ou até mesmo como sistema principal de tratamento (VANDEVIVERE *et al*, 1998 *apud* DOS SANTOS, 2005c). Os métodos físico-químicos apresentam elevada eficiência na remoção de material particulado, no entanto, se mostram deficientes na remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos. Segundo VON SPERLING (2005) os métodos físico-químicos podem ser empregados como um método auxiliar ao tratamento biológico, visto que o mesmo muitas vezes não possui boa eficiência quando empregado isoladamente em tratamento de efluentes industriais. Caso o efluente não seja essencialmente inorgânico, os métodos físico-químicos podem ser utilizados para evitar o lançamento de efluentes ácidos ou alcalinos no corpo receptor e para melhorar a eficiência de tratamentos posteriores, mais especificamente, o tratamento biológico (VON SPERLING, 2005).

3.3.2. – Processo biológico aeróbio

Existe uma predileção pela utilização de processos que realmente possam degradar com eficiência contaminantes orgânicos de interesse, com custos competitivos. No contexto dos processos destrutivos, os processos biológicos ocupam um lugar de destaque, principalmente em função da relativa facilidade encontrada na implementação de sistemas que operem em grande escala, além de serem ambientalmente corretos (menor gasto energético, menor geração de resíduos sólidos, e no caso do tratamento anaeróbio, geração de subproduto de alto valor energético). No Brasil a maior parte das indústrias de beneficiamento têxtil possui estações de tratamento biológico de efluentes, e lança os despejos tratados diretamente nos corpos de água.

O processo de remoção de cor requer uma capacidade enzimática não específica, encontrada em uma grande variedade de microrganismos como bactérias aeróbias e anaeróbias e fungos. Diante disto, o uso de culturas mistas de bactérias pode ser uma alternativa viável já que a mesma é composta de diversos microrganismos com alta atividade (CERVANTES *et al.*, 2006).

Distinguem-se dois processos biológicos básicos para a remoção de material orgânico: o mecanismo aeróbio, quando o material é oxidado na presença de oxigênio dissolvido, levando à formação de produtos minerais (gás carbônico, água, nitrato, fosfato); e o mecanismo anaeróbio, que pode se desenvolver quando não há disponibilidade de oxigênio agindo como acceptor final de elétrons. Nesse segundo processo ocorrem reações de fermentação e respiração anaeróbia gerando como produto final o biogás, que é constituído predominantemente por metano e dióxido de carbono (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Geralmente o processo biológico mais utilizado para o tratamento de efluentes de indústrias têxteis é o sistema de lodos ativados, devido ao baixo tempo de residência (4 a 8 horas), e à maior flexibilidade operacional. Entretanto o processo tem alguns inconvenientes como o de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), de produzir um grande volume de lodo, e ter um elevado custo de operação (CHERNICHARO, 2007). Além disso, a remoção de corantes do tipo azo por bactérias aeróbias é normalmente baixa (10-30%), uma vez que tais bactérias preferem usar o oxigênio dissolvido ao invés dos corantes azo como acceptor final de elétrons, isso se deve

ao fato do oxigênio apresentar potencial redox elevado, o que o torna mais susceptível à redução.

Segundo DOS SANTOS (2005a) a maior parte do corante removido no sistema de lodos ativados é associada principalmente à adsorção do corante ao lodo. Portanto, métodos biológicos aeróbios são insuficientes no tratamento de efluentes têxteis, pois na maior parte do corantes a remoção de cor é baixa, especialmente nos do tipo azo (DOS SANTOS, 2005b). Sob condições aeróbias, as enzimas mono e dioxigenases, produzidas por bactérias aeróbias, catalisam a incorporação do oxigênio molecular no anel aromático e compostos orgânicos (ex: compostos organoclorados) anteriormente à fissão do mesmo (MADIGAN *et al*, 2003). Na maioria das monooxigenases, o doador de elétrons é o NADH ou NAD(P)H, muito embora a transferência de elétrons para o oxigênio molecular seja feita através de uma flavina que é reduzida pelo NADH ou NAD(P)H, sendo os últimos os doadores primários de elétrons (MADIGAN, 2003).

Embora os corantes do tipo azo sejam compostos aromáticos, como exemplo mostrado na Figura 3.2, os seus substituintes contendo principalmente grupos nitro e sulfônicos são um tanto recalcitrantes à degradação por bactérias aeróbias. Isso se deve provavelmente à natureza de retirada de elétrons dos corantes azo através do ataque das monooxigenases, como também ao fato do oxigênio ser mais efetivo como receptor de elétrons do que o corante azo, portanto tendo preferência pelos elétrons gerados nos processos oxidativos (DOS SANTOS, 2005b).

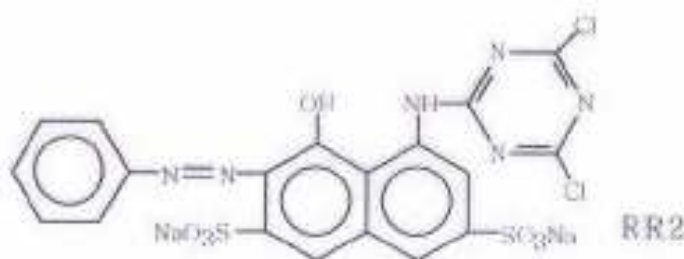


Figura 3.2: Estrutura química do corante azo *reactive red 2* (RR2).

Fonte: DOS SANTOS, 2005b.

A Figura 3.3 mostra o fluxo preferencial de elétrons na presença de diversos pares redox envolvidos nos processos biológicos. Percebe-se que o oxigênio é mais efetivo como acceptor de elétrons do que o corante azo, isso se deve ao fato do oxigênio possuir um

potencial redox bem maior que a faixa de potencial redox conhecida para a maioria dos corantes azo, portanto, justifica os baixos valores de eficiência (<30%) de remoção de cor (redução da ligação dupla) comumente encontrados sob condições aeróbias.

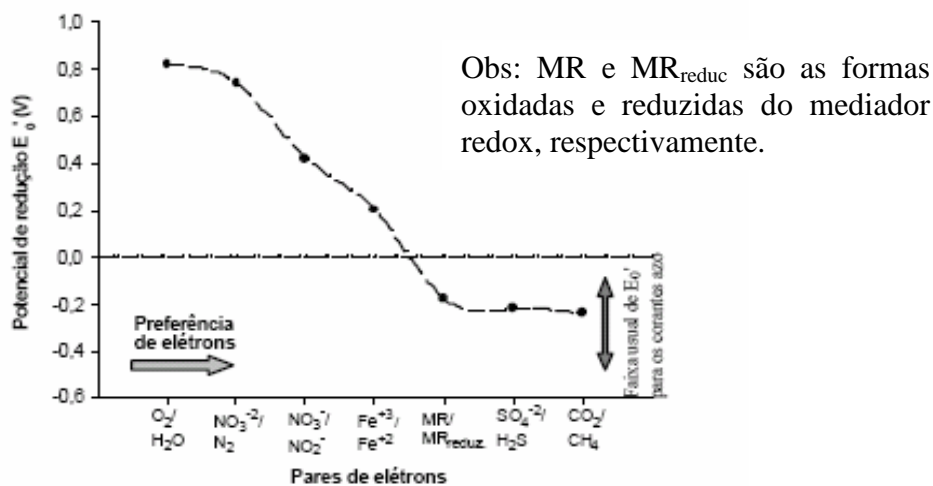


Figura 3.3: Fluxo de preferência de elétrons em função dos diferentes pares redox.

Fonte: MADIGAN *et al*, 2003; CERVANTES, 2002 *apud* DOS SANTOS, 2005b.

Entretanto, na presença de enzimas específicas chamadas de azo-redutases algumas bactérias aeróbias são capazes de reduzir compostos do tipo azo e subsequentemente produzirem as aminas aromáticas (STOLZ, 2001 *apud* DOS SANTOS, 2005b). Azo-redutases aeróbias foram encontradas em espécies de *Pseudomonas* do tipo K22 e KF46 (ZIMMERMANN *et al*, 1984; ZIMMERMANN *et al*, 1982 *apud* DOS SANTOS, 2005b). As enzimas azo-redutases aeróbias são capazes de usar NAD(P)H e NADH como cofatores e de reduzirem não somente os substratos carboxilados, mas também as estruturas sulfonadas análogas. Recentemente, BLÜMEL e STOLZ (2003) clonaram e caracterizaram o gene que codifica a enzima azo-redutase aeróbia obtida com o microrganismo *Pagmentiphaga kullae* K24. Esse organismo foi capaz de crescer com o corante azo carboxilado como a única fonte de carbono e energia.

A degradação aeróbia de corantes pode ser efetivada também por fungos. A capacidade dos fungos de descolorir corantes do tipo azo está relacionada à formação de exo-enzimas tais como peroxidases e fenolxidasas. Peroxidases são hemo-proteínas que catalisam reações na presença de peróxido de hidrogênio (DURÁN *et al*, 2002). Segundo DOS SANTOS (2005b) as exo-enzimas fenolxidasas podem ser divididas em tirosinades e lacases; as

lacases contém cobre na sua estrutura e possuem uma larga faixa de substratos que podem servir como doador de elétrons incluindo os corantes azo.

Estudos de CLAUS *et al* (2002) mostraram que as lacases do *Trametes Versicolor*, *Polyporus pinisitus* e *Myceliophthora thermophila* foram capazes de descolorir o corante azo *Direct Red 28*, o índigo *Acid Blue 74* e corantes antraquinônicos em altas taxas, mas as mesmas lacases foram extremamente ineficientes na remoção de cor do corante azo *Direct Red 29*. Durante o estudo de HEINFLING *et al* (1997) *apud* DOS SANTOS (2005b) dezoito espécies fúngicas capazes de degradar material ligninocelulósico ou derivados da lignina foram testados com os corantes azo *Reactive Orange 96*, *Reactive Violet 5* e *Reactive Black 5*. Somente as espécies *Bjerkandera adusta*, *Trametes versicolor* e *Phanerochaete chrysosporium* se mostraram capazes de remover a cor de todos os corantes azo.

Portanto, embora certas espécies de bactérias e de fungos sejam efetivos no tratamento de efluentes têxteis, especialmente para remoção de cor, o uso de microrganismos isolados (culturas puras) no tratamento de efluentes têxteis não é eficaz devido a sua inabilidade em degradar diferentes tipos de corantes, comumente presentes em efluente têxteis, criando obstáculos para sua adoção comercial (SOMASIRI *et al*, 2007).

3.3.3. – Processo biológico anaeróbio

O processo de digestão anaeróbia é realizado por uma gama muito grande e variável de microrganismos, no qual distinguem-se quatro fases subseqüentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Tem-se, então, uma cadeia sucessiva de reações bioquímicas, onde inicialmente acontece a hidrólise ou a quebra das moléculas de proteínas, lipídios e carboidratos até a formação dos produtos finais, essencialmente gás metano e dióxido de carbono (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). A Figura 3.4 mostra as principais etapas da digestão anaeróbia.

Na decomposição bioquímica da matéria orgânica presente no esgoto, uma larga variedade de bactérias hidrolizam e convertem o material complexo em compostos mais simples. Dentre os compostos formados os principais são os ácidos graxos voláteis (AGV) tais como o acético, o propiônico, e o butírico. O acúmulo desses ácidos pode ter um efeito desastroso sobre a digestão anaeróbia se a capacidade de tamponamento for extrapolada e o pH cair para níveis desfavoráveis. De acordo com AQUINO e CHERNICHARO (2005), em um reator estável, operando sob condições ótimas de crescimento microbiano, e na ausência de fatores de estresse, as etapas acidogênica, acetogênica e metanogênica ocorrerão em passos similares, de forma a haver uma equalização nas taxas de produção e consumo dos compostos intermediários. Nestes casos não haverá acumulação significativa de ácidos graxos voláteis (AGV) e o processo deveria operar próximo às condições de equilíbrio dinâmico.

Nos sistemas de tratamento anaeróbio, para que os microrganismos convertam a matéria orgânica em produtos finais, deve-se manter uma grande massa de microrganismos ativas e proporcionar contato entre a massa microbiana e o material orgânico do afluente. Além das condições operacionais, os fatores que mais influenciam são: temperatura, pH e presença de elementos nutrientes (nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio e outros) (ROCHA, 2003).

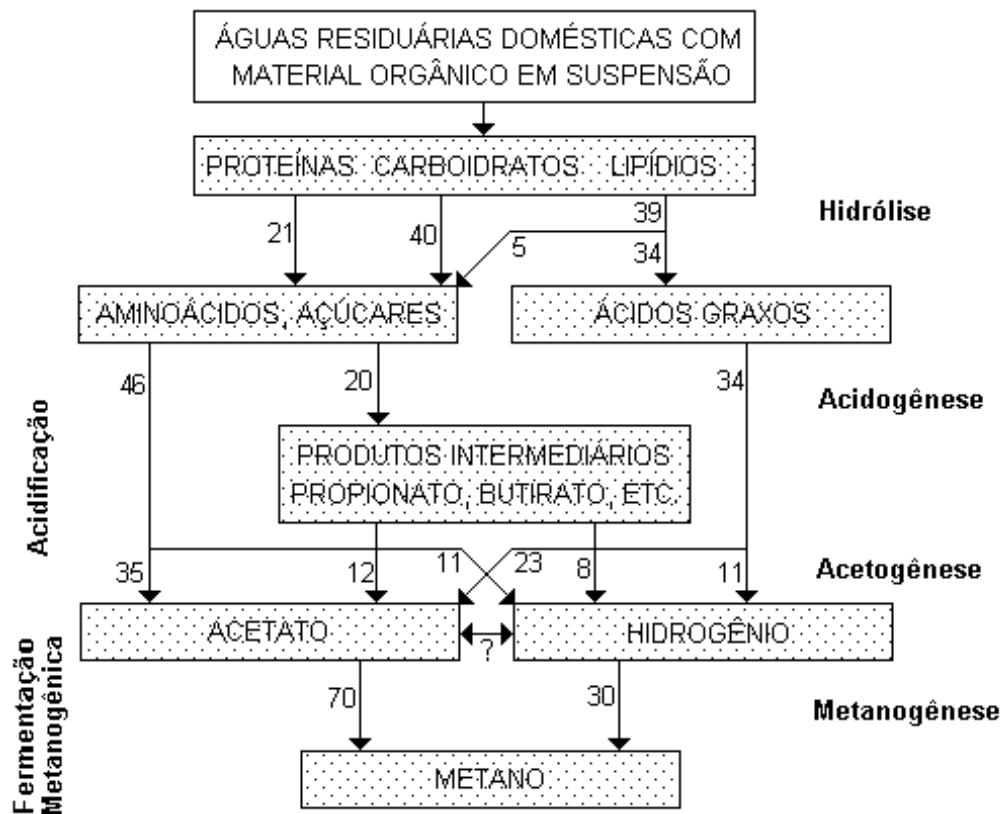


Figura 3.4 - Resumo da seqüência de processos na digestão anaeróbia de macromoléculas complexas. Obs. Os números referem-se à porcentagem do fluxo de elétrons em termos de DQO. Fonte: VAN HAANDEL e LETTINGA (1994).

Dos fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies. Em temperaturas maiores, as taxas de reação se processam mais rapidamente resultando em uma operação mais eficiente e menor tamanho dos reatores. Duas ótimas faixas de temperatura para o tratamento anaeróbio têm sido citadas: uma na faixa mesófila de 30 a 38 °C e outra na faixa termófila de 49 a 57 °C. A maioria dos digestores anaeróbios tem sido projetada na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termófila (CHERNICHARO, 2007). No Brasil, a maioria dos reatores anaeróbios são operados na temperatura ambiente, favorecidos pelo clima propício e para não elevar os custos do tratamento.

O efeito do pH sobre o processo se manifesta de duas formas principais: diretamente, afetando drasticamente a atividade enzimática; e indiretamente, afetando a toxicidade de vários compostos (LETTINGA *et al*, 1996 *apud* CHERNICHARO, 2007). É possível manter a estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla de pH, entre 6,0 e 8,0, mas valores de pH abaixo de 6,8 e acima de 8,3 devem ser evitados, uma vez que eles

podem inibir por completo os microrganismos formadores de metano (CHERNICHARO, 2007).

Degradação anaeróbia de corantes azo

A degradação anaeróbia, ao contrário da aeróbia, não conta com a presença do oxigênio na disputa por elétrons, fazendo com que o corante seja o aceptor final de elétrons, o que torna os sistemas anaeróbios potencialmente mais eficientes na remoção de cor quando comparado com os processos os aeróbios (DOS SANTOS 2007, 2005a,b,c, 2003, RAZO FLORES *et al* 1997, STOLZ 2001).

A remoção de cor sob condições anaeróbias envolve a redução do corante, e a literatura cobre principalmente a bioquímica da redução dos corantes azo. A quebra da ligação azo (N=N) envolve a transferência de quatro elétrons (equivalentes reduzidos) do doador para o corante, resultando inicialmente na formação do intermediário hidrazo que é posteriormente clivado para formar aminas. Tal processo ocorre em dois estágios, e em cada estágio dois elétrons são transferidos para o corante azo, como mostra a Figura 3.5 (DOS SANTOS, 2005b)

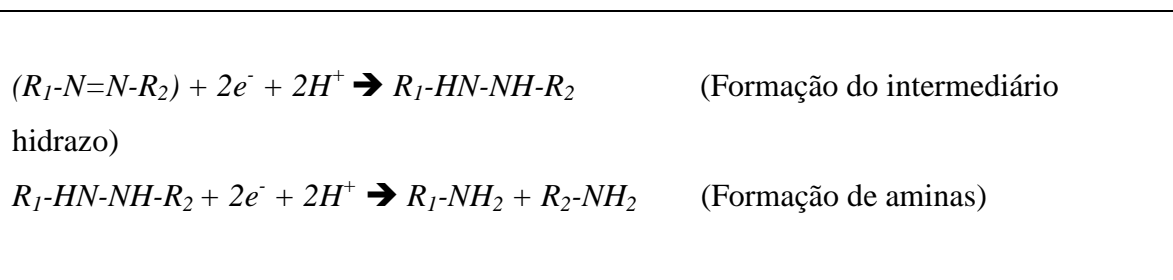


Figura 3.5 – Proposição de reações químicas de redução do corante azo. Fonte: DOS SANTOS (2005b).

O exato mecanismo de redução do corante azo quer seja intracelular, ou extracelular, é ainda objeto de discussão, assim como o real papel dos carreadores de elétrons celulares, como as flavinas (DOS SANTOS, 2005b). Segundo STOLZ (2001), os corantes azo são reduzidos principalmente por enzimas extracelulares ou enzimas situadas na membrana citoplasmática. Da mesma forma, VAN DER ZEE *et al* (2001) realizaram experimentos de redução do corante azo em sistemas de batelada e contínuo, e mostraram que a penetração do corante na parede célula não foi responsável pela redução do corante azo, confirmando

que a redução do corante ocorre normalmente fora da célula ou na membrana celular. A adsorção do corante na parede celular bacteriana, provavelmente contribui positivamente para a transferência de elétrons dos cofatores reduzidos para o corante azo.

A redução de corantes sob condições anaeróbias é uma combinação de mecanismos biológicos e químicos. A contribuição biológica é dada por enzimas especializadas, as azo-redutases que estão presentes em bactérias que são capazes de crescer usando unicamente os corantes como fonte de carbono e energia. Recentemente, uma redutase acionada pelo mediador redox *lawson*, localizada no citoplasma da *Escherichia coli*, mostrou a capacidade de redução de um corante azo (RAU & STOLZ, 2003 *apud* DOS SANTOS, 2005b). Ou enzimas sem especificidade que catalisam a redução de uma gama de contaminantes, os quais incluem os corantes azo (STOLZ, 2001). A contribuição química para a redução do corante azo e subsequente remoção da cor sob condições anaeróbias pode envolver ainda redutores biogênicos como sulfeto, cisteína, ascorbato e Fe^{+2} (YOO, 2002 *apud* DOS SANTOS, 2005b).

Portanto sob condição anaeróbia, uma reação co-metabólica (Figura 3.6) é provavelmente o principal mecanismo de redução do corante, nos quais os equivalentes reduzidos ou cofatores reduzidos, como NADH, NAD(P)H, FMNH₂ e FADH₂, atuam como doadores de elétrons secundários e conduzem elétrons do doador para efetuar a redução dos átomos de nitrogênio que formam a ligação dupla característica dos corantes azo (GINGELL e WALKER, 1971 *apud* DOS SANTOS, 2005b).

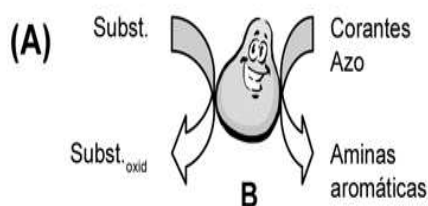


Figura 3.6 - Reação co-metabólica da redução anaeróbia de corantes azo por bactérias anaeróbias. Obs: A letra B corresponde à reação biológica. Fonte: DOS SANTOS (2005b).

Efeito dos Mediadores Redox e da Temperatura na Redução de Corantes Azo

Mediadores redox são compostos que aceleram a transferência de elétrons do doador primário (substrato) para o receptor final (corantes azo). No processo anaeróbio ambas reduções, biológica e química, dos corantes azo são aceleradas pela adição de mediador redox, tais como quinonas e flavinas (FIELD e BRADY, 2003; CERVANTES *et al*, 2001 *apud* CERVANTES *et al*, 2006).

Segundo DOS SANTOS (2005a), o processo de redução dos corantes azo com o auxílio de mediador redox se dá em duas fases: a primeira consiste na redução enzimática do mediador redox através dos elétrons gerados nos processos oxidativos (degradação do substrato), e a segunda fase consiste na transferência química destes elétrons para os corantes azo (redução do corante com regeneração do mediador redox). A Figura 3.7 ilustra este processo.

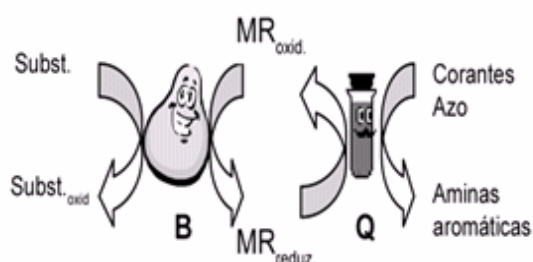


Figura 3.7 – Redução anaeróbia de corantes azo por bactéria, na presença de mediadores redox. As letras B, Q e MR correspondem à reação biológica, quinona e a atuação do mediador redox respectivamente. Fonte: DOS SANTOS (2005b).

Segundo MENDEZ-PAZ (2005), mediadores redox do tipo sulfonado e antraquinônico reduzem o corante extracelularmente e, após a redução, os mesmos são regenerados por enzimas extracelulares. Vitaminas como a riboflavina (Vitamina B2), e outras substâncias como as quinonas também podem funcionar como mediadores redox (DOS SANTOS, 2005a), sendo que o fator mais importante que determina se uma substância atuará transportando elétrons do doador primário para o corante azo, é o seu potencial redox. A Figura 3.8 mostra os valores de potencial de redução de alguns mediadores redox.

DOS SANTOS (2007, 2005a, b, c, 2003) estudou os compostos modelos, *antraquinone-2-sulfonate* (AQS), *antraquinone-2,6-disulfonate* (AQDS) e riboflavina (Vitamina B2), e constatou que tais compostos agiram como bons mediadores redox em condições mesofílicas (30 °C) e termofílicas (55 °C). Em tais estudos a riboflavina apresentou resultados mais expressivos e o parâmetro temperatura foi de grande relevância para os ótimos resultados alcançados. Os resultados mostraram que as taxas de descoloração dos corantes azo foram claramente aceleradas sob condições termofílicas (55 °C) quando comparadas ao tratamento mesofílico (30 °C). Segundo DOS SANTOS (2003) o aumento da temperatura parece ser vantajoso para a geração de hidroquinonas (composto aromático fenólico) que às vezes aparece como fator limitante do processo, quando o peso molecular do mediador redox é baixo. O aumento da temperatura favorece ainda a cinética da reação, por propiciar maior grau de agitação molecular e maior probabilidade de colisões entre os carreadores de elétrons (mediador redox reduzido) e a ligação azo.

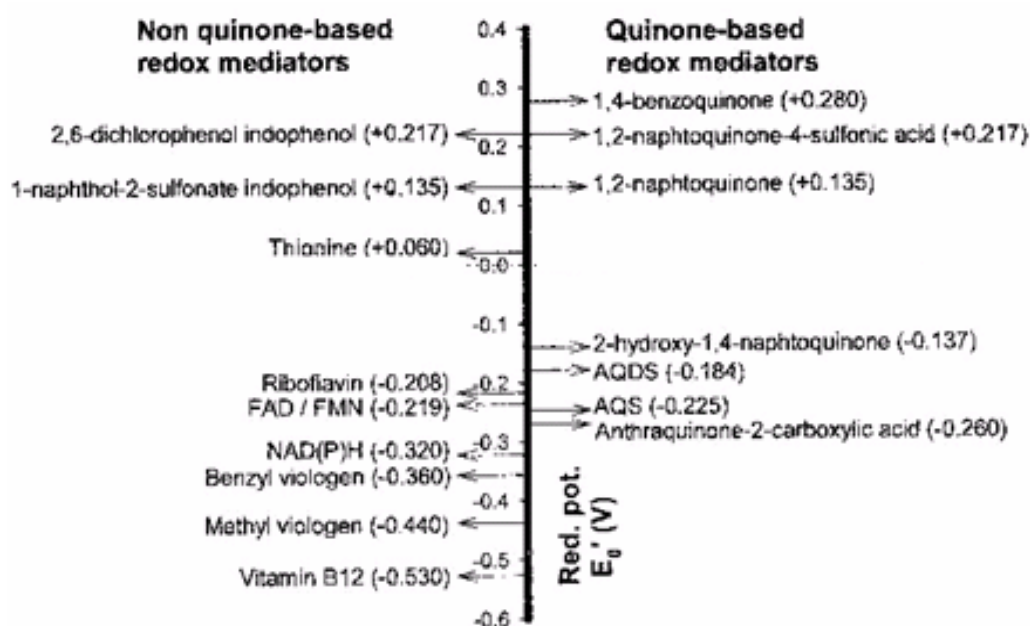


Figura 3.8: Valores de potencial de redução padrão (E_0') para mediadores redox quinônicos e não-quinônicos. Fonte: DOS SANTOS (2005c).

Além da temperatura e das interações eletroquímicas entre o corante e o mediador redox, outro fator determinante na taxa de transferência de elétrons é o potencial redox que prevalece no meio quando mediadores redox estão envolvidos. O potencial redox padrão (E_0') para a maioria dos corantes azo é desconhecido, mas sabe-se que encontra-se na faixa de -0,430V a -0,180V, (DOS SANTOS, 2005b).

Toxicidade dos Corantes Azo e a Geração de Produtos Intermediários

Um problema a ser enfrentado na remoção biológica da cor causada por efluentes têxteis seria a própria toxicidade causada pelo corante azo ou seus metabólitos. Estudos realizados por MENDEZ-PAZ *et al* (2005) mostraram que o corante azo *Mordant Orange 1* é muito mais tóxico para as arqueias metanogênicas que as aminas aromáticas geradas a partir da sua redução.

