



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

# TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS USANDO REATOR UASB

R. J. MARTINS<sup>1,2</sup>, A. A. LEITÃO<sup>3</sup> e J. S. MARIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Departamento de Tecnologia Química e Biológica, Portugal

<sup>2</sup> Universidade do Porto, Laboratory of Separation and Reaction Engineering (LSRE), Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química

<sup>3</sup> Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Engenharia, Luanda, Angola  
E-mail para contato: [rmartins@ipb.pt](mailto:rmartins@ipb.pt)

**RESUMO** – *A descarga de águas residuais sem tratamento nos ecossistemas aquáticos ainda é bastante frequente nos países em desenvolvimento, como é o caso de Angola. A aplicação de um reator de leito de lamas de escoamento ascendente (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) apresenta-se como uma alternativa viável a ser adoptada, atendendo às características do efluente doméstico/industrial a tratar e as necessidades económicas locais. Neste contexto, desenvolveu-se um estudo com uma tecnologia de tratamento anaeróbio usando um reator UASB, analisando a sua eficácia relativamente à remoção de matéria orgânica e sólidos, avaliando a aplicação de diferentes cargas volumétricas, sob condições próximas das reais, numa instalação piloto laboratorial. O reator UASB foi construído em PVC com configuração em "Y" e volume útil de 12 L. Registaram-se eficiências de remoção de 76% de CQO, 79% de CBO