DOS SANTOS *et al* (2003) comparou seus resultados com os de dois outros pesquisadores que utilizaram o corante azo RR2 (*Reactive Red 2*) como modelo em seus estudos, e não observou efeitos tóxicos causados pelo corante azo RR2. Já VAN DER ZEE *et al* (2001) observou toxicidade no corante RR2, o que pode ser atribuído ao uso do corante RR2 não hidrolisado por este pesquisador, ao passo que DOS SANTOS *et al* (2003) utilizou a forma hidrolisada do corante RR2. Os efeitos tóxicos do corante RR2 também foram percebidos em outro trabalho em que se observou uma inibição da respiração microbiana devido à presença de cloro ou cromo nos grupos funcionais de tal corante (CHUNG & STEVENS, 1993 *apud* DOS SANTOS *et al* 2003).

No processo de descoloração anaeróbia a ligação azo (-N=N-), responsável pela cor do corante, é quebrada, resultando na produção de aminas, normalmente aromáticas e que exibem certa recalcitrância e toxicidade ao tratamento anaeróbio. Vale ressaltar que, como visto anteriormente, na presença de enzimas específicas chamadas de azo-redutases, algumas bactérias aeróbias também são capazes de reduzir compostos do tipo azo, produzindo também como subprodutos as aminas aromáticas (STOLZ, 2001). Desta forma, após o tratamento anaeróbio e talvez após o tratamento aeróbio (se houver a presença de bactéria que contém enzimas azo-redutases), as aminas aromáticas podem se acumular no meio, exceto as que têm grupos hidroxila e carboxila por serem menos recalcitrantes. Já no caso das aminas aromáticas com grupos sulfônicos suas características recalcitrantes são mais marcantes (MÉNDEZ-PAZ *et al.* 2005). Da mesma forma, o estudo de ISIK e SPONZA (2007) mostrou que os metabólitos (aminas aromáticas) do corante azo foram persistentes à degradação anaeróbia, mas apresentaram baixa toxicidade quando submetidas a longos períodos de incubação. Já MÉNDEZ-PAZ *et al.* (2005) observaram a rápida mineralização da amina aromática gerada a partir da quebra do corante *Acid Orange 7* quando exposta ao ar.

Como exposto, há a possibilidade de mineralização de aminas aromáticas sob longos períodos de incubação anaeróbia e sob condições aeróbias. Desta forma estudos sobre o uso de tecnologias combinadas como o tratamento anaeróbio, com unidades de pós-tratamento aeróbio, já foram desenvolvidas visando à remoção de corantes residuais e subprodutos indesejáveis, como as aminas aromáticas. Tais estudos mostram que a conjugação dos processos anaeróbios e aeróbios trazem bons resultados na degradação de corantes azo (ISIK e SPONZA, 2007).

Reatores UASB

A utilização da tecnologia de tratamento anaeróbio vem se difundido largamente no país, e diferentes instituições de ensino têm realizado trabalhos envolvendo reatores anaeróbios para o tratamento de efluentes líquido devido às seguintes vantagens: simplicidade operacional; fluxograma simplificado de tratamento; pouca dependência de fornecimento de energia, peças, equipamentos; produção de metano, um gás combustível de elevado teor calórico; possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator por vários meses; tolerância a elevadas cargas orgânicas; aplicabilidade em pequena e grande escala; e baixo consumo de nutrientes (CHERNICHARO, 2007).

Dentre os processos anaeróbios de tratamento, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) tem grande aceitação mundial, e no Brasil, aparecem como uma boa alternativa para o tratamento de efluentes líquidos de algumas indústrias. O reator UASB (Figura 3.9) é uma unidade de fluxo ascendente que possibilita o transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios.

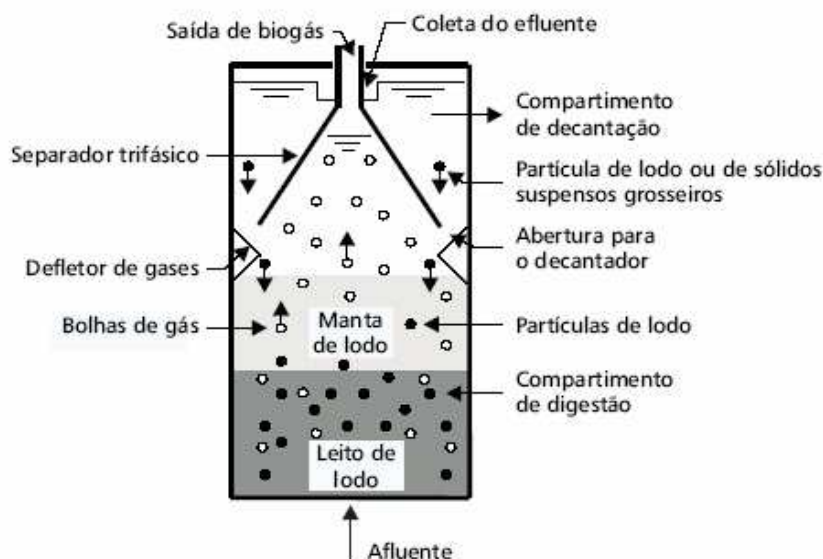


Figura 3.9 - Esquema de um reator UASB. Fonte: CHERNICHARO (1999).

Esse reator oferece condições para que uma grande quantidade de lodo biológico fique em seu interior em decorrência das características hidráulicas de escoamento e também da natureza desse lodo (OLIVA, 1997). O UASB não contém nenhum tipo de material suporte; ao invés disso, possui na parte superior um dispositivo destinado à sedimentação de sólidos e à separação das fases sólida/líquida/gasosa (separador trifásico). Esse dispositivo é de fundamental importância, pois é responsável pelo retorno de lodo e conseqüentemente pela garantia do alto tempo de detenção celular do processo (OLIVA, 1997).

Apesar da grande aceitação e de todas as vantagens inerentes aos reatores tipo UASB, permanece nestes, e de forma geral nos sistemas anaeróbios, uma grande dificuldade em produzir, isoladamente, um efluente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental do país, necessitando, portanto, de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes.

Outras tecnologias anaeróbias e processos combinados

Como já exposto anteriormente, métodos biológicos aeróbios são insuficientes no tratamento de efluentes têxteis. Uma pobre ou não remoção de cor são obtidos para a maioria dos corantes, especialmente os corantes do tipo azo por serem persistentes a esse tipo de tratamento. Já os processos anaeróbios e combinados anaeróbios/aeróbios têm se

mostrado efetivos na remoção de cor e carga orgânica nos efluentes têxteis (DOS SANTOS 2007; SOMASIRI *et al*, 2007; DOS SANTOS 2005a,b,c, 2003).

O pós-tratamento do efluente anaeróbio pode ser realizado de forma clássica usando reatores aeróbios, que sabidamente são pouco eficientes na remoção de cor, ou pelo uso de processos físico-químicos tais como oxidação química (molecular ou radicalar), adsorção e separação por membranas.

O tratamento biológico anaeróbio/aeróbio seguido de filtração com carvão ativado é um método efetivo para a remoção de matéria orgânica e cor em efluentes têxteis. O estudo de ORTIZ (2008) mostrou que a água tratada mediante este sistema apresentou uma remoção total de DQO de 92% (21% no processo anaeróbio e 79% no aeróbio), enquanto a remoção de cor foi de 97%. ORTIZ (2008) também observou, através de teste de toxicidade com *Vibrio Fischeri*, a formação das aminas aromáticas como metabólicos intermediários no efluente anaeróbio, ao passo que no efluente aeróbio a toxicidade se reduz e no efluente do carvão ativado não se detecta toxicidade alguma.

PÔRTO (2002) avaliou o emprego do sistema de lodos ativados em batelada com adição de carvão ativado em pó (LAB/CAP), para a redução de cor do efluente de uma indústria de beneficiamento têxtil, e comparou os resultados com o sistema convencional de lodos ativados em batelada (LAB). Os resultados mostraram que o efluente tratado do sistema LAB/CAP apresentou média de cor verdadeira cerca de 47% inferior ao efluente do sistema LAB.

Em outro trabalho, TUNUSSI e ALEM SOBRINHO (2003) mostraram que o sistema anaeróbio/aeróbio de uma planta piloto apresentou-se como uma boa alternativa tecnológica para a remoção de cor, matéria orgânica e nitrogênio amoniacal, quando comparado ao sistema de tratamento exclusivamente por lodos ativados. A fase anaeróbia era composta por um reator piloto do tipo UASB, que trabalhou com um TDH de 9,4h e a taxa de aplicação volumétrica de DQO variando de 1,3 a 4,6kg DQO/m³dia, na fase aeróbia o sistema de lodo ativado operou com idade de lodo de cerca de 25 dias. No referido trabalho observou-se que a redução da cor ocorreu principalmente na fase anaeróbia, onde passou de 700 a 2000 mg-Pt/L no afluente para 80 a 310 mg-Pt/L no efluente anaeróbio e para 17 a 79 mg-Pt/L no efluente final da planta piloto. A remoção de

DBO e DQO para a planta piloto foi bastante eficiente, apresentando médias superiores a 90% para a DQO e superiores a 95% para DBO.

O trabalho realizado por HERNÁNDEZ e CHÁVEZ (2008) investigou a degradação de corantes azo presentes nas águas residuárias de uma indústria têxtil por meio de uma seqüência de reatores anaeróbio/aeróbio em escala laboratorial. O sistema, que operou a uma vazão de 200L/d, consistia de um reator do tipo RBS (reator de biomassa submergida) seguido de um reator de lodos ativados. Os resultados obtidos mostraram elevada remoção de DQO e de cor, cujas eficiências médias foram de 84% (32% na fase anaeróbia e 72% na aeróbia) e 78%, respectivamente. Durante o trabalho constatou-se ainda que o efluente da etapa anaeróbia apresentava elevada toxicidade, já o efluente final, após a etapa aeróbia, não apresentou toxicidade.

Em um trabalho realizado no México, BRIONES (1997) operou em escala laboratorial e piloto dois reatores anaeróbios do tipo EGSB (Reator de Leito de Lodo Granular Expandido) com o propósito de avaliar se os mesmos seriam capazes de depurar efluentes têxteis. Para o reator operado no laboratório houve controle de temperatura (35 ± 2 °C) sendo que o TDH dos dois reatores foi de 1,5 dia. Os resultados obtidos para remoção de DQO e cor foram de, respectivamente, 61 e 44% para o reator de escala laboratorial, e de 41 e 44% para o reator em escala piloto. Tais resultados mostram que o reator operado com temperatura controlada (35 °C) resultou em maior eficiência de remoção de DQO, mas os reatores EGSB, tanto de escala laboratorial, quanto piloto, não atenderam as normas mexicanas que exigem remoção de no mínimo 81% de DQO.

O trabalho realizado por SOMASIRI *et al.* (2007) mostra a real influência da temperatura na eficiência de remoção de cor e DQO de sistemas anaeróbios operados sob condições controladas de temperatura. Neste trabalho, SOMASIRI *et al.* (2007) operou um reator UASB na temperatura de 35 °C tratando efluente têxtil preparado em laboratório. O efluente do UASB alcançou uma remoção final de cor em torno de 92% e de DQO em torno de 90%.

3.4 - Conclusões da revisão de literatura

Como visto neste capítulo a baixa biodegradabilidade dos efluentes têxteis se deve ao alto conteúdo de corantes não fixados durante as operações de tingimento, sendo assim a remoção de corantes se torna um desafio para pesquisadores que estudam processos de tratamento para efluentes têxteis. Dentre os diversos tipos de corantes comercializados no mundo os do tipo por azo representam cerca de 70% da produção mundial, além disso este tipo de corante costuma ser mais resistente aos tratamentos biológicos, por esses motivos são foco de diversas pesquisas.

Nos últimos anos, grandes progressos foram alcançados na área da biotecnologia ambiental aplicada à remoção de cor, no qual diferentes microrganismos como bactérias aeróbias, anaeróbias e fungos mostraram possuir tal propriedade. Tais estudos mostram que os microrganismos anaeróbios são mais eficientes na remoção de cor quando comparados aos aeróbios, uma vez que durante o tratamento aeróbio a presença do oxigênio dissolvido diminui a capacidade de redução do corante. Apesar disto a literatura mostra que algumas espécies de bactérias aeróbias contêm a enzimas azo-redutase capazes de utilizar os corantes azo como aceptores finais de elétrons resultando na quebra do grupo cromóforo e consequente remoção de cor, mas o grande desafio do uso de culturas puras no tratamento de efluentes têxteis é sua inabilidade em degradar diferentes tipos de corantes, criando obstáculos para sua adoção comercial

Por outro lado, sob condições anaeróbias, tais corantes são usualmente os únicos aceptores finais de elétrons, fazendo com que melhores eficiências de remoção sejam alcançadas. Dentre as diversas tecnologias anaeróbias destaca-se como mais utilizada hoje no Brasil os reatores UASB, isso se deve as vantagens operacionais deste reator, além do clima tropical que propicia seu uso. Contudo, um desafio associado ao tratamento no UASB, e de forma geral nas tecnologias anaeróbias que tratam corantes do tipo azo, seria a formação de aminas aromáticas que são recalcitrantes ao tratamento anaeróbio e sabidamente carcinogênicas. Dessa forma a literatura sugere a combinação do tratamento anaeróbio com unidades de pós-tratamento visando a remoção de corantes residuais e subprodutos indesejáveis.

Além da adoção do pós-tratamento, uma estratégia de ação para reduzir a cor dos efluentes têxteis seria atuar no sentido de se melhorar a eficiência de remoção de corantes na etapa

anaeróbia de tratamento. Nessa linha de ação, alguns grupos de pesquisa propõem o uso de mediadores redox para aumentar a cinética de degradação de corantes azo. Mediadores redox são compostos que melhoram a cinética de degradação anaeróbia por facilitar a transferência de elétrons do doador (matéria orgânica) para o aceptor (corante azo) no processo anaeróbio. Vitaminas como a riboflavina (Vitamina B2), o ácido nicotínico e outras substâncias como as quinonas podem funcionar como mediadores redox.

Dessa forma o presente trabalho objetivou investigar a possibilidade de uso do extrato de levedura (fonte de riboflavina e ácido nicotínico), que pode ser obtido comercialmente a baixo custo, para a degradação anaeróbia de corante azo Azul HF-RL em ensaios em batelada e contínuo.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Introdução

Na primeira parte do trabalho, ensaios em batelada foram realizados com três corantes puros comumente utilizados pela indústria têxtil, os ensaios objetivaram avaliar a influência de diversas variáveis (relação corante/microrganismo, concentração ideal de extrato de levedura e a presença de glicose e riboflavina no meio) na cinética de remoção de cor durante o tratamento anaeróbio. Nesta fase do trabalho, a eficiência do tratamento foi avaliada pela variação temporal da cor (absorbância), demanda química de oxigênio (DQO) e ácidos graxos voláteis (AGV).

Na segunda parte da pesquisa, um reator UASB em escala de bancada foi operado de forma contínua em condições pré-estabelecidas, durante oito fases operacionais, para se avaliar a eficiência do tratamento anaeróbio na remoção de cor e DQO durante a alimentação com o corante azo Drimaren Azul HF-RL, definido como corante- modelo durante os experimentos em batelada. Nesta fase também foram monitorados sólidos suspensos voláteis (SSV), pH, temperatura e ácidos graxos voláteis (AGV).

4.2 – Primeira etapa: ensaios em batelada

Como inóculo foi utilizado lodo anaeróbio proveniente de um reator UASB alimentado com esgoto sanitário e operado em escala de demonstração no Centro de Pesquisas e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG-COPASA, localizado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Arrudas, na cidade de Belo Horizonte, MG. A concentração de biomassa dentro dos frascos-reatores variou em função da relação corante/microrganismo (C/M), que foi mantida em 0,1 em todos os ensaios, com exceção do primeiro ensaio que avaliou a influência desse parâmetro.

Como meio basal foi utilizada solução contendo macro e micronutrientes, adaptada às condições operacionais adotadas e tiveram como base as sugestões de AQUINO *et al.* (2007) e AQUINO (2004) e a relação DQO:N:P mínima de 100:5:1, conforme

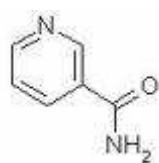
CHERNICHARO (2007). Todos os frascos-reactores continham solução nutricional nas concentrações apresentadas na Tabela 4.1, preparados para uma DQO de 5.000 mg/L.

Tabela 4.1 – Solução nutricional utilizada nos ensaios de degradação anaeróbia preparados para DQO de 5.000 mg/L.

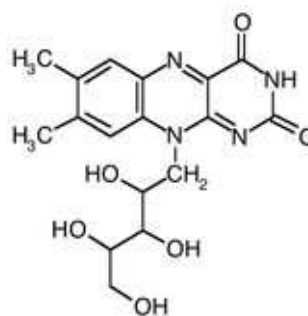
Macro Nutrientes	Concentração (mg/L)	Micro Nutrientes	Concentração (mg/L)
NH ₄ Cl	1.112,00	FeCl ₃ .6H ₂ O	5,00
(NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	132,5	ZnCl ₂	0,13
(NH ₄) ₂ HPO ₄	44,50	MnCl ₂ .4H ₂ O	1,25
MgCl ₂	250,00	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	1,60
CaCl ₂ .2H ₂ O	189,00	AlCl ₃ .6H ₂ O	0,13
NaHCO ₃	2.500,00	CoCl ₂ .6H ₂ O	5,00
-	-	NiCl ₂ .6H ₂ O	13,00
-	-	H ₃ BO ₃	3,00
-	-	CuCl ₂ .2H ₂ O	8,00
-	-	HCl	1ml/L

Inicialmente foram testados o corante não-azo Vermelho Sidercron VSRB, e os corantes azo Drimaren Azul HF-RL e Drimaren Azul Marinho CL-R, mas a maioria dos ensaios foi realizada com o corante azo Drimaren Azul HF-RL, em concentrações que variaram de 400mg/L a 4.000mg/L e na forma não hidrolisada. Em alguns ensaios utilizou-se, além do corante, a glicose como fonte de carbono (co-substrato) em concentração de 200mg/L ou 500mg/L, e extrato de levedura (da Biosystems, Marca Himedia) como fonte de mediadores redox.

O extrato de levedura foi utilizado em concentrações que variaram de 5mg/L a 500mg/L para avaliar o seu efeito na cinética de degradação dos corantes. O extrato de levedura usado apresenta em sua composição diversas vitaminas, entre elas destacam-se a riboflavina (Vitamina B2) e a niacina (Vitamina B3), que estão presentes em maior quantidade e tem o potencial de atuar como mediadores redox. A seguir seguem as estruturas químicas da niacina, também conhecida como ácido nicotínico ou vitamina PP, e da riboflavina (Figura 4.1).



a)



b)

Figura 4.1 – Estrutura química da niacina (a) e da riboflavina (b). Fonte: www.images.google.com.br

Não foi possível ter acesso às estruturas químicas dos corantes, mas as fichas técnicas fornecida pelas indústrias fabricantes mostraram que os corantes Drimarem Azul HF-RL e Azul Marinho CL-R são azo, e o corante Vermelho Sidercron VSRB não é azo. As fichas técnicas dos corantes, assim como a ficha de composição do extrato de levedura, estão apresentadas em anexo.

DOS SANTOS (2008, 2007, 2005a,b,c, 2003) utilizou em seu trabalho a riboflavina pura (Vitamina B2) como fonte de mediador redox obtendo bons resultados. No presente estudo, para fins de comparação com o extrato de levedura, em alguns ensaios utilizou-se riboflavina em concentrações que variaram de 0,025mg/L (concentração encontrada em 500mg/L de extrato de levedura) a 18,8mg/L (uma das concentrações utilizada por DOS SANTOS (2007, 2005a,b,c, 2003) em seus estudos).

A degradação abiótica do corante no sistema anaeróbio foi avaliada incubando-se frascos-reatores com corante e sem a presença de biomassa, ao passo que a remoção de cor por adsorção do corante à biomassa foi avaliada incubando-se frascos-reatores a 25 °C com lodo autoclavado a 121 °C por 20min.

Todos os ensaios em batelada foram realizados em frascos de vidro ambar de 250ml que foram devidamente vedados com tampas de borracha e lacre de alumínio. As condições anaeróbias foram estabelecidas por meio de purga do *headspace* com gás nitrogênio, sendo os frascos mantidos sob constante agitação (100rpm) e temperatura controlada (25 °C) em incubadora *shaker* (Figura 4.2a) por um período que variou de 7 a 11 dias, até a estabilização da remoção de cor. O pH foi monitorado e mantido dentro da faixa ideal (6,8

a 7,2) para o crescimento dos microrganismos anaeróbios (SPEECE, 1996) por meio da adição de 2.500mg/L de tampão bicarbonato (NaHCO_3) à solução nutricional (Tabela 4.1).



Figura 4.2 – Incubadora *shaker* utilizada nos ensaios e detalhe da coleta de amostra dos frascos-reatores (a) e detalhe do procedimento de coleta de amostras para análise (b).

Após a coleta diária (Figura 4.2b) de amostras, as mesmas eram centrifugadas por cerca de 15min a 5.000rpm para remoção de sólidos suspensos, sendo o sobrenadante resultante preparado para análise de cor, demanda química de oxigênio (DQO) e ácidos orgânicos (AGV). As análises foram realizadas segundo determinações estabelecidas no *Standard Methods* (APHA, 1998) ou adaptadas deste, os detalhes são apresentados no item 4.4.

A Tabela 4.2 mostra em detalhes os ensaios realizados e as diferentes condições operacionais impostas em cada conjunto de frascos-reatores. Todos os ensaios foram realizados em duplicata, separadamente, e todos os frascos-reatores continham a solução nutricional apresentada na Tabela 4.1. Além disso, durante todos os ensaios, com exceção do último, os frascos-reatores foram inoculados com o mesmo lodo que foi mantido sob constante refrigeração.

Conforme observado na Tabela 4.2, o primeiro ensaio avaliou a melhor relação corante/microrganismos (C/M), e o corante utilizado foi o azo Drimaren Azul Marinho CL-R ($\lambda_{\text{máx}} = 511\text{nm}$). Os resultados mostraram que a relação C/M= 0,1 seria a ideal, tal fato se deveu, aos melhores resultados alcançados nos frascos-reatores incubados nesta condição. Testou-se no segundo ensaio a relação C/M= 0,1 com três corantes modelos de grande utilização na indústria têxtil: Drimaren Azul HF-RL ($\lambda_{\text{máx}} = 600\text{nm}$), Vermelho Sidercron

VSRB ($\lambda_{\text{máx}}= 475\text{nm}$) e Drimaren Azul Marinho CL-R ($\lambda_{\text{máx}}= 511\text{nm}$), assumindo-se que tal relação seria também ideal para os outros corantes.

No terceiro ensaio, os parâmetros definidos anteriormente foram mantidos (C/M= 0,1 e o corante Drimaren Azul HF-RL). Para fixar a relação corante/ microrganismos C/M= 0,1, optou-se por fixar a concentração do corante utilizado em 0,4g/L e introduzir dentro dos frascos-reatores um volume também fixo de 0,02L de solução de corante. O volume de microrganismos introduzido em cada frasco reator dependia da concentração de microrganismos presente no lodo, que era definido através da análise prévia dos sólidos suspensos voláteis (SSV), fixando assim a relação corante/microrganismos em 0,1. Este procedimento foi realizado também nos ensaios seguintes.

O terceiro ensaio avaliou, além do comportamento de três concentrações de extrato de levedura, a contribuição da adsorção do corante ao lodo na remoção de cor, e isso foi feito incubando-se dois frascos com lodo autoclavado (biomassa inativa). Dois frascos-reatores com corante e na ausência de lodo também foram incubados para avaliar a degradação abiótica do corante, além de mais dois frascos-reatores denominados de “Azul HF-RL” que continham lodo fresco, corante e solução nutricional para fins de comparação de resultados (Tabela 4.2). Neste ensaio foram incubados dez frascos em duplicata, sendo que cinco duplicatas não continham glicose. Os frascos que não continham glicose permitiram avaliar a real influência do doador de elétrons externo (glicose) na remoção de cor.

Tabela 4.2 – Detalhamento dos ensaios em batelada.

Ensaios realizados		Biomassa não autoclavada (mg/L)	Biomassa autoclavada (mg/L)	Corantes (mg/L)			Glicose (mg/L)	Extrato levedura (mg/L)	Riboflavina (mg/L)	Objetivo
				Azul HF-RL	Azul Marinho CL-R	Vermelho VSRB				
1° Ensaio	C/M=0,1	36.700	-	-	3.670	-	-	-	-	Avaliar a influência da relação C/M sem fonte extra de carbono.
	C/M=0,25	14.680	-	-	3.670	-	-	-	-	
	C/M=0,5	7.340	-	-	3.670	-	-	-	-	
2° Ensaio	Azul HF-RL	41.410	-	4.141	-	-	-	-	-	Avaliar diferenças significativas entre os corantes
	Azul CL-R	41.410	-	-	4.141	-	-	-	-	
	Vermelho VSRB	41.410	-	-	-	4.141	-	-	-	
3° Ensaio	Azul HF-RL c/ glicose	24.440	-	400	-	-	200	-	-	Avaliar o comportamento de três concentrações de extrato de levedura e da glicose na degradação do corante azo Azul HF-RL.
	Azul HF-RL s/ glicose	24.440	-	400	-	-	-	-	-	
	Sem lodo	-	-	400	-	-	-	-	-	
	Lodo autoclavado	-	24.440	400	-	-	200	-	-	
	Extr. 0,005 s/ glicose	24.440	-	400	-	-	-	5	-	
	Extr. 0,05g/L s/glicose	24.440	-	400	-	-	-	50	-	
	Extr. 0,5g/L s/ glicose	24.440	-	400	-	-	-	500	-	
	Ex 0,005g/L c/ glicose	24.440	-	400	-	-	200	5	-	
	Extr 0,05g/L c/ glicose	24.440	-	400	-	-	200	50	-	
Extr. 0,5g/L c/ glicose	24.440	-	400	-	-	200	500	-		
4° Ensaio	Azul HF-RL	26.036	-	400	-	-	-	-	-	Avaliar o comportamento do extrato de levedura na degradação dos corantes azo e não azo
	Sem lodo Azul HF-RL	-	-	400	-	-	-	-	-	
	Lodo autoclavado	-	26.036	400	-	-	-	-	-	
	Extr 0,5g Azul HF-RL	26.036	-	400	-	-	-	500	-	
	Vermelho VSRB	26.036	-	-	-	-	400	-	-	

Tabela 4.2 – Detalhamento dos ensaios em batelada (continuação).

Ensaio	Ensaio realizados	Biomassa não autoclavada (mg/L)	Biomassa autoclavada (mg/L)	Corantes (mg/L)			Glicose (mg/L)	Extrato levedura (mg/L)	Riboflavina (mg/L)	Objetivo
				Azul HF-RL	Azul Marinho CL-R	Vermelho VSRB				
4° Ensaio	Sem lodo Vermelho	-	-	-	-	400	-	-	-	Avaliar o comportamento do extrato de levedura na degradação do corante azo Azul HF-RL e do corante não azo Vermelho VSRB.
	Lodo auto Vermelho	-	26.036	-	-	400	-	-	-	
	Extra 0,5g/L Vermelho	26.036	-	-	-	400	-	500	-	
5° Ensaio	Azul HF-RL	24.336	-	400	-	-	-	-	-	Avaliar a influência de três concentração de extrato de levedura e da glicose na degradação do corante azo Azul HF-RL.
	Lodo autoclavado	-	24.336	400	-	-	-	-	-	
	Sem lodo	-	-	400	-	-	-	-	-	
	Extrato 0,05g/L	24.336	-	400	-	-	-	5	-	
	Extrato 0,1g/L	24.336	-	400	-	-	-	100	-	
	Extrato 0,5g/L	24.336	-	400	-	-	-	500	-	
	Riboflavina	24.336	-	400	-	-	-	-	0,025	
6° Ensaio	Azul HF-RL	25.879	-	400	-	-	-	-	-	Avaliar três diferentes concentrações de riboflavina.
	Azul HF-RL c glicose	25.879	-	400	-	-	500	-	-	
	Sem lodo	-	-	400	-	-	-	-	-	
	Lodo autoclavado	-	25.879	400	-	-	-	-	-	
	Extrato 0,5g/L	25.879	-	400	-	-	-	500	-	
	Riboflavina 0,25mg/L	25.879	-	400	-	-	-	-	0,25	
	Riboflavina 2,5mg/L	25.879	-	400	-	-	-	-	2,5	
	Riboflavina 18,8mg/L	25.879	-	400	-	-	-	-	18,8	

O quarto ensaio avaliou o comportamento do extrato de levedura (500mg/L) na degradação de corante não-azo Vermelho Sidercron VSRB. Além disso, frascos-reatores denominados “sem lodo”, incubados sem a presença de biomassa, avaliaram a degradação da cor por processos abióticos (fotodegradação e/ou degradação pelos reagentes do meio nutricional). Frascos-reatores com lodo autoclavado também foram incubados para avaliar a contribuição da adsorção do corante ao lodo, além de dois frascos-controle contendo o corante Azul HFRL. Neste ensaio foram incubados ao todo 8 frascos-reatores em duplicata.

No quinto ensaio incubou-se frascos-reatores para três concentrações de extrato de levedura, além de frascos para controle, com biomassa inativa e sem a presença de biomassa. Esse ensaio também avaliou a ação da riboflavina (vitamina B2) pura como mediador redox. Para tanto, dois frascos-reatores foram incubados com concentração de riboflavina correspondente ao valor desta vitamina presente no extrato de levedura. Neste ensaio foram incubados ao todo 8 frascos-reatores em duplicata.

O sexto e último ensaio teve como objetivo avaliar três diferentes concentrações de riboflavina, portanto frascos-reatores foram incubados com concentração de riboflavina correspondente a dez e a cem vezes o valor desta vitamina presente no extrato de levedura, além de mais dois frascos-reatores incubados com a concentração de riboflavina utilizada por DOS SANTOS (2007, 2005a, b, c) em seus estudos. O ensaio avaliou ainda a contribuição da adsorção do corante ao lodo (“lodo autoclavado”), a degradação abiótica do corante (sem a presença de biomassa). Durante o sexto ensaio 8 frascos-reatores em duplicata foram incubados.

4.3 – Segunda etapa: ensaios com alimentação contínua

A segunda etapa do projeto contemplou a operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) em escala de bancada para avaliar a degradação do corante Azul HF-RL sob alimentação contínua na presença e ausência de mediador redox (extrato de levedura) e doador externo de elétrons (glicose). O reator UASB foi construído utilizando tubos e conexões de PVC, conforme apresentado na Figura 4.3. A Figura 4.4 mostra um desenho esquemático do reator UASB e a Figura 4.5a uma foto do reator em operação.

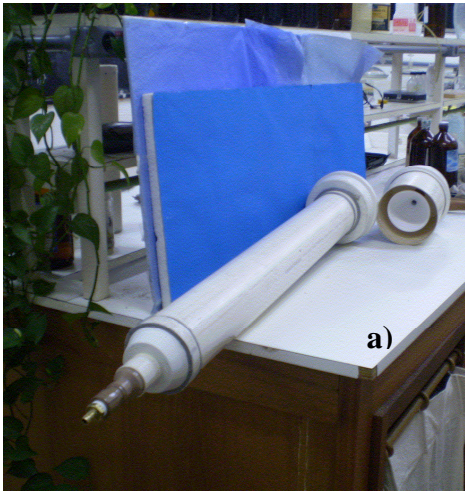
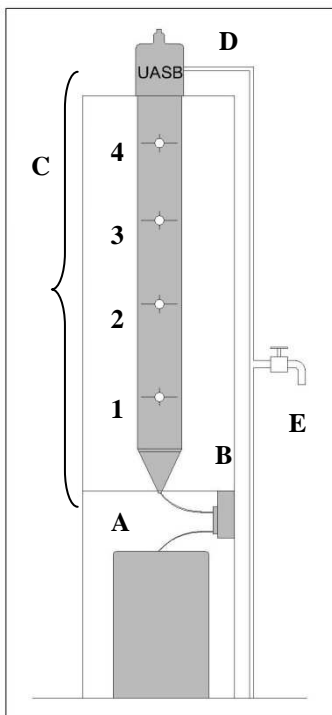


Figura 4.3 – Material utilizado na construção do reator UASB de bancada constituído pela câmara de digestão (a) e pelo separador trifásico na câmara de decantação (b).



Legenda:

A – afluente; **B** – bomba peristáltica;

C – reator UASB; **D** – saída de gás;

E – porta de coleta do efluente e

1, 2, 3 e 4 – portas de coleta.

Obs: a porta de coleta 1 é onde diariamente era feita a coleta de material para análise de pH e medição de temperatura.

Figura 4.4 - Representação esquemática do reator UASB utilizado.

O desenho esquemático da Figura 4.4 mostra que o reator era constituído por uma região de decantador e uma câmara de digestão. A câmara de digestão tinha 800mm de altura e 100mm de diâmetro, com volume útil de 6L; e o decantador (parte superior do reator) tinha 250mm de altura e 150mm de diâmetro, com volume útil de 2L; perfazendo um volume útil total de 8L. A câmara de digestão continha quatro torneiras, que eram equidistantes entre si, para coleta de amostras.



Figura 4.5 – Foto do reator UASB de bancada utilizado (a) e detalhe do sistema de alimentação do referido reator (b).

O tempo de detenção hidráulica (TDH) adotado foi de 19h, o que resultava em uma vazão de 0,42L/h. Vale ressaltar que durante todo o período de operação do reator, o mesmo foi mantido à temperatura ambiente, que foi devidamente monitorada para fins de correlação com os resultados de eficiência do sistema de tratamento. O biogás foi coletado em solução de NaOH, mas sua produção não foi monitorada.

Os parâmetros de projeto foram checados como em CHERNICHARO (2007). A carga hidráulica volumétrica média foi de $1,3 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ sendo que o valor limite aceitável para este parâmetro é de no máximo $5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$; a velocidade ascensional média foi de $0,0165 \text{ m/h}$, valor bem abaixo da faixa recomendada que é de $0,5$ a $0,7\text{m/h}$. Segundo CHERNICHARO (2007), tal faixa é impossível de ser atingida em reatores de pequena altura, como foi o caso do reator de bancada utilizado no trabalho.

O sistema de alimentação consistia de um recipiente plástico de 20L (Figura 4.5b) que era abastecido em cerca de 30% de seu volume útil duas vezes ao dia. Este procedimento era realizado a fim de minimizar a degradação do substrato antes da sua entrada no reator. O

afluente era introduzido no reator por meio de uma bomba peristáltica modelo Dosa Mini 400, marca HD – Hidraulic Ltda na vazão estipulada para manutenção do TDH desejado.

Da mesma forma que os frascos-reatores de batelada, o reator UASB de bancada foi inoculado com lodo anaeróbio proveniente de um reator UASB alimentado com esgoto sanitário e operado em escala de demonstração no Centro de Pesquisas e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG-COPASA, localizado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Arrudas, na cidade de Belo Horizonte, MG. O volume de lodo inoculado foi de 2,0L, correspondente a aproximadamente 25% do volume útil do reator e foi adicionado ao reator de forma contínua durante o período de 3 horas.

A alimentação consistia de uma solução contendo macro- e micronutrientes (Tabela 4.1) e o corante azo não hidrolisado, Drimaren Azul HF-RL na concentração fixa de 50mg/L, com exceção das fases em que o reator foi alimentado apenas com glicose. A glicose foi utilizada durante as etapas de estabilização do reator, e também como potencial co-substrato, em concentrações que variavam de 350 a 500mg/L.

Decidiu-se por fixar a concentração do corante, Drimaren Azul HF-RL, em 50mg/L em função dos resultados obtidos através de análise de cor (varredura de 190 a 750 nm) de uma amostra de efluente, coletada no tanque de equalização de uma indústria têxtil. A análise de cor, foi realizada no comprimento de onda máximo do corante azo Drimaren Azul HF-RL, e com base em tal valor, foi possível estimar a concentração deste corante no efluente da indústria, no caso ~50mg/L.

Vale salientar que a solução nutricional apresentada na Tabela 4.1 era para DQO de 5.000 mg/L e, como na operação contínua a DQO de alimentação variou de 200 a 1.000 mg/L (dependendo da fase de operação), fez-se as devidas correções na concentração dos macro- e micronutrientes. Como pode ser observado na Tabela 4.4, durante algumas fases o extrato de levedura também foi adicionado à alimentação em concentrações de 100 e 500mg/L, a fim de avaliar sua influência na cinética de degradação do corante azo Azul HF-RL.

Durante o período de monitoramento foram realizadas as análises para determinação dos parâmetros físico-químicos do afluente e efluente, bem como do teor de sólidos suspensos

voláteis (SSV) ao longo da câmara de digestão do UASB como mostrado na Tabela 4.3. As análises foram realizadas segundo determinações estabelecidas no *Standard Methods* (APHA, 1998) ou adaptadas deste, os detalhes são apresentados no item 4.4.

Tabela 4.3 – Estratégia utilizada para monitoramento do reator UASB.

Parâmetros	Frequência de amostragem			
	Unidade	Afluente	Reator	Efluente
Temperatura	°C	5 x semana	5 x semana	2 a 3 x semana
pH	-	5 x semana	5 x semana	2 a 3 x semana
Cor	-	5 x semana	-	5 x semana
DQO	mg/L	5 x semana	-	5 x semana
SSV	mg/L	-	quinzenal	1 x semana
AGV	mg/L	-	-	5 x semana

Durante as fases de operação do reator UASB de bancada realizou-se um controle da massa de sólidos presentes no seu interior (massa microbiana). Este controle foi realizado através da análise dos sólidos suspensos voláteis (SSV) sempre no início e término de cada fase. O procedimento consistia na coleta do material na primeira e segunda torneiras do reator, nos pontos 1 e 2 da câmara de digestão (Figura 4.5a), sendo os resultados de SSV nestes pontos multiplicado pelo volume de influência correspondente a cada ponto de coleta (cada torneira) da câmara de digestão do UASB. As coletas eram realizadas apenas nos pontos 1 e 2 por serem estes os pontos onde se concentrava o lodo do reator. Por meio deste procedimento pode-se acompanhar o desenvolvimento microbiano no UASB durante todas as fases de operação. Vale ressaltar, que tal procedimento não teve a pretensão de avaliar com exatidão a concentração de biomassa presente no interior do reator, mas sim, estimar sua concentração.

A Tabela 4.4 mostra as fases operacionais utilizadas, as diferentes condições operacionais impostas, e descreve sucintamente o objetivo de cada fase operacional. A mudança de fase ocorria quando os valores de DQO do efluente não apresentavam variações expressivas, no entanto, não se pode afirmar que a população microbiana se encontrava adaptada à nova condição de alimentação.

Tabela 4.4 - Descrição das fases de operação do reator UASB.

FASES OPERACIONAIS	VARIÁVEIS					
	Tempo de operação (d)	Glicose (mg/L)	Corante Azul HF-RL (mg/L)	Extrato de Levedura (mg/L)	DQO _{afu} medida (mg/L)	Objetivo
1°	10	500	-	-	593±54	Estabilização do reator.
2°	14	450	50	-	562±68	Avaliar a remoção de cor e DQO na ausência de extrato de levedura e presença de glicose.
3°	13	350	50	100	567±242	Avaliar a influência do extrato de levedura na remoção de cor e DQO.
4°	14	-	50	100	122±61	Investigar a eficácia da remoção de cor e DQO sem a presença da glicose atuando como doador de elétrons.
5°	14	350	50	500	933±131	Avaliar a influencia da concentração do extrato de levedura.
6°	17	500	-	-	581±34	Idem 1° Fase.
7°	15	450	50	-	572±12	Idem 2° Fase.
8°	13	-	50	500	544±42	Avaliar a remoção de cor com extrato de levedura e na ausência de glicose.

4.4 - Caracterização físico-química de amostras

O monitoramento da cor foi realizado em espectrofotômetro 600 Plus da FEMTO no comprimento de onda de máxima absorvância ($\lambda_{\text{máx}}$) dos corantes-modelo utilizados: Drimaren Azul HF-RL no $\lambda_{\text{máx}}$ de 600nm; Vermelho Sidercron VSRB no $\lambda_{\text{máx}}$ de 475nm; e Drimaren Azul Marinho CL-R no $\lambda_{\text{máx}}$ de 511nm.

A análise de pH foi realizada de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods* (APHA, 1998), e as análises de DQO e SSVs, adaptadas dos procedimentos descritos no *Standard Methods* (APHA, 1998).

Para análise de DQO e cor, as amostras eram previamente centrifugadas a 5.000 rpm durante 15 minutos para a remoção de sólidos suspensos. Após a centrifugação o sobrenadante era separado para análises. Dessa forma, a análise de cor e DQO reportadas nesse trabalho referem-se à DQO e cor centrifugadas.

Os procedimentos para análise de SSV (sólidos suspensos voláteis) eram similares aos realizados para análise de DQO e cor, no caso da análise dos sólidos, após a centrifugação o sobrenadante era descartado, ou separado para análise de DQO e cor. O pellet era resuspenso com água destilada, e o material era vertido em cadinho com peso previamente estabilizado, as análises de SSV eram realizadas em triplicata. Os cadinhos eram mantidos em estufa por 24h a temperatura de 100 °C, após este tempo, os mesmos eram enviados para dessecadores onde eram mantidos por cerca de 30min até atingirem a temperatura ambiente, após este período, os mesmos eram pesados e enviados a mufla, onde permaneciam por 1h a temperatura de 600 °C. Após este período o material era novamente pesado (após atingir a temperatura ambiente), e por diferença de peso, era possível obter a concentração dos SSV presentes naquele efluente. Da mesma forma que a DQO e a cor, os sólidos suspensos voláteis (SSV) reportados neste trabalho se referem à SSV centrifugados. A análise da concentração da massa microbiana presente no reator foi realizada da maneira descrita acima, mas o material coletado para a análise ao invés de ser o efluente do reator, era o lodo, coletado nas duas primeiras torneiras do reator, como exposto anteriormente.

Para análise dos ácidos graxos voláteis (AGV), intermediários da digestão anaeróbia, foi utilizada uma coluna de troca iônica *Aminex HPX-874* da *Bio-Rad*, conectada a um cromatógrafo da HP (*Hewlett Packard*), série 1050, com detector UV-Vis (ultravioleta-visível) no comprimento de onda (λ) de 210 nm. A fase móvel (H_2SO_4 0,01 M) foi mantida em regime isocrático (0,6 ml/min), a coluna foi mantida à temperatura de 55 °C e o volume de injeção empregado foi o de 10 μL . A quantificação dos AGVs foi feita por padronização externa com curva de calibração na faixa de 12,5mg/L a 400mg/L, tendo sido analisados os ácidos fórmico, acético, propiônico, isobutírico, butírico, isovalérico e valérico, conforme detalhes apresentados em MESQUITA (2009) que fez a devida validação do método de análise.

O limite de detecção (LD) corresponde à menor quantidade de um analito que pode ser detectada, porém não necessariamente quantificada como um valor exato. Na prática, o LD é determinado como a menor concentração do analito que pode ser diferenciada do ruído do sistema com segurança. Um procedimento comum é aceitar como LD a concentração do analito que produz um sinal três vezes maior que o ruído do sistema (LANÇAS, 2004). Para determinação do LD da mistura de AGVs, foram injetadas amostras-padrão preparadas em diferentes concentrações. Os relatórios gerados foram programados para especificarem a relação sinal/ruído da análise. Com base nestes resultados, padrões de concentrações mais diluídas foram sendo preparados até ser atingido o valor sinal/ruído aproximado de 3.

O limite de quantificação (LQ) corresponde à menor quantidade de um analito que pode ser quantificada com exatidão e com uma fidelidade determinada. Na prática, pode também ser definida em relação ao ruído empregando-se o branco como referência; valores ao redor de $10 \times s$ (sendo s o desvio-padrão do sinal gerado empregando-se um branco) são comumente aceitos (LANÇAS, 2004). Portanto, a escolha do LQ pode ser feita como 10 vezes o ruído ou aproximadamente 3 vezes o LD. Para a determinação do LQ da mistura de AGVs, foram injetadas amostras-padrão preparadas em diferentes concentrações. Os relatórios gerados foram programados para especificarem a relação sinal/ruído da análise. Com base nestes resultados, padrões de concentrações mais diluídas foram sendo preparados até ser atingido o valor sinal/ruído aproximado de 10.

Vale ressaltar que a avaliação de LD e LQ foi feita para a mistura de ácidos, uma vez que as calibrações das amostras reais seriam feitas sempre com os padrões de mistura. Como o pico do ácido valérico era sempre o menos intenso, apresentando LD de 12,5mg/L e LQ de 25mg/L, ele foi usado como parâmetro para a escolha destes limites (por apresentar a pior condição). Portanto, o estabelecimento destes limites para este ácido garante a detecção e quantificação de todos os demais.

Amostras foram coletadas para análise cromatográfica (detecção e quantificação de AGVs) durante o quarto, quinto e sexto ensaios em batelada (primeira etapa) e durante todas as fases de operação do reator UASB de bancada (segunda etapa). O procedimento para o preparo das amostras para análise consistia na coleta do material, no caso dos ensaios em batelada o material era coletado dos frascos-reatores, e na segunda etapa do trabalho (operação do UASB), o material coletado era o efluente do reator. Após a coleta o material era filtrado e introduzidos em vials de vidro, os vials eram devidamente identificados e armazenados em congelador para posterior análise cromatográfica.

Os dados obtidos foram convertidos em DQO através da equação 4.4.1:

$$DQO_{AGVs} = 0,35.ác.fórmico + 1,07.ác.acético + 1,51.ác.propiônico + 1,81.(ác.butírico + ác.isobutírico) + 2,04. \left(\begin{matrix} ác.valérico + \\ ác.isovalérico \end{matrix} \right) \quad (4.4.1)$$

As Tabelas e Figuras apresentadas no Capítulo 5 fazem referência a DQO centrifugada (DQO), e à DQO_{AGV}, proveniente dos AGVs. Subtraindo-se a DQO_{AGV} da DQO tem-se a DQO_{não AGV} (equação 4.4.2), que seria a matéria orgânica causadora da DQO proveniente do substrato não degradado somado aos produtos microbianos solúveis (SMP) acumulados no meio. Quando a relação DQO_{AGV}/ DQO ≥ 0,5 tem-se um indicativo de estresse no meio (AQUINO, 2004).

$$DQO_{n\grave{a}o\ AGV} = DQO - DQO_{AGV} \quad (4.4.2)$$

4.5 – Análises da cinética de degradação e da estatística dos dados

Foi realizado um estudo dos resultados cinéticos de degradação obtidos para todos os ensaios em batelada (primeira etapa), tentando o ajuste dos dados aos modelos de ordem zero, um e dois.

A equação 4.5.1 representa a relação matemática entre a absorvância no tempo 't' e o tempo de reação (t), considerando-se uma cinética de degradação de primeira ordem.

$$A_t = A_o \cdot e^{-k \cdot t} \quad (4.5.1)$$

No caso da cinética de degradação de segunda ordem, a equação 4.5.2 representa a relação matemática entre a absorvância e o tempo de reação.

$$1/A_t = 1/A_o + kt \quad (4.5.2)$$

Dessa forma, foram feitos gráficos da variação temporal de $\ln(A_t/A_o)$ para os dados que seguiam uma cinética de degradação de primeira-ordem, e gráficos da variação temporal de $(1/A_t) - (1/A_o)$ para os dados que seguiam uma cinética de degradação de segunda-ordem. Nas equações apresentadas anteriormente A_t é a absorvância no tempo "t", A_o é a absorvância no tempo $t = 0$, "k" é a constante de degradação (dia^{-1}) e "t" é o tempo de reação (dia).

Na etapa contínua (reator UASB), inicialmente foi realizada a estatística descritiva dos resultados das diferentes fases operacionais, onde foram analisados os parâmetros absorvância, para remoção de cor, e DQO. Os dados são apresentados em forma de tabelas no Capítulo 5.

Para verificação de diferenças significativas entre os resultados dos parâmetros absorvância para remoção de cor e DQO (resultados das fases de operação do UASB), foram realizados testes de variância contando com o auxílio da ferramenta computacional *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 16.0. Através dos testes foi possível analisar a variância entre a eficiência média alcançada nas diferentes fases operacionais do UASB.

Foram aplicados dois testes: o paramétrico, aplicado em amostras que seguem uma distribuição normal; e o não-paramétrico, aplicado em amostras que seguem uma distribuição qualquer, porém este com a desvantagem de ser muito conservador. Para saber se os dados seguiam uma distribuição normal (paramétrico) ou qualquer outra distribuição (não-paramétrico), utilizou-se o teste de Anderson Darling onde os resultados foram avaliados a partir do número p-valor (nível de significância ou probabilidade de significância). Quando o valor de p é maior que 0,05 ($p > 0,05$), significa que os dados seguem uma distribuição normal, ou seja “aceita-se a hipótese nula”, mas se o valor de p for menor que 0,05 ($p < 0,05$) “rejeita-se a hipótese nula”, neste caso a análise dos dados são realizadas através de testes não-paramétricos.

O teste paramétrico empregado foi o ANOVA (Teste de Variância Paramétrica) e o não paramétrico foi o Kruskal-Wallis ANOVA. Quando os resultados obtidos nestes testes apresentam nível de significância igual ou menor que 5% (nível de confiança de 95%), significa dizer que os resultados se diferem um do outro em pelo menos um ponto. A partir daí foram empregados testes de comparações múltiplas (os resultados são comparados dois a dois). Estes testes permitem comparações simultâneas entre todos os resultados obtidos e verificação de que fases apresentam resultados diferenciados. Para efetuar a comparação entre todos os pares possíveis o teste paramétrico de Tukey (teste “*post hoc*”) foi aplicado após o ANOVA e nos dados que não seguiam uma distribuição normal (não paramétrico) foi aplicado o teste Mann-Whitney após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis ANOVA.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como exposto no Capítulo 4 o trabalho de pesquisa foi dividido em duas etapas, durante a primeira etapa foram realizados ensaios em batelada e durante a segunda etapa da pesquisa um reator UASB em escala de bancada foi operado continuamente. Neste capítulo serão apresentados e simultaneamente discutidos os resultados obtidos durante a primeira e a segunda etapa do trabalho.

5.1 – Primeira etapa: ensaios em batelada

A Tabela 5.1, apresentada nas páginas seguintes, resume as eficiências quanto à remoção de cor obtidas durante os diferentes ensaios de batelada executados. Já a Tabela 5.2 resume os resultados dos estudos cinéticos de degradação obtidos para todos os ensaios, tentando o ajuste dos dados aos modelos de ordem zero, um e dois. Os resultados mostraram que o modelo de ordem zero não pôde descrever a cinética de degradação e, por isso, os dados não são nem apresentados. Para a maioria dos ensaios, os dados tenderam a se ajustar à cinética de degradação de segunda-ordem, mas houve casos em que os dados se ajustaram melhor à cinética de primeira-ordem. Nestes casos de cinética de primeira ordem a taxa de consumo de substrato, no caso o corante, depende apenas da sua concentração, o que significa dizer que se, por exemplo, a concentração de corante no meio for dobrada a reação acontecerá duas vezes mais rápida. No caso da cinética de segunda-ordem, se a concentração de corante no meio for dobrada a reação acontecerá quatro vezes mais rápida. Outra possibilidade para a cinética de segunda-ordem é que a velocidade da reação dependa não só da concentração do corante, mas também da concentração de outra espécie (Ex. mediador redox, biomassa) no meio.

A Tabela 5.2 apresenta ainda a descrição dos valores de R^2 (coeficiente de regressão linear), dos valores de inclinação da reta k (constante de degradação), obtidos graficamente, e a descrição do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados. Percebe-se que parte dos dados o ajuste não foi o ideal, com valores de R^2 menores que 0,9 ressaltando que outros modelos cinéticos (Ex. pseudo-primeira ordem; pseudo-segunda ordem) devam ser testados.

A análise cinética foi realizada com o intuito de verificar se havia algum padrão entre os ensaios (Ex. a presença de mediador redox resultaria em cinética de 2ª ordem) que pudesse auxiliar na interpretação do fenômeno de remoção de cor durante a degradação anaeróbia. Infelizmente os dados da Tabela 5.2 não permitem derivar tendências ou conclusões a esse respeito. As relações matemáticas utilizadas para determinação das cinéticas estão apresentadas no item 4.5 do Capítulo 4.

Os resultados apresentados na Tabela 5.1 e 5.2 são discutidos ao longo do desenvolvimento deste item, quando os ensaios realizados (primeiro ao sexto) são discutidos individualmente.

Tabela 5.1. - Resumo da eficiência de remoção de cor obtida nas diferentes condições de incubação.

Frascos-reatores incubados em duplicata	Absorbância inicial	Absorbância 24h	Absorbância final	Eficiência 24h (%)	Eficiência final (%)	Ensaio
C/M=0,1	0,156	0,129	0,090	17	43	1°
C/M=0,25	0,169	0,141	0,145	17	14	1°
C/M=0,5	0,185	0,140	0,157	25	15	1°
Azul HF-RL	1,328	1,356	0,374	0	72	2°
Azul CL-R	1,923	1,846	1,020	4	47	2°
Vermelho VSRB	1,503	1,554	0,337	0	78	2°
Azul HF-RL c/ glucose	0,536	0,326	0,046	39	91	3°
Azul HF-RL s/ glucose	0,543	0,296	0,040	45	93	3°
Sem lodo com glucose	0,600	0,638	0,598	0	0	3°
Lodo autocl. c/ glucose	0,608	0,596	0,126	2	79	3°
Extra 0,005g/L s/ glucose	0,532	0,402	0,068	24	87	3°
Extra 0,05g/L s/ glucose	0,537	0,228	0,065	58	88	3°
Extrato 0,5g/L s/ glucose	0,540	0,123	0,069	77	87	3°
Extr 0,005g/L c/ glucose	0,550	0,300	0,059	45	89	3°
Extra 0,05g/L c/ glucose	0,550	0,219	0,057	60	90	3°
Extrato 0,5g/L c/ glucose	0,519	0,167	0,071	68	86	3°
Azul HF-RL	0,561	0,634	0,026	0	95	4°
Sem lodo Azul HF-RL	0,599	0,589	0,559	2	7	4°
Lodo auto Azul HF-RL	0,673	0,689	0,152	0	77	4°
Extr 0,5g/L Azul HF-RL	0,630	0,154	0,084	76	87	4°

Tabela 5.1. - Resumo da eficiência de remoção de cor obtida nas diferentes condições de incubação (continuação).

Frascos-reatores incubados em duplicata	Absorbância inicial	Absorbância 24h	Absorbância final	Eficiência 24h (%)	Eficiência final (%)	Ensaio
Vermelho VSRB	0,539	0,521	0,279	3	48	4°
Sem lodo vermelho	0,567	0,588	0,357	0	37	4°
Lodo autoclavado Vermelho	0,707	0,696	0,330	2	53	4°
Extrato 0,5g/L Vermelho	0,531	0,327	0,060	38	89	4°
Azul HF-RL	0,607	0,546	0,089	10	85	5°
Lodo autoclavado	0,712	0,663	0,186	7	74	5°
Sem lodo	0,577	0,594	0,556	0	4	5°
Extrato 0,05g/L	0,629	0,442	0,151	30	76	5°
Extrato 0,1g/L	0,589	0,178	0,074	70	88	5°
Extrato 0,5g/L	0,672	0,091	0,050	87	93	5°
Riboflavina	0,637	0,526	0,067	17	90	5°
Azul HF-RL	0,631	0,575	0,533	9	16	6°
Azul HF-RL com glicose	0,665	0,499	0,049	25	93	6°
Sem lodo	0,654	0,578	0,571	12	13	6°
Lodo autoclavado	0,757	0,644	0,635	15	16	6°
Extrato 0,5g/L	0,658	0,212	0,055	68	92	6°
Riboflavina 0,00025g/L	0,638	0,570	0,520	11	18	6°
Riboflavina 0,0025g/L	0,727	0,603	0,298	17	59	6°
Riboflavina 0,0188g/L	0,579	0,481	0,203	17	65	6°

Tabela 5.2. - Determinação da constante (k), coeficiente de ajuste (R^2) e a classificação quanto à ordem da cinética de degradação que resultou em melhor ajuste.

Ensaio	Cinética de degradação			
	Frascos-reatores	k (d ⁻¹)	R ²	Ordem com melhor ajuste
1°	C/M=0,1	0,755	0,962	2°
	C/M=0,25	0,245	0,928	2°
	C/M=0,5	0,158	0,845	2°
2°	Vermelho VSRB	0,168	0,863	2°
	Azul HF-RL	0,168	0,899	2°
	Azul Marinho CL-R	0,042	0,827	2°
3°	Azul HF-RL sem glicose	0,362	0,919	1°
	Azul HF-RL c/ glicose	0,359	0,926	1°
	Lodo Autoclavado Azul HF-RL	0,241	0,916	1°
	Extrato. 0,5g/L c/ glicose	1,422	0,866	2°
	Extrato 0,05g/L c/ glicose	1,973	0,846	2°
	Extrato 0,005g/L c/ glicose	2,506	0,876	2°
	Extrato 0,5g/L sem glicose.	1,461	0,821	2°
	Extrato 0,05g/L sem glicose.	1,760	0,788	2°
	Extrato 0,005g/L sem glicose	2,188	0,899	2°
4°	Azul HF-RL extrato 0,5g/L	2,208	0,790	2°
	Vermelho c/ extrato 0,5g/L	2,817	0,877	2°
5°	Extrato 0,5g/L	1,709	0,560	2°
	Extrato 0,1g/L	1,366	0,643	2°
	Extrato 0,05g/L	0,305	0,977	1°
	Riboflavina	0,289	0,988	1°
	Azul HF-RL	0,241	0,964	1°
6°	Extrato 0,5g/L	2,059	0,981	2°
	Riboflavina 0,00025g/L	0,035	0,696	2°
	Riboflavina 0,0025g/L	0,234	0,989	2°
	Riboflavina 0,0188g/L	0,395	0,990	2°
	Glicose	0,400	0,931	1°
	Azul HF-RL	0,030	0,838	2°

Obs: Alguns frascos-reatores incubados com lodo autoclavado e os sem a presença de lodo ou corante não foram listados na tabela acima por apresentarem valores de R^2 muito pequenos.

Como visto no capítulo anterior, o primeiro e segundo ensaios permitiram definir para os ensaios posteriores a melhor relação corante/microorganismo (C/M); a melhor concentração de corante; e possibilitaram avaliar as diferenças nas eficiências de degradação entre três corantes de uso corrente na indústria têxtil.

Os resultados do primeiro ensaio realizado com o corante azo Drimaren Azul Marinho CR-L indicaram, ainda, que a relação $C/M = 0,1$ seria a ideal para realização dos ensaios seguintes, uma vez que os frascos-reatores incubados nesta condição alcançaram remoção final de cor três vezes maior que os frascos-reatores incubados seguindo as relações $C/M = 0,25$ e $0,5$ (Tabela 5.1 e Figura 5.1). A Tabela 5.2, mostra que os frascos-reatores incubados na condição $C/M = 0,1$ apresentaram uma cinética de degradação mais acelerada quando comparados aos frascos-reatores incubados nas outras condições, pois apresenta valor de “k” maior, indicando que a degradação ocorreu mais rapidamente nestes frascos-reatores.

Considerando que tal relação ($C/M=0,1$) também seria a ideal para os outros dois corantes utilizados no trabalho; no segundo ensaio analisou-se três corantes distintos: Drimaren Azul HF-RL, Vermelho Sidercron VSRB e novamente o Drimaren Azul Marinho CL-R, com a relação C/M fixa em $0,1$. Os resultados apresentados na Figura 5.2 e na Tabela 5.1 mostraram uma maior eficiência de degradação do corante não azo Vermelho Sidercron VSRB (78%) seguido pelos azos Drimaren Azul HF-RL (72%) e o Drimaren Azul Marinho CL-R (47%). Como o corante que obteve a maior eficiência de degradação de cor não era do tipo azo (Vermelho Sidercron VSRB), optou-se por utilizar como corante modelo da pesquisa o corante azo Drimaren Azul HF-RL. Mas, estudos realizados posteriormente sobre as cinéticas de degradação dos corantes (Tabela 5.2), mostram valores de “k” idênticos para o corante Vermelho Sidercron VSRB e para o corante azo Drimaren Azul HF-RL, indicando que a velocidade de degradação dos dois corantes foi a mesma.

Durante estes dois primeiros ensaios nenhuma fonte extra de carbono orgânico esteve presente no meio, e o objetivo foi avaliar a real necessidade de adição de um doador externo de elétrons. Os resultados apresentados nas Figuras 5.1 e 5.2 mostram que mesmo sem a presença de uma fonte extra de carbono houve remoção de cor, abrindo a possibilidade de os corantes terem atuado simultaneamente como aceptores e doadores de

elétrons; não podendo ser descartada ainda a hipótese de que a lise celular tenha liberado compostos microbianos solúveis (SMP) biodegradáveis que foram utilizados como fonte de carbono.

Os resultados do primeiro ensaio, particularmente, mostram que a maior eficiência de remoção ao final do ensaio foi obtida quando a relação corante/microrganismo era a menor (C/M = 0,1), e isso pode indicar que a maior quantidade de microrganismos pode ter resultado em maior lise celular (devido à ausência de outra fonte de carbono e energia que não o corante) o que levou ao fornecimento de substrato (doador de elétrons) para a redução do corante.

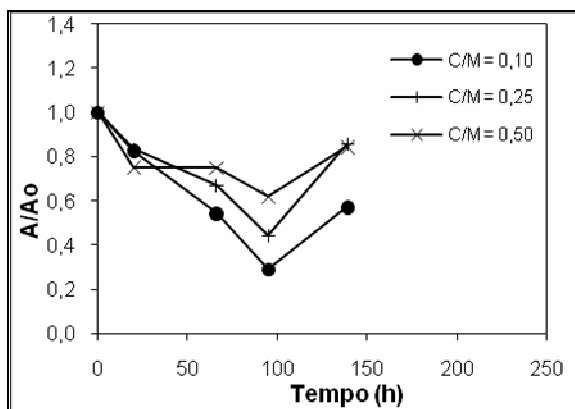


Figura 5.1 – Variação temporal da absorbância durante primeiro ensaio com o corante Azul marinho CL-R.

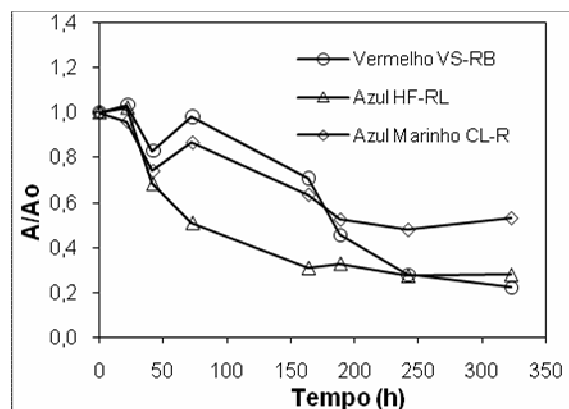


Figura 5.2 – Variação temporal da absorbância durante segundo ensaio com a relação C/M fixa em 0,1.

No terceiro ensaio metade dos frascos-reatores foram incubados com glicose e corante modelo Drimaren Azul HF-RL, os outros frascos-reatores foram incubados sem a presença da glicose, como apresentado em detalhes na Tabela 4.2 do Capítulo 4. Os resultados do terceiro ensaio mostram que os frascos-reatores incubados com glicose (0,2g/L), não resultaram em melhoria da cinética de remoção de cor (Figura 5.3) se comparados aos frascos-reatores incubados sem a presença da glicose (Figura 5.4), o que pode ser observado também na Tabela 5.2 que mostra valores de “k” muito parecidos para os frascos-reatores incubados com e sem a presença de glicose. No trabalho de DOS SANTOS (2007, 2005a), excelentes resultados foram alcançados com o uso da glicose como doador de elétrons, mas a concentração utilizada por ele era de 1,5gDQO/L, ou seja, cerca de sete vezes a utilizada neste ensaio.

Este resultado também pode ser observado na Tabela 5.1, que mostra eficiências de degradação de cor semelhantes entre os frascos-reatores incubados com extrato de levedura, com e sem a presença de glicose. A Tabela 5.1 mostra ainda que a concentração de extrato de levedura de 0,5g/L resultou em maior eficiência de degradação, promovendo 77% de descoloração do sobrenadante nas primeiras 24h de incubação, valor que superou os 68% observados, também nas primeiras 24h, nos frascos-reatores incubados com extrato de levedura (0,5g/L) e com glicose (0,2g/L). Como esperado, os frascos-reatores incubados com extrato de levedura (0,5g/L) obtiveram melhores resultados que os incubados com extrato de levedura (0,05g/L), e por fim os frascos-reatores incubados com extrato de levedura (0,005 g/L) foram os que apresentaram menores eficiências de remoção de cor, tanto na ausência quanto na presença de glicose (Tabela 5.1). Estes resultados mostram que o aumento da concentração de extrato de levedura aumenta a eficiência de remoção de cor nas primeiras 24 horas de incubação, sendo que no final do ensaio os resultados de eficiência se igualam.

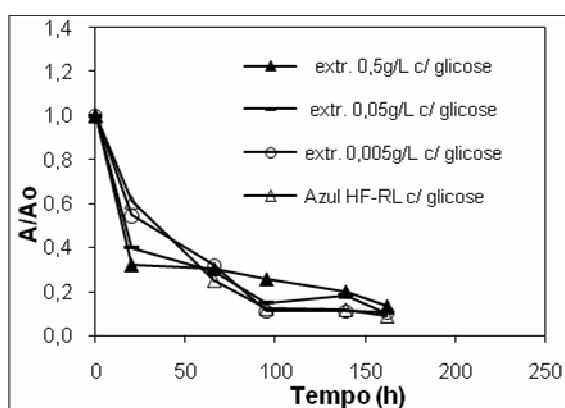


Figura 5.3 – Variação temporal da absorbância durante o terceiro ensaio. Frascos incubados com glicose.

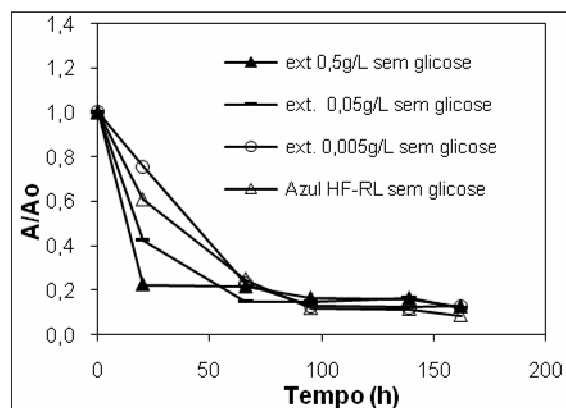


Figura 5.4 – Variação temporal da absorbância durante o terceiro ensaio. Frascos incubados sem glicose.

A Figura 5.5 também se refere aos resultados obtidos durante o terceiro ensaio, e mostra que nos frascos-reatores denominados “sem lodo”, ou seja, sem a presença de biomassa, praticamente não houve remoção de cor, indicando que processos abióticos (fotodegradação e/ou degradação pelos reagentes do meio nutricional) não contribuíram significativamente para a degradação do corante.

A Tabela 5.1 e Figura 5.5 mostram, ainda, que houve uma remoção final de cor considerável (79%), nos frascos-reatores denominados “lodo autoclavado”, indicando que parte do corante foi adsorvida pelos biosólidos presentes no meio, fato também observado

no quarto e quinto ensaios. A adsorção do corante ao lodo autoclavado não foi significativa nas primeiras 24 horas, como mostra a Tabela 5.1, sendo que foi justamente nesse período que o extrato de levedura parece ter desempenhado seu papel, favorecendo a aceleração da cinética de degradação do corante (Figuras 5.3 e 5.4).

O fato de grande parte do corante ter ficado adsorvido ao lodo é interessante desde que o reator não perca lodo pelo efluente, como seria o caso em reatores UASB bem operados. Nesses casos, a grande afinidade de adsorção do corante pelo lodo facilitaria a sua remoção da fase líquida. Se não houvesse degradação do corante pela biomassa, haveria uma saturação dos sítios de adsorção e queda na redução da eficiência de remoção de cor. Contudo, como discutido no item 5.2, isso não ocorre uma vez que a adsorção e degradação parecem ocorrer concomitantemente no reator. Dessa forma, a degradação do corante pela biomassa continuamente libera sítios de adsorção que permitem a contínua adsorção de corante da fase líquida.

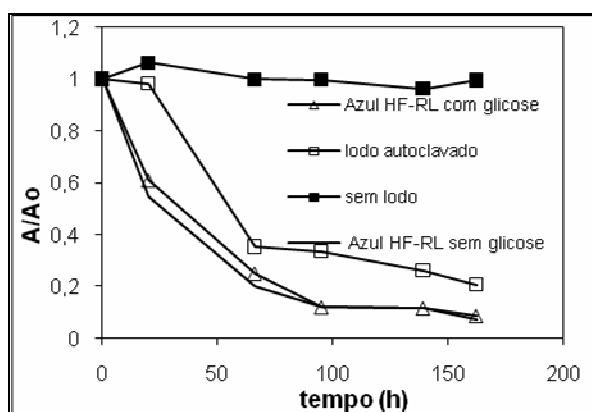


Figura 5.5 – Variação temporal da absorbância durante terceiro ensaio em frascos incubados para avaliar a degradação abiótica e a adsorção do corante.

A Figura 5.5 e a Tabela 5.1 mostram eficiências de degradação semelhantes, tanto nas primeiras 24h após a incubação dos frascos quanto no final do ensaio, entre os frascos-reatores denominados “Azul HF-RL sem glicose” (39% e 91%), e os frascos-reatores denominados “Azul HF-RL com glicose” (45% e 93%). Como já dito anteriormente, a adição de glicose aos frascos-reatores na concentração de 0,2g/L não influenciou na capacidade de remoção de cor, sugerindo que a lise celular, acentuada em ensaios de batelada devido à limitação nutricional, de substrato ou ao acúmulo de intermediários tóxicos, pode ter produzido SMPs que foram utilizados como fonte de carbono e energia no meio.

Os resultados do quarto ensaio (Figura 5.6) mostram que na presença ou na ausência do extrato de levedura o corante azo Drimaren Azul HF-RL foi degradado mais rapidamente que o corante não-azo Vermelho Sidercron VSRB. A Tabela 5.1 mostra que os frascos-reatores denominados “Azul HF-RL” obtiveram eficiência de degradação final de cor de 95%, enquanto que nos frascos-reatores denominados “Vermelho VSRB” esta porcentagem de remoção não passou de 48%.

O mesmo efeito observado na ausência do extrato de levedura aconteceu na sua presença, com melhores eficiências de degradação de cor alcançadas nas primeiras 24h de incubação também nos frascos-reatores incubados com o corante azo Drimaren Azul HF-RL (76%), quando comparado com o corante não-azo Vermelho VSRB (38%). Contudo, no final do experimento a eficiência de degradação dos dois corantes foi praticamente a mesma (Figura 5.6). Alguns pesquisadores como DOS SANTOS (2007, 2005a) e CERVANTES *et al.*,(2006), estudaram a atuação de mediadores redox na degradação de diferentes tipos de corantes, seus resultados mostraram que os efeitos da adição de mediadores redox em ambientes anaeróbios eram observados com mais clareza em corantes do tipo azo. Como o extrato de levedura é fonte dos mediadores redox riboflavina e niacina, isso talvez explique a baixa remoção de cor alcançada nos frascos incubados com o corante Vermelho VSRB e extrato de levedura, se comparado aos frascos incubados como corante azo Azul HF-RL e extrato de levedura, após as primeiras 24h de incubação.

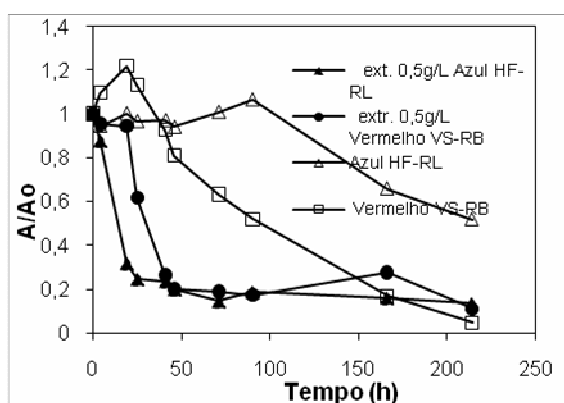


Figura 5.6 – Variação temporal da absorbância durante o quarto ensaio, em frascos incubados para avaliar a atuação do extrato de levedura.

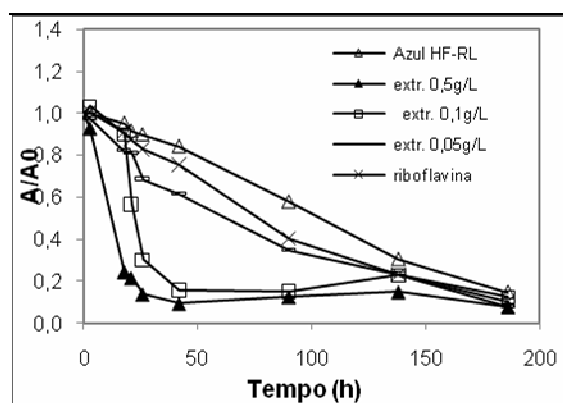


Figura 5.7 – Variação temporal da absorbância durante o quinto ensaio, em frascos incubados para avaliar a atuação do extrato de levedura e da riboflavina.

Da mesma forma que nos ensaios anteriores, no quarto ensaio uma parte considerável do corante foi adsorvida pelos biosólidos presentes no meio ao final do ensaio, sendo que nas primeiras horas a adsorção foi desprezível. A Tabela 5.1 mostra que nos frascos-reatores incubados com lodo autoclavado e na presença do corante azo Drimaren Azul HF-RL 77% da remoção de cor se deveu a adsorção do corante, ao passo que para o corante não azo Vermelho Sidercron VSRB a remoção por adsorção foi de 53% (Tabela 5.1).

Os resultados do quarto ensaio (Tabela 5.1) confirmam que a remoção de corantes por fatores abióticos (frascos sem lodo) é muito pequena, muito embora tenha sido maior para o corante não-azo.

Durante o quarto, quinto e sexto ensaios, amostras de sobrenadante dos frascos-reatores foram preparadas para análise cromatográfica com o intuito de identificar e quantificar um possível acúmulo de AGVs no meio. As Figuras 5.8, 5.9 e 5.11 fazem referência a DQO_{AGV} , que é a demanda química de oxigênio proveniente do acúmulo de AGVs no meio, estimada conforme as equações 4.4.1 e 4.4.2 apresentadas no Capítulo 4. A $DQO_{n\tilde{a}o\ AGV}$ seria a diferença entre a DQO (valor de DQO determinado experimentalmente) e a DQO_{AGV} conforme detalhado no Capítulo 4.

Os dados do quarto ensaio (Figura 5.8) se referem aos resultados de AGVs dos frascos incubados com extrato de levedura e dos frascos incubados para controle (“Azul HF-RL” e “Vermelho VSRB”), sendo que somente nos frascos incubados com extrato de levedura houve acúmulo de AGVs. Percebe-se claramente que mesmo nestes frascos incubados com maior carga orgânica (devido a DQO extra causada pelo extrato de levedura) houve pouco acúmulo de AGVs, sendo a maior parte da DQO devido a outros compostos (corante não degradado, subprodutos da degradação do corante e SMPs). Percebe-se ainda que a DQO diminuiu gradativamente de ~ 2.000 mg/L (valor elevado no início do ensaio devido a presença de extrato de levedura) e ~1500mg/L (valor referente aos frascos incubados sem a presença de extrato de levedura no primeiro dia), até ~ 500 mg/L (no quinto dia) indicando a degradação do extrato de levedura. A partir do quinto dia a DQO aumentou, o que pode ter ocorrido devido à liberação de SMPs no meio, resultante da lise celular acentuada no final do ensaio.

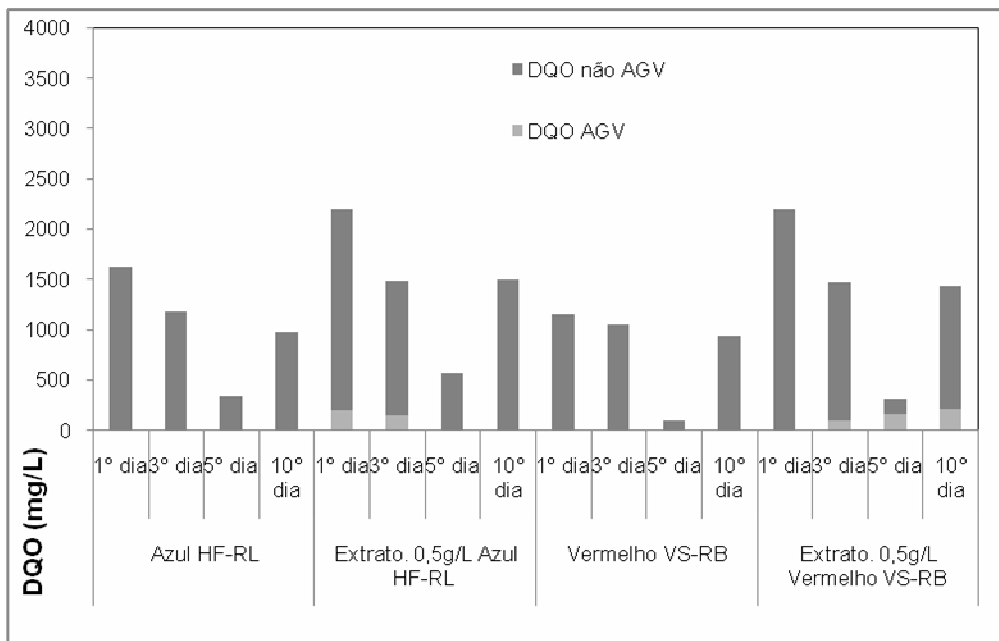


Figura 5.8 – Acúmulo de AGVs durante o quarto ensaio.

Os resultados do quinto ensaio apresentados na Figura 5.7 concordam com os resultados obtidos nos ensaios anteriores, ou seja, o aumento da concentração de extrato de levedura resulta em aumento na eficiência de remoção de cor nas primeiras 24 horas; e na ausência de extrato de levedura a remoção anaeróbica de cor só é efetiva para elevados tempos de incubação (> 100 horas). Uma tendência também observada durante os ensaios, é que a adsorção de corante ao lodo só é significativa após as primeiras 24 horas de incubação; que sem lodo não há remoção significativa de cor por fatores abióticos; e que o extrato de levedura não causa cor significativa nas primeiras 24h (no comprimento de onda usado para monitorar o corante) (Tabela 5.1).

Além disso, o quinto ensaio mostrou que a riboflavina foi menos eficiente que o extrato de levedura durante as primeiras 24h de incubação (Tabela 5.1 e Figura 5.7). Neste ensaio dois frascos-reatores foram incubados com riboflavina (Vitamina B2) na concentração de 0,025mg/L, valor equivale a concentração presente em 0,5g/L de extrato de levedura. Os resultados apresentados na Tabela 5.1 mostram que nas primeiras 24h a maior eficiência de degradação de corante ocorreu nos frascos-reatores incubados com extrato de levedura a 0,5g/L, seguida pelos frascos-reatores incubados com extrato de levedura a 0,1g/L e por fim as menores eficiências foram observadas nos frascos-reatores incubados com extrato de levedura a 0,05g/L.

O ensaio mostrou que enquanto nos frascos-reactores incubados com o extrato de levedura (0,5g/L) a eficiência de degradação foi de 87% antes de se atingir as primeiras 24h de incubação, nos frascos-reactores incubados com a riboflavina e sem extrato de levedura (“Riboflavina”) essa eficiência não passou de 15% no mesmo período de tempo; valor este inferior àqueles obtidos nos frascos incubados com extrato de levedura na concentração de 0,05g/L que foi de 30% (Tabela 5.1). Estes resultados indicam que outros compostos presentes no extrato de levedura (além da riboflavina), como por exemplo a nicotinamida, parecem auxiliar na degradação do corante, atuando como fonte de carbono e/ou como vitaminas/nutrientes. Contudo, no final do ensaio a eficiência de degradação nos frascos-reactores incubados com riboflavina e nos frascos-reactores incubados com extrato de levedura (0,5g/L) foi praticamente a mesma.

A Figura 5.9 apresenta os resultados da análise cromatográfica realizada nos frascos incubados no quinto ensaio e mostra que somente nos frascos incubados com extrato de levedura houve acúmulo de AGVs. Os resultados parecem evidenciar que a adição de extrato de levedura causa aumento da DQO no início do ensaio, e que os frascos incubados com riboflavina ou só com o corante Azul HF-RL resultam em elevação da DQO no final do ensaio. Esses resultados parecem indicar que o aumento de DQO no final do ensaio não é devido ao extrato de levedura não degradado, mas sim a SMPs liberados como resultado da lise celular que ocorre em mais intensidade no final dos ensaios em batelada. Esse aspecto é positivo tendo em vista que o uso de extrato de levedura acelera a remoção de cor e, muito embora resulte em aumento da DQO, pode não comprometer a qualidade do efluente anaeróbico devido à sua natureza biodegradável.

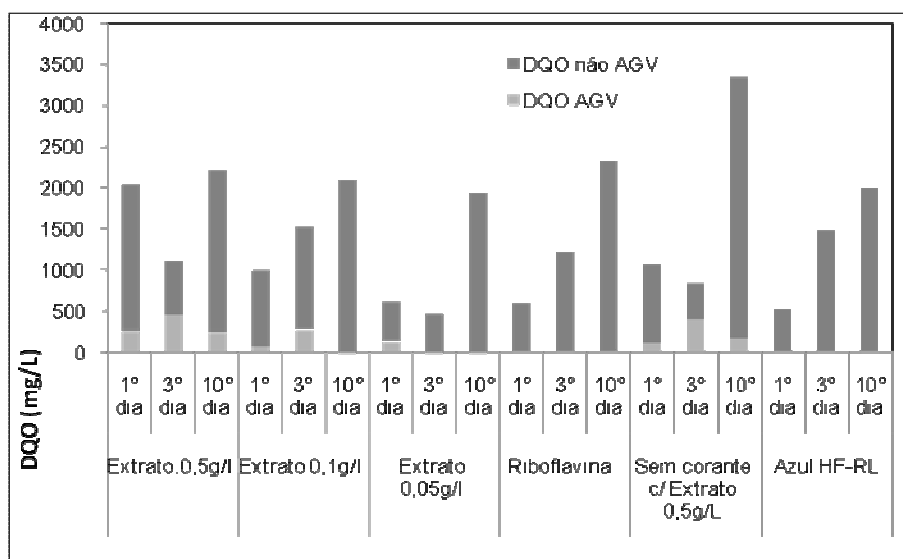


Figura 5.9 – Acúmulo de AGVs durante o quinto ensaio.

O sexto ensaio teve como objetivo comparar o comportamento da riboflavina (Vitamina B2) e do extrato de levedura. Desta vez três concentrações distintas e mais elevadas de riboflavina, dentre elas uma das concentrações utilizadas por DOS SANTOS (2005a, b e c) em seu trabalho (0,0188g/L), foram testadas e comparadas à concentração definida como ideal (dentre as concentrações testadas) para o extrato de levedura (0,5g/L). Dois frascos contendo glicose (0,5g/L) também foram incubados, para fins de comparação, avaliando neste caso o desempenho do extrato de levedura e da glicose como fonte de carbono.

A Figura 5.10 e a Tabela 5.1 mostram que nas primeiras 24h houve remoção da cor quatro vezes maior nos frascos-reatores incubados com extrato de levedura a uma concentração de 0,5g/L, quando comparado aos frascos-reatores incubados com riboflavina a 0,0188g/L (concentração 750 vezes maior que a concentração presente em 0,5g/L de extrato de levedura). A diferença de comportamento da cinética de degradação do corante é bastante expressiva, com valor de $k=2,0588d^{-1}$ para os frascos-reatores incubados com extrato de levedura e $k=0,3953d^{-1}$ para os frascos-reatores incubados com riboflavina a 0,0188g/L. Estes valores mostram que a adição do extrato de levedura foi melhor que a adição da riboflavina na ação de aumentar a cinética de degradação do corante azo Azul HF-RL (Tabela 5.2). Os resultados apresentados na Figura 5.10 também mostram maior remoção de cor durante as primeiras 24h de incubação nos frascos-reatores incubados com extrato de levedura, quando comparado a glicose, confirmando que o extrato de levedura age possivelmente como fonte de carbono (doador de elétrons) e como fonte de vitaminas e mediadores redox. Vale ressaltar que durante seus trabalhos, DOS SANTOS (2007, 2005a, b, c) estudou a atuação de outros mediadores redox além da riboflavina, o antraquinônio-2sulfonato (AQS), e o antraquinônio-2,6-disulfonato (AQDS), sendo que, dentre estes, a riboflavina foi que obteve os melhores resultados na ação de acelerar a degradação do corante azo Reative Red 2 (RR2).

Por fim, observando os resultados finais das eficiências alcançadas neste ensaio (Tabela 5.1) para os frascos-reatores incubados com glicose na concentração de 0,5g/L (“Azul HF-RL com glicose”), e os frascos controle incubados sem a presença da glicose ou extrato de levedura denominados “Azul HF-RL”, observa-se a glicose (0,5g/L) pareceu desempenhar o seu papel como co-substrato alcançando uma eficiência de remoção final de 93%. Tais resultados contrariam os resultados dos cinco ensaios anteriores, quando foi visto que na ausência da glicose se obtinha elevadas eficiências de remoção de corante no final do

ensaio. Frente aos resultados do sexto ensaio, é preciso expor uma questão relevante, o lodo utilizado para inocular os frascos-reatores durante este ensaio não foi o mesmo utilizado para inocular os frascos dos cinco ensaios anteriores, talvez tal fato explique a discordância de resultados entre este ensaio, e os anteriores.

A Figura 5.11 apresenta a análise cromatográfica realizada durante o sexto ensaio, com os valores convertidos em concentração de DQO. Os dados mostram que somente os frascos-reatores incubados com extrato de levedura e glicose acumularam AGVs. Os resultados mostram que tanto o extrato de levedura quanto a glicose adicionados a 0,5g/L causam aumento da DQO no início do ensaio, e que os frascos incubados com riboflavina ou só com o corante Azul HF-RL resultam em elevação da DQO no final do ensaio. A elevada concentração de $DQO_{\text{não AGV}}$ em todos os frascos indica toxicidade aos microrganismos anaeróbios, e como não há acúmulo significativo de AGVs, parece que o efeito tóxico ocorre também nos microrganismos acidogênicos. É possível que tal inibição seja devido às aminas aromáticas produzidas após a redução do corante azo.

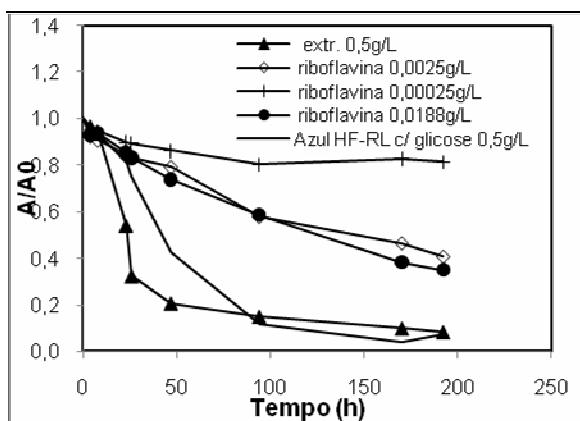


Figura 5.10 – Variação temporal da absorbância durante o sexto ensaio, em frascos incubados para avaliar a atuação do extrato de levedura e da riboflavina.

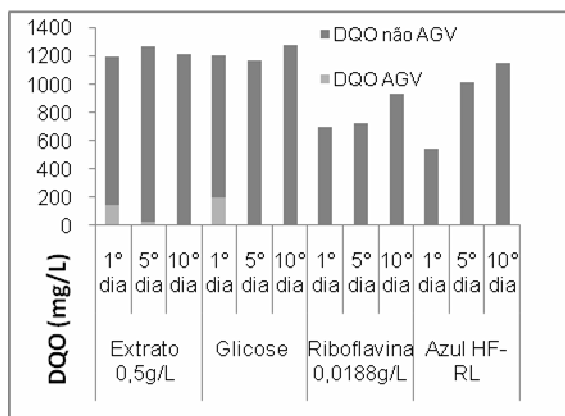


Figura 5.11 – Acúmulo de AGVs durante o sexto ensaio.

A principal conclusão que pode ser tirada dos resultados da primeira etapa, é que a presença de extrato de levedura (0,5 g/L) aumentou significativamente a eficiência de remoção de cor durante as primeiras 24 horas de incubação do lodo anaeróbico. Analisando todos os resultados apresentados até aqui em termos de valores médios de eficiência de remoção de cor, o extrato de levedura (0,5g/L) possibilitou a remoção de 82% da cor presente nos frascos-reatores nas primeiras 24h, valor bastante superior ao valor médio de

12,8% de eficiência de remoção alcançados nos frascos-reatores incubados sem a presença de extrato de levedura ou com fonte extra de carbono (glicose). Estes valores não levaram em consideração a parcela de corante adsorvido pelo lodo e a parcela de corante degradado por processos abióticos; que durante as primeiras 24h se mostraram insignificantes frente ao desempenho do extrato de levedura, que mostrou ser capaz de acelerar o processo de degradação do corante azo Azul HF-RL. Como discutido no item .3.3.3 do Capítulo 3, mediadores redox são compostos que aceleram a transferência de elétrons do doador primário (substrato) para o receptor final (corantes azo), por isso a descoloração de corantes do tipo azo acontece mais rapidamente na sua presença. Como o extrato de levedura é fonte de mediadores redox como a riboflavina e a niacina, isso explica os satisfatórios resultados alcançados com sua adição nos frascos-reatores durante os ensaios em batelada.

Os resultados dos seis ensaios em batelada apresentados aqui mostraram que de modo geral os dados coletados e analisados seguiram uma lógica, dando respaldos suficientes para determinação de parâmetros operacionais que foram adotados durante a segunda etapa do projeto (operação do reator UASB) como: o TDH (tempo de detenção hidráulica) de 19h, ou seja, dentro da faixa temporal considerada ideal para atuação do extrato de levedura; a avaliação da glicose como co-substrato e uso do extrato de levedura como auxiliar na degradação do corante.

Com relação ao TDH adotado durante a segunda etapa do trabalho, vale ressaltar que de modo geral os TDHs adotados em trabalhos de pesquisa não têm seguido um valor padrão, por exemplo, no trabalho de TUNUSSI e ALEM SOBRINHO (2003) um reator UASB foi operado em escala de bancada com um TDH de 9,4h; já BRIONES (1997) operou dois reatores do tipo EGSB (Reator de Leito de Lodo Granular Expandido), um em escala de bancada, e outro piloto, ambos com um TDH de 1,5 dia. Decidiu-se por adotar um TDH de 19h para o trabalho, em função de limitações operacionais que não permitiram a adoção de um TDH menor, mas isto em nada comprometeu os resultados do trabalho, pois os ensaios em batelada mostraram que o extrato de levedura atua auxiliando na degradação do corante azo nas primeiras 24h de contato com o corante, ou seja, um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 19h garante a atuação do extrato de levedura.

5.2. – Segunda etapa: ensaios com alimentação contínua

Análises estatísticas dos dados da variação temporal da absorvância e DQO foram realizadas conforme abordado no item 4.5 do Capítulo 4, e o objetivo destas análises foi dar confiabilidade aos resultados apresentados aqui. Além da estatística descritiva dos dados, foi realizado o teste de variância contando com o auxílio da ferramenta computacional SPSS. A Tabela 5.3 apresenta a estatística descritiva de alguns dos parâmetros analisados durante as fases operacionais no UASB. Os parâmetros absorvância se referem à cor presente no afluente e efluente do reator, obtidos no comprimento de onda máximo (600nm) do corante modelo Drimaren Azul HF-RL. Na primeira e sexta fases o reator foi alimentado sem a presença de corante, portanto este parâmetro não foi analisado.

De forma geral os valores de desvio-padrão (Tabela 5.3) foram bons para os parâmetros DQO e Absorvância, uma vez que durante todas as fases de operação do reator não houve controle de temperatura da alimentação (afluente) ou do reator, ficando os mesmos a mercê da variação da temperatura ambiente, conforme pode ser observado na Figura 5.15 apresentada mais adiante.

Tabela 5.3 - Estatística descritiva de alguns parâmetros operacionais.

Parâmetros	Estatística Descritiva	1º Fase	2º Fase	3º Fase	4º Fase	5º Fase	6º Fase	7º Fase	8º Fase
Absorbância afluente (600 nm)	N	-	11	10	11	12	-	8	9
	Média	-	0,834	0,832	0,835	0,801	-	0,819	0,808
	DP	-	0,047	0,038	0,022	0,026	-	0,012	0,023
	Min	-	0,775	0,767	0,810	0,730	-	0,796	0,754
	Max	-	0,967	0,907	0,879	0,823	-	0,830	0,836
Absorbância efluente (600 nm)	N	-	11	10	11	12	-	8	9
	Média	-	0,289	0,303	0,385	0,055	-	0,314	0,070
	DP	-	0,065	0,032	0,048	0,022	-	0,054	0,008
	Min	-	0,156	0,259	0,291	0,000	-	0,240	0,061
	Max	-	0,387	0,354	0,455	0,089	-	0,399	0,081
DQO afluente centrifugada (mg/L)	N	7	11	10	10	12	9	8	10
	Média	593	562	567	122	933	581	572	544
	DP	54	68	242	61	131	34	12	42
	Min	500	411	231	28	660	506	552	432
	Max	654	665	1065	216	1048	627	589	573
DQO efluente centrifugada (mg/L)	N	7	11	10	10	12	9	8	10
	Média	451	317	331	106	572	297	221	252
	DP	37	70	165	72	181	24	38	28
	Min	391	245	0	8	180	262	170	206
	Max	491	487	518	197	751	328	277	293

Obs: N número de amostras, DP desvio padrão.

A Tabela 5.4 apresenta uma estatística descritiva dos valores de eficiência alcançados na remoção de cor durante as fases operacionais, e a Figura 5.12, apresenta a variação da cor durante o tempo de operação do reator. Tanto a Tabela 5.4 quanto a Figura 5.12 mostram que em algumas fases operacionais do reator UASB resultaram em mais de 90% de eficiência na remoção de cor. Apesar da boa eficiência de remoção de cor, os resultados apresentados na Tabela 5.5 e na Figura 5.13 mostram que os valores médios de eficiência de remoção de DQO foram baixos em todas as fases operacionais do reator. Durante a primeira fase, época em que o lodo estava se aclimatando ao reator, este valor médio de eficiência foi ainda menor. A baixa eficiência de remoção de DQO alcançada durante as fases de operação do reator, pode estar relacionada ao reduzido tempo de permanência em cada fase, não havendo com isso, tempo suficiente para a aclimação da biomassa as alimentações impostas. Tal fato pode ser confirmado, observando o crescente

aumento da eficiência de remoção de DQO com o passar das fases operacionais do UASB (Figura 5.13 e Tabela 5.5), o que significa dizer, que a biomassa foi aos poucos se adaptando as alimentações impostas, e com isso, a remoção de DQO tendeu a crescer com o tempo. Trabalhos de pesquisa que operam reatores anaeróbios para a degradação de efluentes de indústria têxtil, sintetizados ou real, costumam inocular o reator com lodo previamente aclimatado, como foi o caso de DOS SANTOS (2007, 2006, 2005a, b, c e 2003) em seus trabalhos. Mas a aclimação também pode ocorrer no próprio reator, o que levaria um tempo que variaria de dois a três meses, até que a biomassa estivesse devidamente adaptada àquela alimentação imposta.

Tabela 5.4 – Estatística descritiva de valores de eficiência na remoção de cor.

Estatística Descritiva	1° Fase	2° Fase	3° Fase	4° Fase	5° Fase	6° Fase	7° Fase	8° Fase
N	-	11	10	11	12	-	8	9
Média	-	65%	64%	54%	93%	-	62%	91%
DP	-	7	4	6	3	-	6	1
Min	-	53%	57%	47%	89%	-	52%	90%
Max	-	81%	69%	65%	100%	-	70%	92%

Obs: N é o número de amostras e DP o desvio padrão.

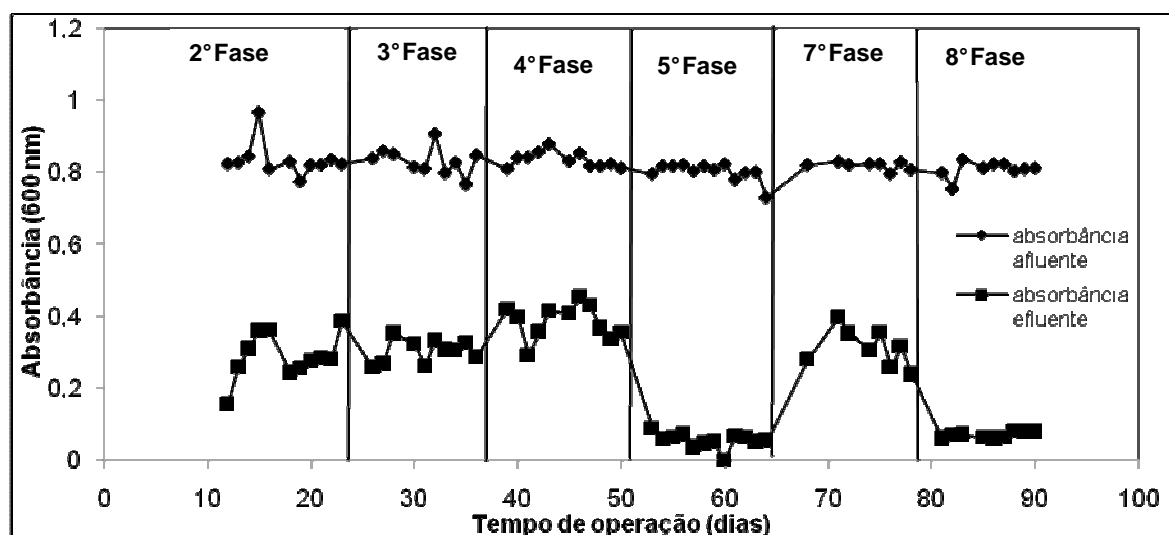


Figura 5.12 - Variação temporal da absorbância no comprimento de onda de 600 nm.

Trabalhos desenvolvidos enfatizando a degradação de corantes do tipo azo em sistemas anaeróbios contínuos, normalmente alcançam valores de remoção de DQO e também de

cor em torno de 90%, mas as condições operacionais impostas nestas pesquisas apresentam um controle rígido de temperatura. DOS SANTOS (2005 a, b, c), por exemplo, obteve valores de remoção de DQO e cor maiores que 90% trabalhando sob condições mesofílicas (35 °C), e termofílicas (55 °C).

Tabela 5.5 - Estatística descritiva de valores de eficiência na remoção de DQO.

Estatística	1° Fase	2° Fase	3° Fase	4° Fase	5° Fase	6° Fase	7° Fase	8° Fase
N	7	11	10	10	12	9	8	10
Média	24%	43%	44%	0%	40%	49%	61%	54%
DP	5	11	25	0	15	4	7	4
Min	15%	15%	20%	0%	24%	42%	50%	48%
Max	32%	56%	100%	1%	73%	54%	70%	59%

Obs: N é o número de amostras e DP o desvio padrão.

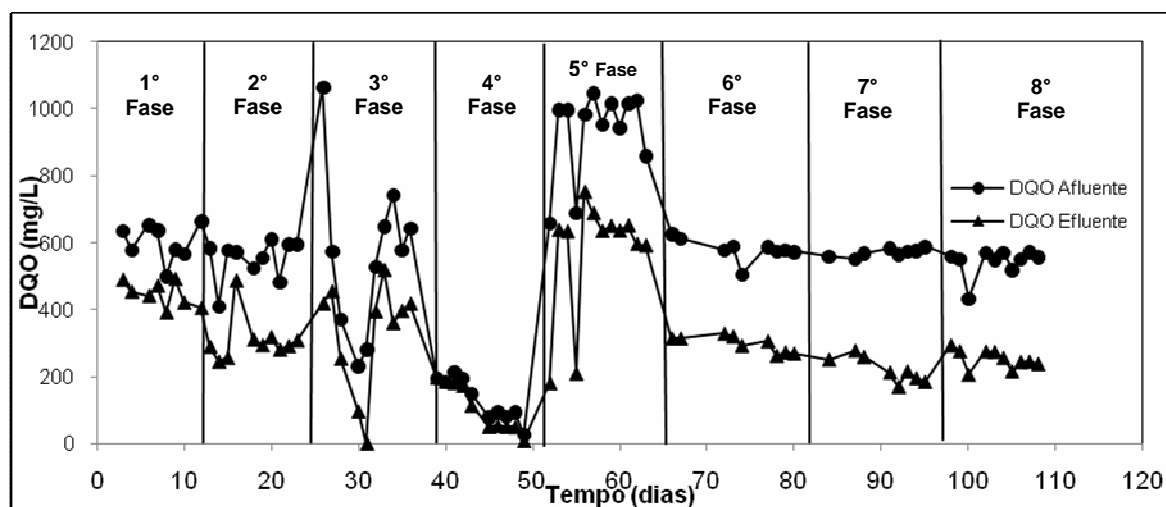


Figura 5.13 – Variação temporal de DQO.

Pesquisadores que estudaram processos combinados também obtiveram excelentes resultados, como ORTIZ (2008) que avaliou o desempenho conjunto de reatores biológicos (anaeróbio/aeróbio) seguido de filtração com carvão ativado, e obteve remoção final de 92% de DQO e 97% de cor. Em outro trabalho, TUNUSSI e ALEM SOBRINHO (2003) avaliaram o desempenho conjunto de reatores biológicos (anaeróbio/aeróbio) e observaram que a redução da cor, que ocorreu principalmente na fase anaeróbia, passou de 700 a 2000 mg-Pt/L no afluente para 80 a 310 mg-Pt/L no efluente anaeróbio, e para 17 a 79 mg-Pt/L

no efluente final da planta piloto; e que a remoção de DBO e DQO da planta piloto apresentou média superior a 90% para a DQO e superior a 95% para DBO. Outros exemplos de trabalhos que estudaram processo combinados podem ser vistos no item 3.3.3.

Como exposto, neste trabalho as condições operacionais impostas não contemplaram o controle de temperatura, não houve tempo suficiente para a devida aclimação do lodo as alimentações impostas em cada fase, e também não se trata de um trabalho de processos combinados (com pós-tratamento aeróbio, por exemplo); além disso, como será apresentado a seguir, houve acúmulo de AGVs na maioria das fases operacionais no reator UASB, podendo este acúmulo ter acarretado os valores baixos remoção de DQO observados aqui.

Como exposto no início deste item, foi realizado um estudo estatístico de análise de variância entre os valores de eficiência média alcançada nas diferentes fases operacionais do UASB, comparando as fases duas a duas. A Tabela 5.6 apresentada a seguir mostra os valores de p obtidos durante a análise de variância entre as fases que serão discutidas mais adiante. Para os valores de absorvância utilizou-se o teste paramétrico de Tukey, uma vez que para estes resultados observou-se normalidade da distribuição, e para DQO utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney.

As Figuras 5.14 e 5.15 apresentadas a seguir, mostram o monitoramento da variação temporal de pH e temperatura ambiente durante todo o período de operação do reator. A Figura 5.14 mostra que de forma geral o pH se manteve dentro da faixa considerada ótima para os microrganismos anaeróbios, reportada como sendo entre 6,80 e 7,20 (SPEECE, 1996), isto se deve ao fato da adição de um tampão (bicarbonato de sódio) à solução de macro nutrientes adicionada diariamente na alimentação do reator.

A Figura 5.15 mostra que a temperatura ambiente se manteve entre 20,0 °C e 28,5 °C nos meses em que o reator foi operado. Como citado anteriormente, trabalhos realizados sob condições anaeróbias e mesofílicas (35 °C) têm alcançado bons resultados em termos de remoção de DQO e cor, ou seja, temperaturas elevadas podem influenciar positivamente na remoção de cor e DQO pelo reator. Com base nisto, supõe-se que a variação da temperatura tenha influenciado em alguns momentos nos resultados apresentados neste

trabalho, além é claro, do baixo tempo de permanência em cada fase operacional, e do estresse causado pelo acúmulo de AGVs em algumas das fases operacionais do UASB.

Tabela 5.6 – Análise estatística de variância da remoção de cor e DQO entre as fases operacionais do UASB. Se $p < 0,05$ rejeita-se a hipótese de igualdade entre fases.

Comparações entre as fases do UASB	Valores de p		Comentário sobre as fases comparadas
	Remoção de cor	Remoção de DQO	
1ª e 6ª Fases	-	0,001	Houve diferenças na remoção de DQO entre a 1ª e 6ª fases, sendo que na 6ª fase esta remoção foi maior. Nestas fases o reator foi alimentado apenas glicose (0,5 g/L) para a adaptação da biomassa.
2ª e 3ª Fases	0,961	0,673	O uso de extrato de levedura (0,1 g/L) com co-substrato (0,35 g/L) na 3ª fase, não se mostrou diferente do uso de apenas glicose (0,45 g/L) na 2ª fase.
2ª e 4ª Fases	0,000	0,000	O uso de glicose (0,45 g/L) sem extrato de levedura na 2ª fase se mostrou mais eficiente que o uso de extrato de levedura (0,1 g/L) sem glicose na 4ª fase.
2ª e 5ª Fases	0,000	0,065	O uso de glicose (0,45 g/L) sem extrato de levedura na 2ª fase mostrou remoção de DQO bastante parecido com uso de extrato de levedura (0,5 g/L) com glicose (0,35 g/L) na 5ª fase.
2ª e 7ª Fases	0,628	0,001	O uso de corante só com glicose (0,45 g/L) na 2ª e 7ª fases, mostrou igualdade de remoção de cor, e maior remoção de DQO na 7ª fase.

Tabela 5.6 – Análise estatística de variância da remoção de cor e DQO entre as fases operacionais do UASB. Se $p < 0,05$ rejeita-se a hipótese de igualdade entre fases (continuação)

Comparações entre as fases UASB	Valores de p		Comentário sobre as fases comparadas
	Remoção de cor	Remoção de DQO	
3ª e 4ª Fases	0,001	0,000	O uso de extrato de levedura (0,1 g/L) sem glicose na 4ª fase foi menor eficiente em termos de remoção de cor e DQO que o uso extrato de levedura (0,1 g/L) com glicose (0,35 g/L) na 3ª fase.
3ª e 5ª Fases	0,000	0,598	O uso de maior concentração de extrato de levedura (0,5 g/L) na 5ª fase, quando comparada à 3ª fase (0,1 g/L), na presença de glicose (0,35 g/L) resultou em maior remoção de cor durante a 5ª fases.
3ª e 8ª Fases	0,000	0,199	O uso de extrato de levedura (0,5 g/L) sem glicose na 8ª fase removeu mais cor, que o uso de extrato (0,1 g/L) com glicose (0,35 g/L) na 3ª fase.
4ª e 8ª Fases	0,000	0,000	O uso de maior concentração de extrato de levedura (0,5 g/L) na 8ª fase, removeu mais cor e DQO que durante a quarta fase (0,1 g/L), na ausência de glicose.
5ª e 8ª Fases	0,958	0,008	O uso de extrato de levedura (0,5 g/L) com glicose (0,35 g/L) na 5ª fase, removeu menos DQO que o uso de apenas extrato de levedura (0,5 g/L) na 8ª fase
7ª e 8ª Fases	0,000	0,051	O uso de extrato de levedura (0,5 g/L) na 8ª fase, ao invés da glicose (0,45 g/L) na 7ª fase, mostrou diferenças significativas na remoção de cor, com melhor eficiência alcançada durante a 8ª fase.

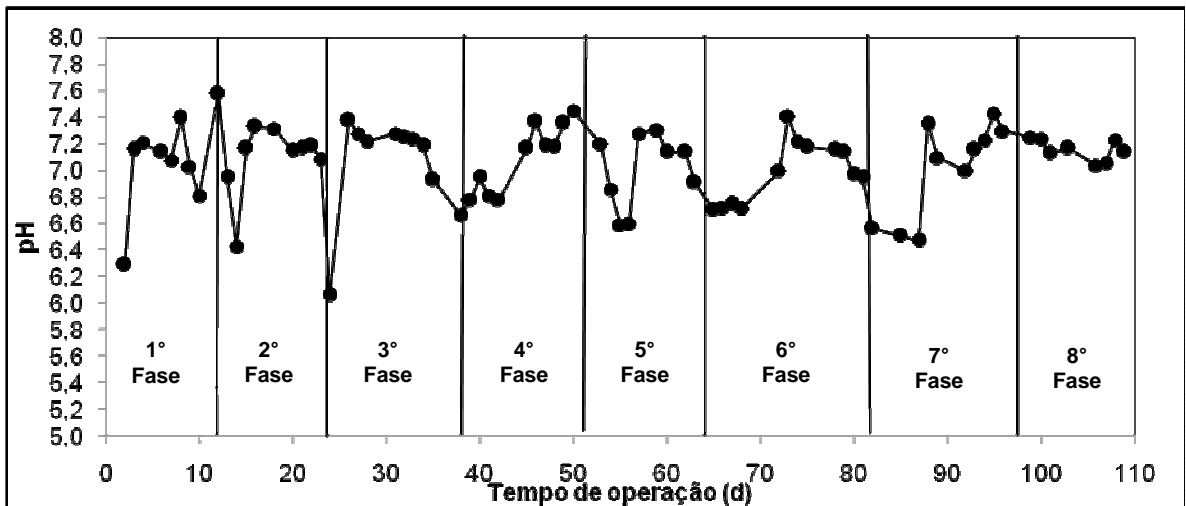


Figura 5.14 – Variação temporal do pH no efluente do UASB.

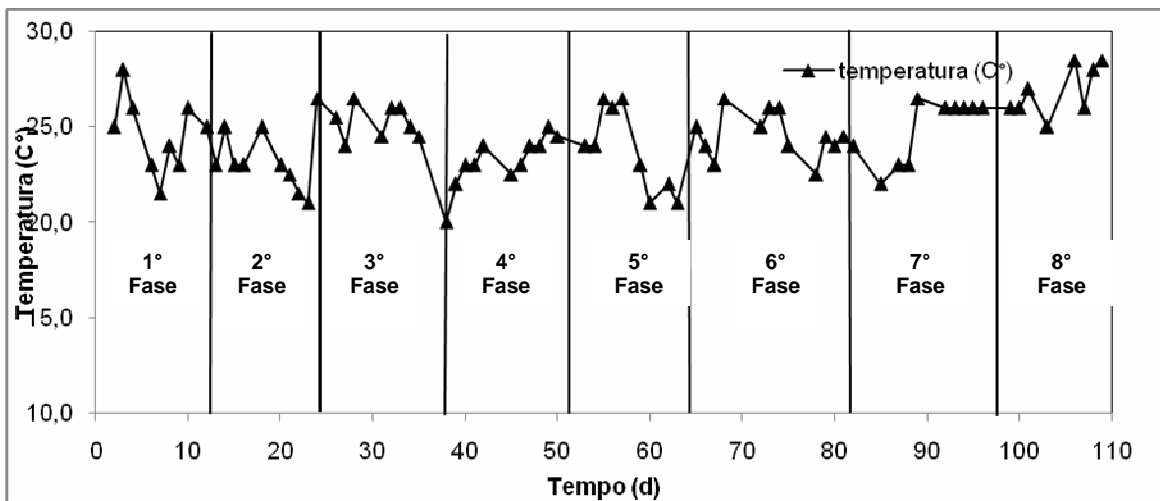


Figura 5.15 – Variação temporal da temperatura ambiente.

As Figuras 5.16 a 5.21 mostram a variação da concentração de AGVs, convertido a valores de DQO conforme detalhado no item 4.4 do Capítulo 4, ao longo das fases operacionais. Serão apresentados aqui apenas os gráficos das fases operacionais em que se observou acúmulo de AGVs.

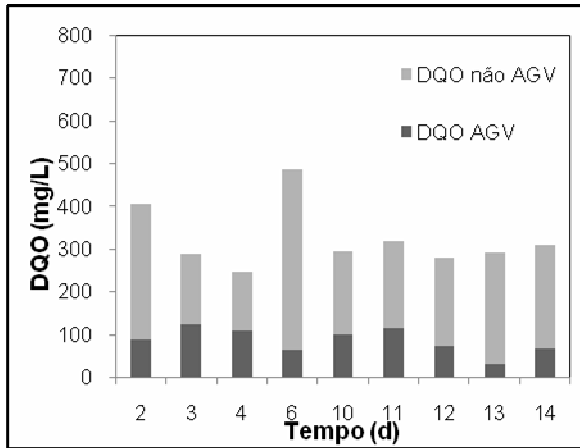


Figura 5.16 – Acúmulo de AGVs no meio durante a segunda fase.

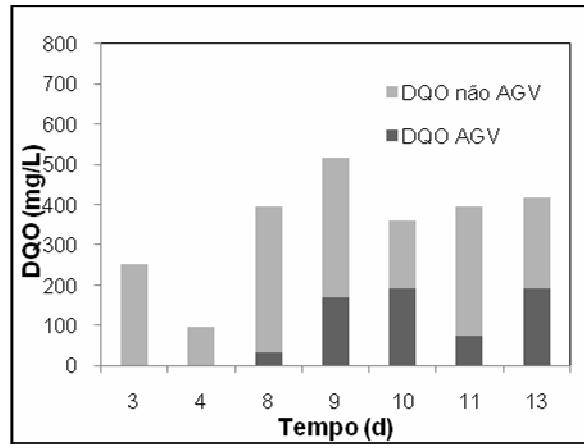


Figura 5.17 – Acúmulo de AGVs no meio durante a terceira fase.

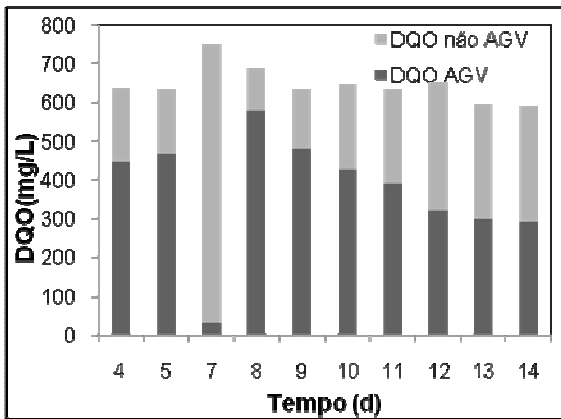


Figura 5.18 – Acúmulo de AGVs no meio durante a quinta fase.

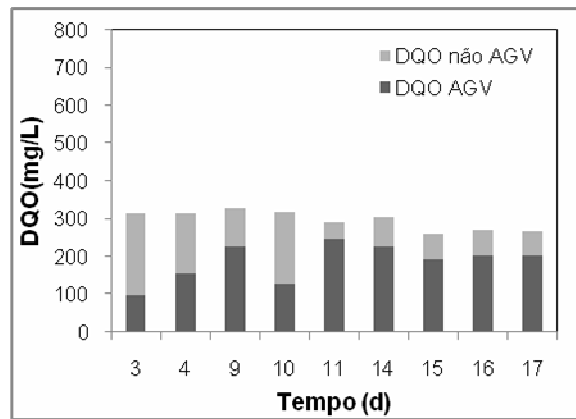


Figura 5.19 – Acúmulo de AGVs no meio durante a sexta fase.

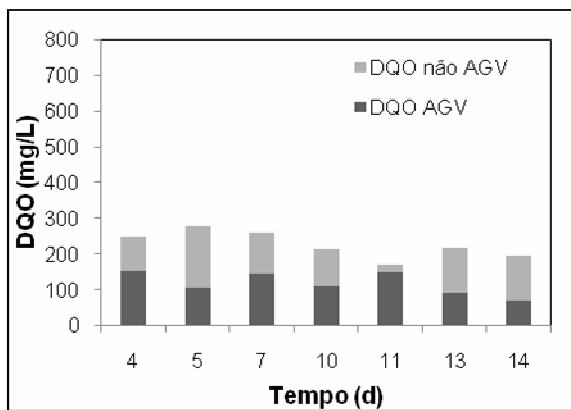


Figura 5.20 – Acúmulo de AGVs no meio durante a sétima fase.

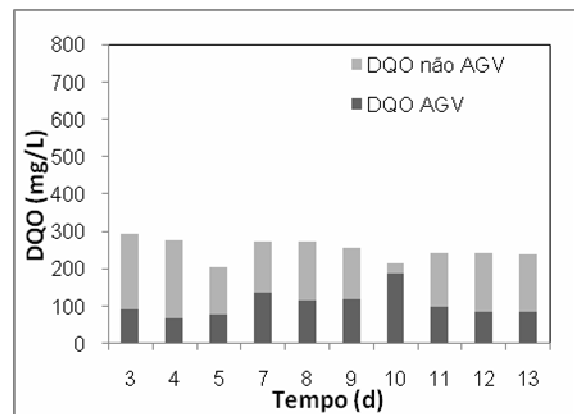


Figura 5.21 – Acúmulo de AGVs no meio durante a oitava fase.

A seguir são analisados e discutidos os resultados obtidos durante as fases de operação do UASB, avaliando a influência da adição da glicose e do extrato de levedura na alimentação. Estas análises e discussões são realizadas através de comparações entre as fases de interesse, e com base nos resultados apresentados.

Primeira e sexta fases de operação do UASB

Durante a primeira fase operacional o reator foi alimentado apenas com glicose (500mg/L), por se tratar de uma fase de aclimação do lodo (estabilização do reator), a eficiência média de remoção de DQO não passou dos 24% (Tabela 5.5). Durante a sexta fase, quando o reator voltou a ser operado após uma paralisação de vinte dias, ele foi novamente alimentado apenas com glicose como na primeira fase, e a média de remoção de DQO desta vez foi de 49% (Tabela 5.5); isso se deve talvez ao fato do reator na 6ª fase estar mais adaptado às alimentações impostas.

Os testes estatísticos (Tabela 5.6) confirmam a variância entre as duas fases, apresentando valor de $p < 0,05$, o que significa dizer que houve variância entre os dados de eficiência da primeira e sexta fase, apesar da alimentação imposta ao reator ser a mesma durante as duas fases. Esta diferença pode ser constatada observando graficamente as diferenças entre os valores de DQO de entrada (DQO_{Afl}) e de saída (DQO_{Efl}) das duas fases (Figura 5.13).

Análises cromatográficas foram realizadas em amostras coletadas no efluente do reator durante a primeira e sexta fases de operação. Os resultados mostram que durante a primeira fase não houve acúmulo de AGVs no meio, por esse motivo não foi apresentado o gráfico desta fase operacional, mas as análises cromatográficas realizadas durante a sexta fase (reator alimentado também apenas com glicose) mostram um acúmulo de 40 a 85% de AGVs no meio (Figura 5.19). Este acúmulo sugere que os subprodutos da degradação do corante (fases anteriores) ficaram adsorvidos no lodo causando toxicidade. Essa hipótese é levantada pelo fato de não ter havido acúmulo de AGVs durante a primeira fase.

Segunda e sétima fases de operação do UASB

Durante a segunda e sétima fases o reator foi alimentado com corante modelo (50mg/L) e glicose (450mg/L), e da mesma forma que observado na primeira e sexta fases, houve

diferenças significativas quanto à remoção de DQO (Tabela 5.5 e Figura 5.13). Como na situação anterior (primeira e sexta fases), aqui também estes resultados tão diferentes podem ter sido ocasionados pelo fato do reator na sétima fase estar mais adaptado às diferentes alimentações impostas. Quanto à remoção de cor, o comportamento do reator foi bastante semelhante, tanto na segunda quanto na sétima fases (Tabela 5.4 e Figura 5.12). A análise estatística dos dados (Tabela 5.6) de eficiência média para remoção de cor resultou em valor de $p=0,628$, indicando que não houve diferença nas eficiências médias entre as duas fases em termos de remoção de cor. Já o resultado da análise estatística realizada com os dados das eficiências médias de remoção de DQO obtiveram um $p=0,001$, neste caso há diferença estatística em termos de eficiência de remoção de DQO entre as duas fases operacionais.

Analisando a Figura 5.15, observa-se que no início da segunda fase o reator foi operado a temperaturas ambientes que chegavam a 25,0 °C, mas em seguida os valores de temperatura caíram e o reator passou a operar a temperaturas em torno dos 21,5 °C. Já durante a sétima fase de operação, ocorreu o inverso, temperaturas ambientes mais baixas no início da fase, em torno dos 22,0 °C, e logo depois temperaturas mais elevadas, chegando aos 26,0 °C. Como citado anteriormente, temperaturas elevadas podem influenciar positivamente na remoção de DQO pelo reator (DOS SANTOS 2007, 2005a, b, c), por isso, o fato das temperaturas estarem mais elevadas durante a sétima fase, somado ao fato do lodo estar mais aclimatado ao reator, talvez tenham sido fatores que influenciaram nas eficiências mais elevadas de remoção de DQO alcançadas nesta fase, em comparação com a segunda fase de operação do reator.

Análises cromatográficas realizadas em amostras coletadas no efluente do reator mostraram acúmulo de AGVs nas duas fases. Durante a segunda fase houve acúmulo dos ácidos acético e propiônico, sendo o ácido acético responsável pela maior parte da DQO do meio. Segundo CHERNICHARO (2007), é comum quando há acúmulo de AGVs no meio, que este acúmulo seja devido à presença dos ácidos orgânicos, acético e propiônico, intermediários da digestão anaeróbia, e responsáveis por cerca de 90% da produção de metano. Na segunda fase este acúmulo representou de 8 a 50% da DQO efluente (Figura 5.16). Já durante a sétima fase, houve acúmulo dos ácidos fórmico, acético e propiônico, que convertidos a concentração de DQO ultrapassaram 50% do valor total de DQO presente no efluente em praticamente todas as coletas (Figura 5.20). Este resultado mostra que o

reator, mesmo estando mais adaptado à alimentação com corante, estava sob estresse, como já havia sido observado durante a sexta fase (adaptação do lodo). Como houve também acúmulo significativo de $DQO_{\text{não AGV}}$, há indícios de que a formação de subprodutos tóxicos (Ex. amins aromáticas) podem ter inibido não só a população metanogênica e acetogênica, mas também os microrganismos acidogênicos de crescimento mais rápido.

Segunda e terceira fases de operação do UASB

Comparando agora a segunda fase, quando a alimentação imposta contava com a presença de glicose (450mg/L) e corante azo (50mg/L), com a terceira fase de operação do reator, quando o mesmo foi alimentado com uma mistura de corante modelo (50mg/L), glicose (350mg/L) e extrato de levedura (100mg/L), os resultados apresentados na Tabela 5.4 e 5.5 mostram valores médios de eficiência de remoção de cor e DQO bastante parecidos entre as fases. Isso indica que durante a terceira fase, o valor médio de eficiência alcançada foi praticamente o mesmo da segunda fase em termos de remoção de cor e DQO. Contudo, como será discutido adiante, o uso de extrato de levedura em concentração de 100 mg/L resultou em menor eficiência de remoção de cor em relação ao uso de extrato de levedura a 500 mg/L.

Os resultados dos testes estatísticos (Tabela 5.6) confirmam que não houve variância entre a segunda e terceira fases de operação do reator em termos de eficiências médias de remoção de cor e DQO pois os dados apresentaram valores de $p > 0,05$, ou seja, a mudança de fase em nada alterou a eficiência do reator. Esta não variância pode ser observada analisando as Figuras 5.12 e 5.13. Além disso, a Figura 5.17 mostra que a adição do extrato de levedura durante a terceira fase não afetou o acúmulo de AGVs, que chegou no máximo a 46% na coleta do 13º dia.

Quarta fase em relação à segunda e terceira fases de operação do UASB

Durante a quarta fase o reator foi alimentado apenas com extrato de levedura na concentração de 100mg/L e corante azo Azul HF-RL na concentração de 50mg/L. O resultado apresenta uma queda em torno de 10% na eficiência de remoção de cor comparado às duas fases anteriores (segunda e terceira fases), que continham glicose na

alimentação (Tabela 5.4). Pode-se dizer que a glicose atuou acelerando a cinética de redução do corante azo, mas que o extrato de levedura mesmo na ausência de glicose também resultou em boa eficiência de remoção de cor. DOS SANTOS (2007 e 2005a), utilizou a glicose como doador de elétrons na concentração de 1,5g DQO/L e obteve bons resultados, portanto, durante este trabalho, mesmo a glicose estando presente em menores concentrações, é provável que ela tenha agido como doador de elétrons, acelerando a cinética de degradação do corante azo Azul HF-RL. Por outro lado, somente o extrato levedura adicionado a alimentação (quarta fase) na concentração de 100mg/L não resultou em melhorias na remoção de DQO (Tabela 5.5).

Através dos testes estatísticos foi possível comparar a quarta fase com a segunda e terceira fases e os resultados apresentaram valores de p próximos de zero, tanto para a eficiência de remoção de cor, quanto de DQO, mostrando que houve variância em termos de eficiência da quarta fase quando comparada a segunda e terceira fases (Tabela 5.6). Analisando a Figura 5.12, que mostra a variação temporal da absorbância na remoção de cor, não é possível observar com tanta clareza estas diferenças, mas os testes paramétricos indicam que há diferença entre os valores médios de eficiência de remoção de cor entre as fases. Em relação aos valores médios de eficiência para remoção de DQO utilizou-se testes não paramétricos, que são mais conservadores, e mesmo assim é possível observar diferença entre as fases operacionais (Figura 5.13).

Durante a quarta fase as análises cromatográficas não apontaram a presença de ácidos orgânicos no meio, por este motivo o gráfico de acúmulo de AGVs desta fase não foi apresentado. Já as amostras coletadas durante a terceira fase (Figura 5.17) mostram um acúmulo dos ácidos acético e propiônico, assim como a segunda fase (Figura 5.16) em que as amostras analisadas mostraram a presença do ácido acético, mas em ambas as fases o acúmulo dos ácidos nestas concentrações é considerado baixo (AQUINO 2004).

Quinta fase em relação à segunda e terceira fases de operação do UASB

Durante a quinta fase de operação o reator foi alimentado com uma mistura de glicose (350mg/L), extrato de levedura (500mg/L) e corante (50mg/L), e durante a terceira fase de operação ele foi alimentado com glicose (350mg/L), extrato de levedura (100mg/L) e corante (50mg/L) Quando se compara (Tabela 5.4) o valor médio de eficiência de remoção

de cor (64%) alcançado durante a terceira fase, com o valor alcançado durante quinta fase (93%), observa-se que o aumento da eficiência da remoção de cor, esta diretamente relacionada ao aumento da concentração do extrato de levedura presente na alimentação, como mostraram os resultados dos ensaios em batelada.

Os resultados dos testes estatísticos de comparação da terceira e quinta fases apresentaram valores de $p < 0,05$ o que significa dizer que houve diferença significativa entre a terceira e quinta fases no que se refere à eficiência de remoção de cor (Tabela 5.6), e a Figura 5.12 mostra com clareza esta diferença. Quanto à remoção de DQO os resultados da segunda, terceira e quinta fases são bastante parecidos, ou seja, mesmo quando o reator foi alimentado apenas com glicose e corante modelo (segunda fase) o resultado da média de eficiência não foi melhor que as médias alcançadas com a diminuição da glicose e o acréscimo de extrato de levedura (terceira e quinta fases), o que mostra que a glicose não resultou em maior remoção de DQO comparado ao extrato de levedura, mas como visto acima o extrato de levedura foi capaz de resultar em maior remoção de cor quando comparado com a glicose. Os testes estatísticos apresentaram valores de $p > 0,05$ o que significa dizer que em termos estatísticos não houve diferença entre as eficiências médias de remoção de DQO da segunda e terceira fases operacionais em comparação com a quinta fase de operação (Tabela 5.6).

A partir da quinta fase até a última fase observa-se um estresse acentuado no reator devido ao acúmulo de AGVs. Durante a quinta fase (Figura 5.18) as primeiras coletas analisadas já sinalizavam o problema apresentando acúmulo dos ácidos fórmico, acético e propiônico em altas concentrações, chegando a uma situação realmente crítica na coleta do oitavo dia, quando foi constatado que mais de 80% do valor de DQO no meio seria devido à presença dos AGVs. Frente a estes resultados não há como negar a influência do acúmulo desses ácidos na baixa remoção de DQO alcançada na quinta fase (Tabela 5.5 e Figura 5.13). É importante ressaltar que provavelmente este seja o motivo da não variância entre as eficiências de remoção de DQO quando se compara a quinta fase com a segunda e terceira fases, fases em que o acúmulo AGVs não alcançou níveis tão elevados (Figuras 5.16 e 5.17) como os constatados nas análises cromatográficas da quinta fase (Figura 5.18).

Oitava e terceira fases de operação do UASB

Comparando agora a oitava fase (sem a presença de glicose e com extrato de levedura 500mg/L e corante Azul HF-RL 50mg/L) com a terceira fase (glicose 350mg/L, extrato de levedura 100mg/L e corante Azul HF-RL 50mg/L), em termos de eficiência média de remoção de cor, a terceira fase alcançou remoção de cor de 64% e durante a oitava fase esta remoção de cor alcançou 91% (Tabela 5.4). Ou seja, mesmo com a presença da glicose na terceira fase, a oitava fase alcançou remoção de cor bem maior, contando apenas com a adição do extrato de levedura na concentração de 500 mg/L, conforme indicado pelos ensaios em batelada realizados na primeira etapa do trabalho. O teste estatístico de variância confirmou a diferença das eficiências médias entre as fases, pois apresentou um $p=0,000$ (Tabela 5.6).

Em termos de remoção de DQO, a oitava fase também pareceu ter alcançado melhor resultado (54%) ao passo que durante a terceira fase a remoção de DQO foi de 44% (Tabela 5.5). Contudo, em termos estatísticos esta diferença não é significativa uma vez que o teste de variância neste caso apresentou um $p=0,199$ (Tabela 5.6).

Oitava e quarta fases de operação do UASB

Comparando a oitava fase de operação do reator, quando a alimentação consistia apenas de extrato de levedura (500mg/L) e corante modelo Azul HF-RL (50mg/L), com a quarta fase em que a alimentação consistia também apenas de extrato de levedura em menor concentração (100mg/L) e o corante modelo Azul HF-RL (50mg/L), observa-se diferenças bem expressivas em termos de remoção cor e DQO (Tabelas 5.4 e 5.5 e Figuras 5.12 e 5.13). Os testes estatísticos confirmaram estas diferenças (Tabela 5.6).

Mesmo sem a presença da glicose o extrato de levedura foi capaz de induzir remoção de cor, e os resultados mostraram que o aumento na concentração de extrato de levedura resultou em aumento da eficiência de remoção de cor, fato observado durante os ensaios em batelada. Quando adicionado à alimentação na concentração de 100mg/L os resultados mostraram remoção de 54% da cor do corante azo, ao passo que na presença de 500mg/L de extrato de levedura a remoção de cor chegou a 91% (Tabela 5.4), uma diferença percentual de 37% entre as fases.

Em termos de eficiência média de remoção de DQO, a oitava fase alcançou remoção de 54% ao passo que não houve remoção significativa de DQO durante a quarta fase, provavelmente devido ao fato da DQO afluyente ter sido pequena.

A Figura 5.21 mostra o acúmulo de AGVs no meio durante a oitava fase, em que se observou a presença dos ácidos fórmico, acético e propiônico em concentrações altas, indicando que, mesmo na fase em que se obteve elevada eficiência de remoção de cor, uma ou mais etapas do consórcio anaeróbio estavam sendo prejudicadas (AQUINO e CHERNICHARO, 2005), o que contribuiu para a redução da eficiência de remoção de DQO. Vale ressaltar que a temperatura pode ter influenciado nos melhores resultados alcançados durante a oitava fase, já que durante a quarta fase as temperaturas ambientes variaram entre 22,0 °C e 25,0 °C e durante a oitava fase as temperaturas ambientes aumentaram variando entre 26,0 °C e 28,5 °C (Figura 5.15). Como citado anteriormente, o aumento da temperatura pode afetar positivamente a degradação anaeróbia de corantes azo (DOS SANTOS, 2007, 2005a,b,c, 2003), além é claro, da oitava fase contar com uma biomassa mais adaptada as diferentes alimentações impostas, portanto mais eficiente na remoção de DQO.

Oitava e quinta fases de operação do UASB

Anteriormente, comparou-se a quarta fase que continha extrato de levedura (100mg/L) e corante Azul HF-RL (50mg/L), cuja remoção de cor foi de 54%, com a terceira fase que continha além do extrato de levedura (100mg/L), a glicose (350mg/L) e o corante Azul HF-RL (50mg/L), cuja remoção de cor foi de 64% (Tabela 5.4). Neste caso pode-se dizer que a glicose atuou acelerando a cinética de redução do corante azo, mas que o extrato de levedura mesmo na sua ausência foi capaz de contribuir para a remoção de cor. O mesmo não aconteceu quando o extrato de levedura esteve presente na alimentação na concentração de 500mg/L, ou seja, comparando as eficiências médias de remoção de cor da quinta fase (extrato de levedura 500mg/L; glicose 350mg/L e corante azo 50mg/L) que foi de 93%, com àquela observada (91%) na oitava fase (extrato de levedura 500mg/L, corante azo 50mg/L e na ausência de glicose). Praticamente não houve variância em termos de remoção de cor entre as duas fases (Tabela 5.4) indicando que o extrato de levedura na concentração de 500 mg/L dispensa o uso de glicose como co-substrato.

Tal observação foi confirmada pelo teste estatístico (Tabela 5.6) entre as duas fases que apresentou um valor de $p=0,958$, o que quer dizer que estatisticamente não há diferença entre estas fases em termos de remoção de cor. Com isso pode-se dizer que a adição da glicose na alimentação quando o extrato de levedura está presente na concentração de 500mg/L não influencia na remoção da cor do corante azo Azul HF-RL.

Já quanto à remoção de DQO a diferença foi de 10%, com maior remoção alcançada na oitava fase, na ausência da glicose (Tabela 5.5), sendo que os testes estatísticos confirmaram a diferença observada (Tabela 5.6). Analisando a Tabela 5.5 observa-se uma DQO de entrada (DQO_{Aflu}) bem mais alta na quinta, fase quando comparada a DQO de entrada da oitava fase, indicando que o aumento da carga orgânica aplicada pode ter contribuído para a menor eficiência de remoção de DQO observada na quinta fase devido ao maior acúmulo de AGVs observado nesta fase.

Neste caso a temperatura pode ter influenciado nos bons resultados da oitava fase, tanto de remoção de DQO, quanto de cor, uma vez que a temperatura ambiente durante a quinta fase variou de 21,0 °C a 26,0 °C estando mais alta durante a oitava fase (25,0 °C a 28,5 °C) (Figura 5.15). Vale ressaltar, que durante a oitava fase a biomassa estava mais aclimatada as diferentes alimentações impostas, fato que também pode ter contribuído para os bons resultados alcançados nesta fase, em comparação com a quinta fase.

Oitava e sétima fases de operação do UASB

Finalmente comparando-se a oitava fase, com a sétima fase de operação do reator, que continha glicose (450mg/L) e corante azo Azul HF-RL (50mg/L) na alimentação, percebe-se que a presença do extrato de levedura foi fundamental para aumento a remoção de cor durante a oitava fase. Nesta fase a remoção de cor chegou a 91%, sendo que na sétima fase a eficiência média de remoção de cor foi de 62%, ou seja, o extrato de levedura não atua apenas como fonte de carbono e energia (doador de elétrons), mas possivelmente como mediador redox já que contém em sua composição vitaminas como a riboflavina, e a niacina, que são mediadores redox.

As eficiências médias de remoção de DQO foram bem parecidas na sétima e oitava fases, o resultado do teste estatístico de variância entre as duas fases não aponta diferença entre as

fases em termos de remoção média de DQO, pois apresentou um $p > 0,05$ (Tabela 5.6). Tal similaridade pode ser visualizada na Figura 5.13.

Como exposto anteriormente, talvez a elevação da temperatura ambiente durante a oitava fase (Figura 5.15), somado ao fato do reator estar mais aclimatado as diferentes alimentações impostas até então, possam ter influenciado nos melhores resultados alcançados nesta última fase de operação do reator.

Os resultados das análises cromatográficas da sétima fase (Figura 5.20) mostraram a presença dos ácidos fórmico, acético e propiônico em concentrações consideradas críticas, pois o acúmulo dos ácidos superou 50% do valor de DQO no meio, com exceção do quinto, décimo terceiro e décimo quarto dias, quando estes valores foram um pouco menores. O acúmulo destes ácidos provavelmente não interferiu na comparação entre as faixas de remoção de DQO alcançadas durante a sétima fase em relação à oitava fase, uma vez que houve também acúmulo de AGVs durante a oitava fase. O uso de extrato de levedura ao invés de glicose parece ter reduzido a relação de DQO_{AGV}/DQO no efluente, tendo em vista que durante a oitava fase os AGVs representaram na maioria das coletas, de 20 a 50% da DQO efluente (Figura 5.21) e durante a sétima fase a média de DQO devido a presença de AGVs foi de 53%, sendo que a coleta do 11º dia este acúmulo chegou a 88% (Figura 5.20).

Influência da Carga Orgânica no Crescimento Microbiano e na Remoção Específica de Corante e DQO

A seguir serão apresentados e discutidos resultados sobre a influência da carga orgânica aplicada ao reator no crescimento microbiano (massa microbiana) e na remoção específica de corante e DQO no reator. A Tabela 5.7 apresenta as cargas orgânicas aplicadas ao reator durante todas as fases operacionais. Para o cálculo foram usados os valores médios de DQO afluentes ao reator, que variaram de acordo com a alimentação imposta em cada fase operacional, e o valor de TDH, que foi o mesmo em todas as fases de operação.

A carga orgânica aplicada ao reator (Tabela 5.7) manteve-se em torno de $0,7\text{kgDQO}/\text{m}^3\text{d}$ durante todas as fases operacionais do UASB, com exceção da quarta e quinta fases. Durante a quarta fase este valor diminuiu bastante devido a alimentação imposta que

contava apenas com a presença de extrato de levedura na concentração de 100mg/L e o corante modelo Drimaren Azul HF-RL na concentração de 50mg/L, o que gerou uma DQO de entrada baixa e, portanto, uma carga orgânica menor. Já durante a quinta fase ocorreu o inverso, a carga orgânica passa a ser quase oito vezes maior que a da fase anterior (quarta fase) e quase duas vezes maior que a carga orgânica aplicada ao reator nas outras fases operacionais. Isso ocorreu porque o reator foi alimentado com 500mg/L de extrato de levedura e 350mg/L de glicose, além do corante modelo na concentração de 50mg/L, fazendo com que a DQO de entrada ao reator aumentasse expressivamente.

Durante as fases de operação do UASB realizou-se também uma estimativa da presença de massa de microbiana no seu interior (Figura 5.22), tal estimativa era realizada através da análise dos sólidos suspensos voláteis (SSV) sempre no início e término de cada fase, como detalhado no item 4.3 do Capítulo 4. Através desta análise foi possível monitorar a presença da massa sólida no interior do UASB durante sua operação. Monitorou-se ainda a presença de sólidos no efluente do reator, com análises semanais dos SSVs (Figura 5.23).

Tabela 5.7 – Carga orgânica aplicada ao reator.

Fases operacionais UASB	TDH (d)	Média DQO afluyente (kgDQO/m³)	Carga orgânica Aplicada (kgDQO/m³d)
1°	0,790	0,593	0,751
2°	0,790	0,562	0,711
3°	0,790	0,567	0,718
4°	0,790	0,122	0,154
5°	0,790	0,933	1,181
6°	0,790	0,581	0,736
7°	0,790	0,572	0,724
8°	0,790	0,544	0,689

A Figura 5.22 apresenta o comportamento da massa de sólidos presente no UASB, mostrando que de início houve uma elevada redução da massa, logo após o término da primeira fase operacional (fase de aclimatação do lodo), provavelmente devido ao fato de haver biomassa de inóculo em excesso no reator. A análise de SSVs realizada no efluente

durante a primeira fase apresentou baixa concentração de sólidos (Figura 5.23), mas em seguida no início da segunda fase de operação do reator, analisou-se novamente os SSVs presentes no efluente e o valor do resultado da análise foi elevado, ~90mg/L (Figura 5.23), que confirma a perda de massa sólida pelo reator.

Levando-se em conta a vazão do reator, as diferenças médias estimadas entre as concentrações de DQO e de corante (estimada a partir do valor de absorvância) na entrada e saída do reator, bem como da massa de sólidos presente no reator, foi possível estimar a remoção específica de corante e DQO durante as fases de operação do reator, como pode ser visto na Tabela 5.8. A Tabela 5.8 também trás uma estimativa da relação A/M (alimento/microrganismo), ou seja, concentração de DQO média afluyente sob a concentração microbiana presente no reator (SSVs) e da relação C/M (corante/microrganismo), ou seja, concentração de corante afluyente (50mg/L) sob concentração microbiana presente no reator (SSVs).

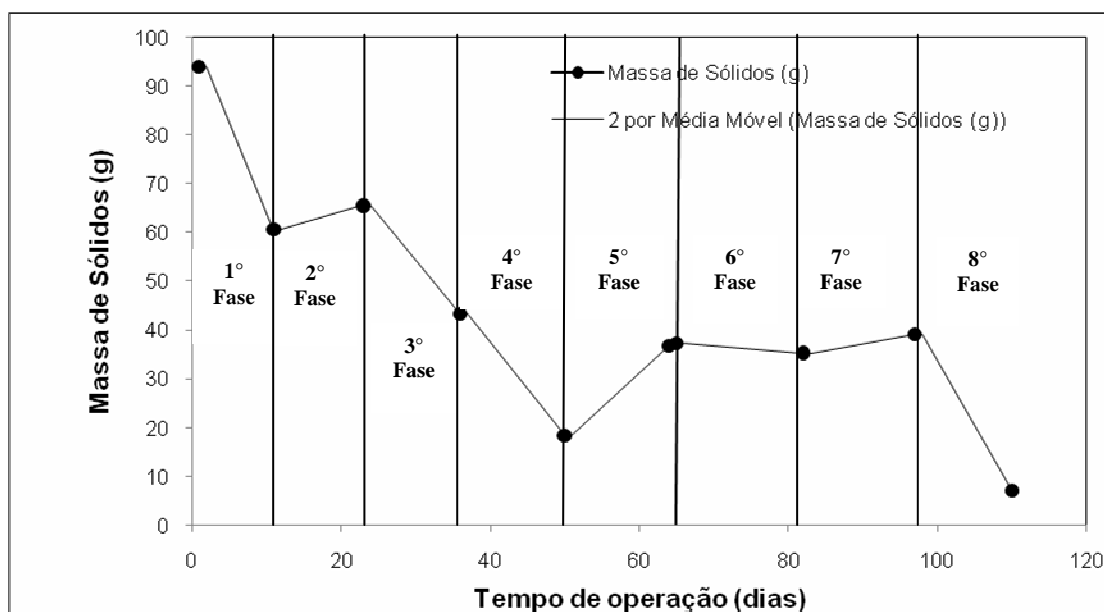


Figura 5.22 – Variação temporal da massa de sólidos suspensos voláteis no UASB.

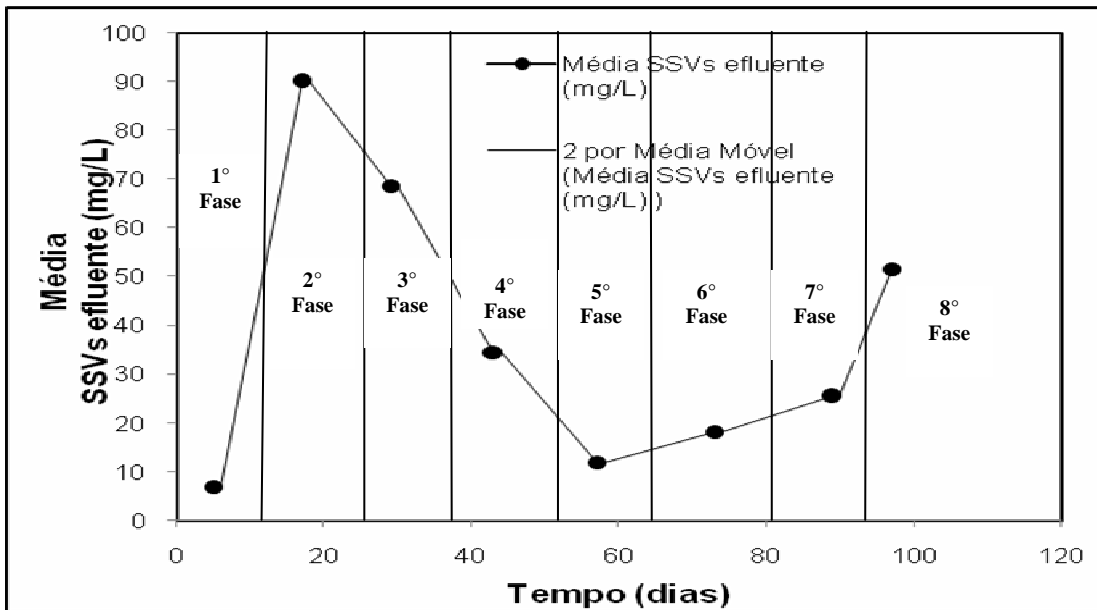


Figura 5.23 – Variação temporal da média de sólidos suspensos no efluente do UASB.

Durante a primeira fase a carga orgânica aplicada ao reator foi de $0,75\text{kgDQO}/\text{m}^3\text{d}$ (Tabela 5.7) e a remoção de DQO específica foi muito baixa comparada as outras fases operacionais (Tabela 5.8). Esta baixa remoção de DQO específica pode ser justificada pelo fato do reator ter perdido biomassa devido ao período de aclimação do lodo, mas ainda assim, o valor de biomassa dentro do reator esteve elevado, quando comparado as outras fases operacionais (Figura 5.22), ficando abaixo apenas do valor da massa da segunda fase. Outro fator que pode ter influenciado no decréscimo de massa sólida, e na baixa remoção de DQO específica, seria a formação de subprodutos intermediários da digestão anaeróbia, as aminas aromáticas, que podem ter se acumulado no meio afetando diretamente o crescimento microbiano, como pode ser visto em detalhes no item 3.3.3 do Capítulo 3.

Observa-se que durante a segunda fase, quando o reator foi alimentado com glicose e corante e a carga orgânica aplicada foi de $0,71\text{kgDQO}/\text{m}^3\text{d}$ (Tabela 5.7), valor bem parecido com o da primeira fase, a massa de sólidos cresce um pouco ($65,5\text{g}$), voltando a cair durante a terceira fase ($43,3\text{g}$) com o acréscimo do extrato de levedura na alimentação, e caindo mais ainda durante a quarta fase ($18,4\text{g}$), quando o reator foi alimentado apenas com extrato de levedura (Figura 5.22). Durante a quarta fase a DQO de entrada era muito baixa, o que correspondeu a uma carga orgânica de apenas $0,15\text{kgDQO}/\text{m}^3\text{d}$ (Tabela 5.7). Tal fato parece ter ocasionado um brusco decréscimo da massa microbiana do reator, refletindo em baixos valores de remoção de DQO e cor específicos apresentados nesta fase (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 - Estimativa de remoção específica de corante e DQO no reator UASB.

Fases Operacionais do UASB	Estimativa de remoção específica de corante (g/kgSSVd)	Estimativa de remoção específica de DQO (g/kgSSVd)	Relação estimada (DQO/SSV)	Relação estimada (CORANTE/SSV)
1° Fase	Não aplicável	18,5	0,008	Não aplicável
2° Fase	5,3	39,1	0,011	0,001
3° Fase	6,0	43,7	0,011	0,001
4° Fase	9,0	8,4	0,003	0,001
5° Fase	16,7	132,6	0,064	0,003
6° Fase	Não aplicável	78,8	0,020	Não aplicável
7° Fase	8,3	95,1	0,039	0,003
8° Fase	19,6	127,4	0,182	0,017

Vale ressaltar que os decréscimos sucessivos da massa do reator durante a terceira e quarta fases, podem ser devido ao acúmulo de aminas aromáticas, além é claro da influência da alimentação (redução da carga orgânica) imposta ao reator durante estas fases. Apesar disto, analisando a Tabela 5.8 observa-se que a remoção de corante e DQO da terceira fase (reator foi alimentado com corante, extrato de levedura e glicose), foi praticamente a mesma da segunda fase (reator alimentado com corante e glicose); isto significa dizer que mesmo o reator tendo perdido mais de 30% da biomassa durante a terceira fase (em relação a segunda fase) (Figura 5.22), ele foi capaz de remover DQO e cor do meio na mesma proporção da segunda fase. Isso provavelmente ocorreu devido ao fato da biomassa que permaneceu no reator estar mais adaptada ao corante presente na alimentação.

Durante a quarta fase, quando reator foi alimentado apenas com extrato de levedura as remoções de cor e DQO específicas foram baixas, fato ocasionado talvez devido à menor carga orgânica imposta ao reator nesta fase (Tabela 5.7). Durante a quinta fase além da adição do extrato de levedura em maior concentração, a glicose volta a ser adicionada ao reator, com isso a DQO de entrada passa a ser de quase 1000mg/L, valor que corresponde a uma carga orgânica bastante alta (1,18kg/m³d) (Tabela 5.7), com isso a massa microbiana volta a crescer (Figura 5.22), e a remoção específica de corante e DQO aumentaram

expressivamente (Tabela 5.8). A partir da quinta fase (Figura 5.22), a massa de sólidos dentro do reator se manteve constante até o término da sétima fase.

Durante a oitava e última fase houve um novo decréscimo expressivo da massa de sólidos em relação às fases anteriores (quinta, sexta e sétima fases), durante esta fase o reator foi alimentado apenas com extrato de levedura (500mg/L) o que gerou uma DQO de entrada de pouco mais de 500mg/L, valor que corresponde a uma carga orgânica de 0,689kgDQO/m³.d (Tabela 5.7). Como observado na Figura 5.22 a massa de sólidos no reator veio diminuindo progressivamente devido a redução do crescimento microbiano causada possivelmente pela toxicidade dos subprodutos da digestão anaeróbia (aminas aromáticas) que segundo ISIK e SPONZA (2007) são persistentes à degradação anaeróbia. Vale ressaltar que os resultados das análises de SSVs mostram a presença acentuada de sólidos no efluente do reator (Figura 5.23) nesta fase. Apesar disto, a remoção específica de corante (Tabela 5.8) nesta fase foi mais elevada que nas outras fases, e a remoção de DQO específica foi um pouco menor que a remoção alcançada durante a quinta fase (fase com melhor remoção de DQO específica), fase em que o reator foi alimentado com glicose e extrato de levedura, e a massa presente era 80% maior que a da oitava fase (Figura 5.22). Provavelmente o reator foi inoculado com lodo de excesso, e o lodo que permaneceu no reator durante a oitava fase já estava mais adaptado também às condições de toxicidade causada possivelmente por amina aromática, que foram sendo adsorvidas ao lodo com o passar das fases operacionais do UASB

6 – CONCLUSÕES

Durante os ensaios em batelada os resultados mostraram que a presença da glicose na concentração de 0,2g/L, adicionada juntamente com o extrato de levedura nas concentrações de 0,005g/L, 0,05g/l e 0,5g/L não resultou em melhoria da cinética de remoção de cor, quando comparada ao extrato de levedura adicionado nas mesmas concentrações sem a presença da glicose. Já a presença da glicose na concentração de 0,5g/L (sem a presença do extrato de levedura), possibilitou a remoção durante as primeiras horas apenas 25% da cor do corante azo Azul HF-RL, ao passo que o extrato de levedura na mesma concentração foi capaz de remover 87% da cor do meio, durante o mesmo período de tempo. Este fato pôde ser confirmado durante a operação do UASB (TDH de 19h) que apresentou remoção de cor 30% maior durante a fase em que foi operado com extrato de levedura 0,5g/L (remoção de 90% da cor) comparado a fase em que foi operado com glicose também na concentração de 0,5g/L (remoção de 60% da cor), confirmando o melhor desempenho do extrato de levedura em relação a glicose.

Durante a operação do UASB foi possível constatar que a adição de glicose (0,35g/L) juntamente com extrato de levedura (0,1g/L) ou de glicose (0,5g/L) sem a presença do extrato de levedura, resultou em remoção de pouco mais de 60% da cor afluyente. Por outro lado, a adição de glicose (0,35g/L) com extrato de levedura em concentração maior (0,5g/L) resultou em mais de 90% de remoção da cor afluyente; mesma eficiência obtida quando o reator UASB foi alimentado com extrato de levedura (0,5g/L) na ausência de glicose. Como a presença da glicose não trouxe vantagens na remoção de cor e DQO, se comparados ao uso do extrato de levedura na concentração de 0,5 g/L, e como ambos compostos contribuem para a elevação da DQO e carga orgânica afluyente, recomenda-se o uso do extrato de levedura (0,5 g/L) ao invés da glicose como fonte de carbono e energia e de mediadores redox.

O extrato de levedura de fato acelerou a cinética de degradação do corante; sendo que mesmo presente na concentração de 0,005g/L (ensaios em batelada) ele foi capaz de remover cor, principalmente nas primeiras vinte e quatro horas. Contudo, os resultados do trabalho mostraram que a adição de extrato de levedura na concentração de 0,5g/L resultou

nos melhores resultados tanto nos ensaios em batelada, quanto contínuos, quer seja com a adição conjunta de glicose quer seja na sua ausência.

A presença da riboflavina (vitamina B2), testada em algumas concentrações durante os ensaios em batelada, também acelerou a degradação do corante, mas tais resultados foram muito inferiores aos obtidos com o extrato de levedura, mesmo quando presente na menor concentração. Tais resultados indicam que outros compostos além da riboflavina presentes no extrato de levedura influenciaram positivamente na degradação do corante azo estudado.

Durante o trabalho observou-se que parte do corante foi adsorvido pela biomassa, o que possivelmente não interferiu negativamente nos resultados do trabalho, uma vez que esta adsorção só ocorreu após as primeiras vinte quatro horas de contato do corante com a biomassa (ensaios em batelada), justamente o período em que o extrato de levedura potencializa sua função (primeiras 24 horas), além disso, a grande afinidade de adsorção do corante pelo lodo facilita sua remoção da fase líquida durante os experimentos com alimentação contínua.

Durante a etapa contínua, observou-se um crescente acúmulo de AGVs no decorrer das fases operacionais do UASB, evidenciando que os subprodutos da degradação do corante azo foram tóxicos para a biomassa, e indicando ainda que tais produtos podem ter sido adsorvidos pela biomassa do reator, interferindo assim no seu crescimento.

Durante a fase contínua monitorou-se a temperatura ambiente e observou-se que em épocas mais quentes, como por exemplo, durante a fase em que o reator foi alimentado com extrato de levedura (0,5g/L), os resultados de remoção de cor e DQO foram melhores que durante as outras fases operacionais, porém não se pode afirmar se esta elevação de temperatura em torno de 4 °C tenha sido o fator chave para os melhores resultados alcançados nesta fase. Mas, pode-se concluir que é possível tratar efluentes têxteis à temperatura ambiente, pois os resultados mostraram que houve remoção de cor e DQO do efluente têxtil sintético tratado por reator UASB à temperatura ambiente.

7 – SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma sugestão para trabalhos futuros seria a adição de uma etapa de pós-tratamento, como por exemplo, o tratamento aeróbio, para que houvesse a remoção da DQO residual e dos subprodutos gerados durante este tratamento, adequando o efluente aos padrões ambientais exigidos.

Além de uma etapa de pós-tratamento aeróbio, uma outra alternativa atrativa para trabalhos futuros seria a adição de carvão ativado em pó no interior do reator UASB, o carvão adsorveria o corante residual e os subprodutos tóxicos gerados durante o tratamento anaeróbio.

Estudos para identificação e quantificação dos subprodutos da digestão anaeróbia (aminas aromáticas), seria uma outra alternativa interessante para trabalhos futuros, assim como estudos bioquímicos para melhor compreensão das questões relativas a degradação do corante azo Azul HF-RL em ambientes anaeróbios, e a real influência da adição do extrato de levedura na sua degradação.

Avaliar a performance do extrato de levedura em outras concentrações, assim como avaliar o seu desempenho na degradação de cor de efluente real seriam outras boas alternativas para trabalhos futuros.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ª Ed. Washington, EUA. American Public Health Association. 1998.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, e FLORÊNCIO, L.; MONTEGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 12, p. 192-201, 2007.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. *Engenharia Sanitária Ambiental*; v. 10, N. 2, 2005.

AQUINO, S. F.; Formation of soluble microbial products (SMP) in anaerobic reactors during stress conditions. Tese (Doutorado) – Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College London, London, 2004.

B. MANU e CHAUDHARI. S. Anaerobic Descolorisation of Simulated Textile Wastewater Containing Azo Dyes. *Bioresource Technology*, 2002.

BLUMEL, S. e STOLZ, A. Cloning and characterization of the gene coding for the aerobic azoreductase from pigmentiphaga kullae k24. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 62, p. 186-190, 2003.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*, São Paulo, CETESB, p. 326 e 328, 1993.

BRIONES, R e KUPPUSAMY, I. Tratamiento anaerobio del agua residual de la industria textil mediante un reactor tipo EGSB a escala laboratorio y piloto. Instituto de Ingeniería, UNAM México, 1997. Disponível em: www.bases.bireme.br (biblioteca virtual em saúde). Acesso em 01/2009.

CERVANTES, F. J.; ENRIQUEZ, J. E.; MENDOZA, A.; HERNANDEZ, Z. M. R.; RAZO-FLORES e FIELD, J. A. The role of sulphate reduction on the reductive decolorization of the azo dye reactive orange 14. *Water Science & Technology*, v. 54, N. 2, p. 171–177, 2006.

CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias “Reatores Anaeróbios”*. Belo Horizonte, 2º Ed.: SEGRAC, v. 5, p. 379, 2007.

CHERNICHARO, C. A. L.; HAANDEL, A. V.; AISSE, M. M.; CAVALCANTI, P. F. F. Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo. In: TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS POR PROCESSOS ANAERÓBIOS E DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO, ABES, p. 155-198, Rio de Janeiro, 1999.

CLAUS, H.; FABER, G.; KOENIG, H. Redox-mediated decolorization of synthetic dyes by fungal laccases. *Microbiology and Biotechnology*, v. 59, N. 6, p. 672-678, 2002.

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa nº 10, de 16 de dezembro de 1986. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br>. Acesso em 03/2009.

DOS SANTOS, A. B. Impacto dos mediadores redox na remoção de cor de corantes azo e antraquinônico por lodo granular anaeróbio sob condições mesofílicas e termofílicas. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 12, 2007.

DOS SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J. e VAN LIER, J. B. Potentials of high-temperature anaerobic treatment and redox mediators for the reductive decolourisation of azo dyes from textile wastewaters. *Wat. Sci. Technol*, v. 54, N 2, p. 151-156, 2006.

DOS SANTOS, A. B. Aplicação conjunta de tratamento anaeróbio termofílico por lodo granular e de mediadores redox na remoção de cor de águas residuárias têxteis. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, N 3, p. 253-259, 2005a.

DOS SANTOS, A. B. Fundamentos da biotecnologia aplicada à remoção de cor de esgotos têxteis. *Tecnol, Fortaleza*, v. 26, N. 1, p. 80-90, 2005b.

DOS SANTOS, A. B.; Reductive decolourisation of dyes by thermophilic anaerobic granular sludge. Tese (Doutorado) – Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2005c.

DOS SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J.; YAYA-BEAS, R. E.; VAN LIER, J. B. Effect of redox mediator, AQDS, on the decolourisation of a reactive azo dye containing triazine group in a thermophilic anaerobic EGSB reactor. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 33, p. 942-951, 2003.

DURÁN, N.; ROSA, M. A. D. A.; e GIANFREDA, L. Applications of laccases and tyrosinases (phenoloxidases) immobilized on different supports. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 31, p. 907-931, 2002.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Biossolids generation, use and disposal in the United States. September, 1999.

HERNÁNDEZ, Y. S. H e CHÁVEZ, G. E. M. Tratamiento da aguas residuales de la industria de azocolorantes por medio e un proceso biologico combinado. In: XXXI CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS. Santiago, Chile 2008.

ISAAC, R. L. e PORRAS, A. C. Controle de poluição das águas pelo international center for environmental technology transfer (ICETT). Dissertação (Mestrado) –Japão. pelaUniversidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2003.

ISIK, M. e SPONZA, D. T. Fate and toxicity of azo dye metabolites under batch long-term anaerobic incubations. *Enzyme and Microbial Technology*, p.40, N. 939, 2007.

KIMURA, I. Y.; FÁVERE, V. T.; LARANJEIRA, M. C. M.; JOSUÉ, A. e NASCIMENTO, A. Avaliação da capacidade de adsorção do corante reativo laranja 16 pela quitosana. *acta scientiarum* 22(5):1161-1166, ISSN 1415-6814, 2000.

KUNZ, A.; MORAES, S. G.; NELSON DURÁN, N. E ZAMORA, P. P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Disponível em: www.qmcweb.org. Acesso em 26/03/09.

LACERDA, J. P.; Estudo do impacto ambiental nos cursos d'água causado pelo lançamento de efluentes de indústrias do município de Itabirito, MG. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

LANÇAS, F. M. Validação de métodos cromatográficos de análise. São Carlos: RiMa.62p, 2004.

LEÃO, M. D.; CARNEIRO, E. V.; SCHWABE, W. K.; RIBEIRO, E. D. L.; SOARES, A. F. S. e TORQUETTI, Z. S. C. *Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas*. 1º Ed, v. 1, 356 p, 2002.

LUCAS, M.; PÂMELA F. P.; TOASSI, J.; JÜRGEN, A.; BARCELLOS, I. O.; ZAMORA, P. P. Reutilização de efluente de tingimentos de fibras acrílicas pós-tratamento fotoeletroquímico. *Quím. Nova* v.31, N.6, 2008.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. Brock biology of microorganisms. New Jersey: Prentice-Hall, 2003

MÉNDEZ-PAZ, D.; OMIL, F.; LEMA, J. M. Anaerobic treatment of azo dye Acid Orange 7 under batch conditions. *Enzyme and Microbial Technology*, p. 36 264-272, 2005.

MESQUITA, P. L. Caracterização de Produtos Microbianos Solúveis (SMPs) em Reatores Aeróbio e Anaeróbio de Bancada em Diferentes Condições Operacionais. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

METCALF e EDDY. *Wastewater engineering treatment disposal reuse*. 4º Ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p, 2003.

OLIVA, L. C. H. C. Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) protótipo: desempenho e respostas dinâmicas as sobrecargas hidráulicas. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 218p, 1997.

ORTIZ, A. C. T. Tratamento Biológico com biomassa suspendida anaeróbio / aeróbio de efluente de uma indústria têxtil contendo corante azo. In: XXXI CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, Santiago, Chile, 2008.

PÔRTO, L. C. S. Remoção de cor de efluente têxtil através do sistema de lodos ativados em batelada com adição de carvão ativado em pó. In: XXVIII CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Cancun, México 2002.

RAU, J.; KNACKMUSS, H. J.; STOLZ, A. Effects of different quinoid redox mediators on the anaerobic reduction of azo dyes by bacteria. *Environmental Science and Technology*, v. 36, p. 1497-1504, 2002.

RAZO FLORES, E.,LUIJTEN, M., LETTINGA, G., FIELD, J. Biodegradação de corantes azóicos selecionados em condições anaeróbias. RITTMANN, B. E. E P. L. e MC.CARTY. *Environmental Biotechnology: principles and applications*, McGraw Hill, 2001.

ROCHA, M. A. G. R. Estudos da atividade metanogênica de lodos e da biodegradabilidade anaeróbia de efluentes de indústrias de bebidas. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SOMASIRI, W; XIU-FEN, L. W. R.; CHEN, J. Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of colour and reduction of COD in real textile wastewater. *Bioresource Technology*, 2007.

SPEECE, R. E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Archae Press., Nashville, USA, 1996.

STOLZ, A. Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 56: p. 69-80, 2001.

TUNUSSI, J. L e ALEM SOBRINHO, P. S. Remoção de cor e nitrificação de efluentes de tinturaria têxtil através de processos biológicos anaeróbio-aeróbio. In: CONGRESSO AIDIS, 2003. Disponível em: www.agualatinoamerica.com. Acesso em 08/2008.

VAN DER ZEE, F. P.; BOUWMAN, R. H. M.; STRIK, D. P. B. T. B; LETTINGA, G. e FIELD, J. A. Application of redox mediators to accelerate the transformation of reactive azo dyes in anaerobic bioreactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 2001.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente, EPGRAF, Campina Grande, 240 p, 1997. Disponível em: www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/DigeAnae.html. Acesso em 23/01/09.

VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Ed.:SEGRAC, v. 2,3., 452p, 2005.

ANEXO

Fichas técnicas dos corantes utilizados no trabalho e composição do extrato de levedura

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos**Químicos em acordo com a NBR-14725****Drimaren Azul HF-RL cdg**

Página 1

Código do Produto: CLA123
Versão: 1 - 13 / BRData da Revisão: 02.01.2007
Data da Impressão: 26.10.2007**1. Identificação do produto e da empresa**Nome comercial: **Drimaren Azul HF-RL cdg** n° Material: 00000000000161952

n° Material: 00000000000161952

Código Interno de Produto : CLA123

Identificação da sociedade/empresaClariant S.A.
Av. das Nações Unidas
04795-900 São Paulo
Número de telefone : +55 11-66837233**Informação da substância/preparação**Textile, Leather & Paper Chemicals
Product Safety, ++41-(0)61-469-5121

Telefone de emergência: +55 11 47 47 47 41

2. Composição e Informações sobre os Ingredientes**Caracterização química:**Corante azo/complexo de cobre
reativo**Componente perigoso:**Azul MGI 1037 (informação da torta)
Concentração: 65 - 70 %
Símbolos de Perigo: XI
Frases R: 41**3. Identificação dos Perigos**

Risco de graves lesões oculares.

4. Medidas de Primeiros Socorros**Recomendações em geral:**

Remover todo o vestuário contaminado imediatamente.

Em caso de inalação:

Após a inalação respirar imediatamente ar fresco.

Em caso de contato com a pele:

Em caso de contato com a pele lavar imediatamente com água e sabão.

**FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos
Químicos em acordo com a NBR-14725
Drimaren Azul HF-RL cdg**

Página 2

Código do Produto: CLA123
Versão: 1 - 13 / BR

Data da Revisão: 02.01.2007
Data da Impressão: 26.10.2007

Em caso de contato com os olhos:

Em caso de contato com os olhos, enxaguar imediatamente com muita água, durante 15 minutos.
Providenciar tratamento médico.

Em caso de ingestão:

Se ocorrer ingestão procurar imediatamente conselho médico (tratar sintomaticamente).

5. Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados:

Compatível com todos os meios habituais de extinção.

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança:

Sem restrições

Perigos específicos da substância e seus produtos de combustão ou gases formados:

Em caso de incêndio, podem ser liberados:

Óxidos de carbono
Óxidos de Nitrogênio (NOx)
Óxidos de Enxofre
Fluoreto de Hidrogênio (HF)
Óxidos de Cobre

6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

Procedimento de limpeza/recolhimento:

Recolher mecanicamente. Enxaguar o restante com água.
Limpeza dos equipamentos com Água.

Recomendações adicionais:

Não pode ser lançado em esgotos, escoadouros ou poços.
Recolher quando seco e se possível reciclar.

7. Manuseio e Armazenamento

Recomendações para utilização sem perigo:

Evitar formação de poeira/acúmulo de poeira.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão:

Manter afastado de fontes de ignição - Não fumar.
Tomar medidas contra carregamento eletrostático.
Evitar formação de poeira.
Observar as medidas de precaução normais necessárias para químicos com propriedades de explosão de pós (Observar legislação nacional).

8. Controle de exposição e proteção individual

**FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos
Químicos em acordo com a NBR-14725
Drimaren Azul HF-RL cdg**

Página 3

Código do Produto: CLA123
Versão: 1 - 13 / BRData da Revisão: 02.01.2007
Data da Impressão: 26.10.2007**Medidas de higiene do trabalho:**

Recentemente foram detectados diversos casos de alergias nas vias respiratórias que foram atribuídos aos efeitos de sensibilização de alguns corantes reativos quando inalados na forma de pó. Não pode ser excluído um risco deste tipo durante o manuseio de corantes reativos, se este não for efetuado com o cuidado e a limpeza requeridos para todas as substâncias em forma de pó. Até ao momento não existe nenhum teste oficialmente reconhecido que permita detectar este risco.

Por este motivo deve ser evitada a formação de pó durante o manuseamento de corantes reativos. Se não estiver disponível um sistema de ventilação, devem ser utilizadas máscaras de pós. O contato com a pele também deve ser evitado através da utilização de luvas e vestuário de proteção. Se, apesar de serem tomadas estas precauções, se verificar a ocorrência de sintomas asmáticos, deve ser consultado um médico. As pessoas com problemas de sensibilização devem ser transferidas para outro local de trabalho.

Apesar de não serem conhecidos casos de sensibilização devido ao manuseio de soluções de corantes reativos, as recomendações acima referidas também se aplicam ao caso de aerossóis de soluções de corantes reativos.

Proteção das mãos: luvas resistentes a produtos químicos

Proteção dos olhos: Óculos de proteção hermeticamente fechado

9. Propriedades físico-químicas

Estado físico:	granulado
Cor:	azul escuro
Odor:	inodoro
Ponto de fusão :	não aplicável
Ponto de ebulição :	não aplicável
Densidade:	0,65 g/cm ³ (20 °C)
Solubilidade em água:	100 g/l (20 °C)
valor pH:	5,5 - 6,5 (50 g/l)

10. Estabilidade e reatividadeDecomposição térmica: 160 °C
Método: teste de decomposição isoperibólicaReações perigosas:
Risco de explosão do pó.Produtos perigosos de decomposição:
Não ocorre decomposição se usado de forma prescrita.

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos em acordo com a NBR-14725

Drimaren Azul HF-RL cdg

Página 4

Código do Produto: CLA123
Versão: 1 - 13 / BR

Data da Revisão: 02.01.2007
Data da Impressão: 26.10.2007

11. Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana) Diretriz 1999/45/EC
Efeito de Irritação dérmica:	não irritante (Coelho) Diretriz 1999/45/EC
Irritante aos olhos:	irritante - Risco de danos graves nos olhos (Coelho) Diretriz 1999/45/EC
Sensibilização:	não sensibilizante (Porquinho-da-Índia) Diretriz 1999/45/EC

12. Informações ecológicas

Biodegradabilidade:	< 5 % (Redução do COD(Carb. Org. Dissolv.)) Método: Estimativa a partir dos componentes
Toxicidade em peixes:	CL50 > 100 mg/l (96 h, Trutas arco-Íris) Diretriz 1999/45/EC
Toxicidade em dáfnias:	CE50 > 100 mg/l (48 h, Daphnia magna) Diretriz 1999/45/EC
Toxicidade em bactérias:	CE50 > 100 mg/l (Lodo biológico) Diretriz 1999/45/EC
Demanda química de oxigênio (DQO):	975 mg/g Método: DIN 38409-H41
Observações:	Produto não contém Halogênio em ligação orgânica, que produza valor AOX.

13. Considerações sobre tratamento e disposição

- Produto:**
Disponibilizar em observação das definições da autoridade responsável local.
- Embalagens não limpas:**
Considerar a reciclagem.
- Composição Elementar**
C, H, F, N (9%), O, S, Cu (3,7%),

14. Informações para transporte

**FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos
Químicos em acordo com a NBR-14725
Drimaren Azul HF-RL odg**

Página 5

Código do Produto: CLA123
Versão: 1 - 13 / BR

Data da Revisão: 02.01.2007
Data da Impressão: 26.10.2007

MERCO	Mercadoria não perigosa
IATA	Mercadoria não perigosa
IMDG	Mercadoria não perigosa

15. Regulamentações

Etiquetagem Brasileira de acordo com a Norma Regulamentadora nº 26 do Ministério do Trabalho

Frases de risco

Risco de graves lesões oculares.

Conduzir a uma Unidade de Incineração de Resíduos Especiais autorizada para isto, observando das normas de Resíduos Especiais.

Frases de segurança

Conservar em recipiente bem fechado em lugar fresco e ventilado.

Após contato com a pele, lavar imediata e abundantemente com água e sabão.

Quando spray em neblina é inalado, procurar ajuda médica e mostrar a embalagem do produto ou o rótulo ao médico.

Em caso de ingestão solicitar aconselhamento médico imediatamente e apresentar embalagem ou etiqueta.

Em caso de contato com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar um especialista.

16. Outras Informações

Os dados são baseados em nosso estágio atual de conhecimento e destinam-se a descrever o produto em relação aos requisitos de segurança. As informações fornecidas não implicam em quaisquer garantias de especificações particulares ou gerais. É de responsabilidade do usuário garantir que o produto seja adequado para o uso e método de aplicação previsto. Não assumimos responsabilidade por qualquer dano causado pela má utilização desta informação. Para os demais casos, aplica-se nossa condição geral de vendas.

**FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos
Químicos em acordo com a NBR-14725
Drimaren Azul Marinho CL-R p**

Página 1

Código do Produto: KS15719
Versão: 1 - 8 / BR

Data da Revisão: 14.12.2006
Data da Impressão: 26.10.2007

1. Identificação do produto e da empresa

Nome comercial: Drimaren Azul Marinho CL-R p n° Material: 000000000000102831
n° Material: 000000000000102831
Código Interno de Produto : KS15719
Identificação da sociedade/empresa
Clariant S.A.
Av. das Nações Unidas
04795-900 São Paulo
Número de telefone : +55 11-56837233
Informação da substância/preparação
Textile, Leather & Paper Chemicals
Product Safety, ++41-(0)61-469-5121
Telefone de emergência: +55 11 47 47 47 41

2. Composição e Informações sobre os Ingredientes

Caracterização química:
Corantes azo
Mistura
reativo

Componente perigoso:
C.I. Reactive Black 5
Concentração: 70 - 80 %
No. CAS: 17095-24-8
Número EINECS: 241-164-5
Símbolos de Perigo: Xn
Frases R: 42/43 52/53

3. Identificação dos Perigos

Pode causar sensibilização por inalação e em contato com a pele.
Nocivo para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos nefastos a longo prazo no ambiente aquático.

4. Medidas de Primeiros Socorros

Em caso de Inalação:
Após a Inalação respirar imediatamente ar fresco.

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos em acordo com a NBR-14725

Drimaren Azul Marinho CL-R p

Página 2

Código do Produto: KS15719
Versão: 1 - 8 / BR

Data da Revisão: 14.12.2006
Data da Impressão: 26.10.2007

Em caso de contato com a pele:

Após contato com a pele, lavar imediatamente com água em abundância e sabão.

Em caso de contato com os olhos:

Enxaguar imediatamente os olhos com água corrente.

Em caso de ingestão:

Se ocorrer ingestão procurar imediatamente conselho médico (tratar sintomaticamente).

5. Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados:

Todos

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança:

Sem restrições

Perigos específicos da substância e seus produtos de combustão ou gases formados:

Oxidos de carbono

Oxidos de Azoto

Oxidos de enxofre

Informações adicionais:

Irrigar e amolecer o conteúdo e as partes metálicas com um jato de água em spray.

6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

Procedimento de limpeza/recolhimento:

Enxaguar pequenas quantidades com Água.

Recomendações adicionais:

Não pode ser lançado em esgotos, escoadouros ou poços.

Recolher tal qual e considerar a sua reciclagem.

7. Manuseio e Armazenamento

Recomendações para utilização sem perigo:

Não são requeridas medidas especiais.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão:

Não são requeridas medidas especiais.

Em princípio, com produtos orgânicos que estão - intencionalmente ou não - na forma de pó, o perigo de explosão de pó deve estar em mente.

8. Controle de exposição e proteção individual

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos
Químicos em acordo com a NBR-14725
Drimaren Azul Marinho CL-R p

Página 3

Código do Produto: KS15719
Versão: 1 - 8 / BR

Data da Revisão: 14.12.2006
Data da Impressão: 26.10.2007

Medidas de higiene do trabalho:

Não respirar as poeiras.

Recentemente foram detectados diversos casos de alergias nas vias respiratórias que foram atribuídos aos efeitos de sensibilização de alguns corantes reativos quando inalados na forma de pó. Não pode ser excluído um risco deste tipo durante o manuseio de corantes reativos, se este não for efetuado com o cuidado e a limpeza requeridos para todas as substâncias em forma de pó. Até ao momento não existe nenhum teste oficialmente reconhecido que permita detectar este risco.

Por este motivo deve ser evitada a formação de pó durante o manuseamento de corantes reativos. Se não estiver disponível um sistema de ventilação, devem ser utilizadas máscaras de pó. O contato com a pele também deve ser evitado através da utilização de luvas e vestuário de proteção. Se, apesar de serem tomadas estas precauções, se verificar a ocorrência de sintomas asmáticos, deve ser consultado um médico. As pessoas com problemas de sensibilização devem ser transferidas para outro local de trabalho.

Apesar de não serem conhecidos casos de sensibilização devido ao manuseio de soluções de corantes reativos, as recomendações acima referidas também se aplicam ao caso de aerossóis de soluções de corantes reativos.

Proteção respiratória: sim

Proteção das mãos: luvas resistentes a produtos químicos
Observar as informações do fabricante da luva relativas a permeabilidade, tempo de ruptura e outros requisitos do local de trabalho.

Proteção dos olhos: óculos de proteção

9. Propriedades físico-químicas

Estado físico:	Pó
Cor:	castanho escuro
Odor:	nenhum
Ponto de fusão :	não aplicável
Ponto de ebulição :	não aplicável
Ponto de Fulgor:	não aplicável
Densidade a granel:	650 kg/m ³
Solubilidade em água:	100 g/l (25 °C) solúvel
valor pH:	4,5 - 5,0 (20 °C, 10 g/l)

10. Estabilidade e reatividade

**FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos
Químicos em acordo com a NBR-14725
Drimaren Azul Marinho CL-R p**

Página 4

Código do Produto: KS15719
Versão: 1 - 8 / BR

Data da Revisão: 14.12.2006
Data da Impressão: 26.10.2007

Reações perigosas:

Quando manuseado e armazenado apropriadamente, não há conhecimento de reações perigosas.

Produtos perigosos da decomposição:

Quando usado e manuseado como previsto, nenhum.

11. Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana) Diretriz 1999/45/EC
Efeito de Irritação dérmica:	não irritante (Coelho) Diretriz 1999/45/EC
Irritante aos olhos:	não irritante (Coelho) Diretriz 1999/45/EC
Sensibilização:	sim (Humano) Diretriz 1999/45/EC

12. Informações ecológicas

Biodegradabilidade:	< 10 % (28 d, CCO) Método: Estimativa a partir dos componentes
Toxicidade em peixes:	CL50 10 - 100 mg/l (48 h, Truta arco-Íris (salmo gairdneri, oncorhynchus mykiss)) Diretriz 1999/45/EC
Toxicidade em bactérias:	C150 > 100 mg/l (Lodo biológico) Diretriz 1999/45/EC

13. Considerações sobre tratamento e disposição

Produto:

No entanto, as normas da autoridade responsável devem ser observadas.
Inclinação num forno controlado, e aprovado, com depurador de combustão de gás e emissão de gases controlada.

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos**Químicos em acordo com a NBR-14725**

Drimaren Azul Marinho CL-R p

Página 3

Código do Produto: KS15719
Versão: 1 - 8 / BRData da Revisão: 14.12.2006
Data da Impressão: 26.10.2007

MERCO	Mercadoria não perigosa
IATA	Mercadoria não perigosa
IMDG	Mercadoria não perigosa

15. Regulamentações

Etiquetagem Brasileira de acordo com a Norma Regulamentadora nº 26 do Ministério do Trabalho

Frases de risco

Pode causar sensibilização por inalação e em contato com a pele.
Conduzir a uma Unidade de Incineração de Resíduos Especiais autorizada para isto, observando das normas de Resíduos Especiais.

Frases de segurança

Conservar em recipiente bem fechado em lugar fresco e ventilado.
Em caso de contato com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar um especialista.
Após contato com a pele, lavar imediata e abundantemente com água e sabão.
Em caso de inalação transportar para o Ar fresco e solicitar aconselhamento médico.
Em caso de ingestão solicitar aconselhamento médico imediatamente e apresentar embalagem ou etiqueta.

16. Outras Informações

Os dados são baseados em nosso estágio atual de conhecimento e destinam-se a descrever o produto em relação aos requisitos de segurança. As informações fornecidas não implicam em quaisquer garantias de especificações particulares ou gerais. É de responsabilidade do usuário garantir que o produto seja adequado para o uso e método de aplicação previsto. Não assumimos responsabilidade por qualquer dano causado pela má utilização desta informação. Para os demais casos, aplica-se nossa condição geral de vendas.



SIDERQUÍMICA

1/3

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE CORANTES (FISPC)

Produto: VERMELHO SIDERCRON VSRB-133% Data de criação: 27/01/2005 → Revisão: 0.1

Seção 1 - IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome produto: VERMELHO SIDERCRON VSRB-133%
Código interno de identificação do produto: 13.302
Nome da empresa: Siderquímica Ind. e Com. de Produtos Químicos S/A
Endereço: Rodovia BR-376, Km 22,3-a-a - São José dos Pinhais - PR
Fone: 41 - 2105 - 3838 - Fax: 41 - 2105 - 3860 - E-mail: sd@siderquimica.com.br

Seção 2 - COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO

Aplicação: Indicado para tingimento de fibras celulósicas e suas misturas.

Composição Química: Composto a base de Vinilulfona.

Seção 3 - IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

Riscos à Saúde

Rotas primárias de exposição: Olhos e pele.

Olhos: Pode provocar irritação leve. Se em contato com os olhos (lavar mantendo as pálpebras abertas), lavar a região afetada com bastante água.

Pele: Não possui agentes irritantes. Em caso de contato, lavar as mãos com sabão e bastante água corrente.

Seção 4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Não ingerir: No caso de ingestão, lavar bem a boca.

Em caso de inalação, levar a pessoa para uma área bem ventilada.

Seção 5 - MEDIDAS DE COMBATE A O INCÊNDIO

Ponto de fulgor: Não aplicável.

Fogo e explosão: não explosivo.

Meios de extinção de incêndio: Não aplicável.

SIDERQUÍMICA - INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS S/A - Telefone: (41) 2105.3838 - F
BR-376 - Km 22,3 - Caixa Postal 213, - CEP 81615-000 - São José dos Pinhais - PR - Telefone: (41) 2105-3838



FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE CORANTES (FISBQ)s

Produto: VERMELHO SIDERCRON VSRB 13 3% - Data de emissão: 27/01/2005 → Revisão: 0.1.1

Seção 6 – MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Derramamento e eliminação do resíduo

Pequenos e grandes vazamentos: Contê-lo com material absorvente como argila, areia ou outro comercialmente disponível.

Remoção: Como pó não perigoso, deve-se remover o produto com areia ou argila, a fim de que não permaneça nenhum tipo de pó, antes da remoção para um aterro ou incineração, de acordo com as leis locais.

Seção 7 – MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Utilizar equipamento de proteção individual (Luvas de PVC ou borracha, óculos com proteção lateral, avental ou macacão). Estocar em local coberto e arejado. Manter a embalagem fechada quando fora de uso.

Seção 8 – CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Normalmente é necessário um protetor respiratório uma vez que são em forma de pó e podem formar pequenas partículas de poeira.

Seção 9 – PROPRIEDADES FÍSICAS - QUÍMICAS

Aspecto	→	→	→	→	→	→	Pó
Cor visual	→	→	→	→	→	→	Vermelho
pH sol. 10g/l	→	→	→	→	→	→	6-7
Solubilidade em água	→	→	→	→	→	→	Solúvel em qualquer proporção
Densidade 20/4°C	→	→	→	→	→	→	Aproximadamente 0.7
Ponto de fulgor	→	→	→	→	→	→	Não aplicável
Ponto de ebulição	→	→	→	→	→	→	Não aplicável
Ponto de fusão	→	→	→	→	→	→	Não aplicável

Seção 10 – ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Não aplicável

¶
¶
¶

¶



FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE CORANTES (FISQ) 0

Produto: VERMELHO SIDERCRON VSRB-1336 - Data de emissão: 27/01/2005 → Revisão: 01.1

Seção 11 – INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Estudo de Toxidez : Não disponível

Seção 12 – INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

Como todo produto químico deve-se evitar seu despejo direto em cursos de água, canais, tanques, lagoas, estuários e a absorção pelo solo.

Seção 13 – CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Métodos de tratamentos e disposição: Não aplicável

Restos do produto: É de responsabilidade total do agente gerador do resíduo a ser disposto a caracterização dos mesmo e a observação de leis aplicáveis

Seção 14 – INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTES

TRANSPORTE TERRESTRE - (BRASIL)

Conforme regulamentação este produto é considerado não classificado

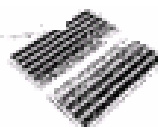
Seção 15 – REGULAMENTAÇÕES

Conforme o Regulamento de Transporte de Produtos Perigosos aprovado pelo decreto nº 96.044 de 13 de maio de 1988 este produto é considerado como não classificado de acordo com tabela de produtos perigosos.

Seção 16 – OUTRAS INFORMAÇÕES

As informações deste folheto refletem nossos atuais conhecimentos e não constituem necessariamente confirmações de características. Essas informações não podem ser empregadas à diluições ou formulações com nosso produto. As pessoas que manuseiam este produto devem ser informadas das precauções de segurança recomendadas e devem ter acesso a estas informações. Para qualquer outro uso, devem ser avaliadas as exposições a fim de que práticas adequadas de manuseio e programas de treinamento possam ser estabelecidos para garantir operações seguras no local de trabalho. Consulte, por favor, nosso representante de Vendas local.

SIDERQUÍMICA - INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS S/A - Telefone: (41) 32105.1000 - F.
BR-176-Rio-22, 5 - Caixa Postal 218 - CEP 13015-000 - São José do Pinhal - PR - Telefone: (41) 32105.1000



INSTRUÇÕES DE USO

EXTRATO DE LEVEDURA EM PÓ

Base para Meio de Cultura; Cód. RM027; 500 gramas.

MARCA: HIMEDIA

Finalidade de Uso:

O Extrato de levedura em pó é preparado secando o extrato obtido de células de levedura (*Saccharomyces*) especialmente cultivadas para este propósito. É fabricado sob condições controladas para manter seu conteúdo de vitamina e outros valores nutritivos, assim como aminoácidos livres.

Especificações:

Nitrogênio total: mínimo 10.5%
Nitrogênio α -amino: mínimo 3.8%
Umidade: máximo 5.0%

Cinzas: máximo 15.0%
Cloreto de sódio: máximo 5.0%
pH (solução 1%): 6.6 a 0.5

Conteúdo de vitamina:

Timina (B1): 21 mcg/g
Riboflavina (B2): 50 mcg/g
Pridoxina (B6): 24 mcg/g
Niacina: 300 mcg/g

Ácido Pantotênico: 90 mcg/g
Ácido Fólico: 20 mcg/g
Biotina: 1 mcg/g

Avaliação de Resultados

Características da cultura depois de 18 a 24 horas a 35°C no Agar Contagem de Placas (PCA) onde o extrato de levedura foi usado como um ingrediente.

Organismos (ATCC)	Crescimento
<i>E. coli</i> (25922)	abundante
<i>K. pneumoniae</i> (13803)	abundante
<i>L. leichmannii</i> (4797)	abundante
<i>S. aureus</i> (25923)	abundante
<i>S. pyogenes</i> (19615)	abundante

Controle de qualidade:

Aparência do pó:

Cor amarela escura, pó fino homogêneo, com odor característico, mas não pútrido.

Solubilidade:

Solúvel livremente em água destilada, insolúvel em álcool.

pH:

A reação de solução aquosa 1% tem pH 7.05 a 25°C.

Condições de Armazenamento:

Armazenar o pó a temperatura ambiente (abaixo de 30°C).

Validade:

5 anos.

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](#)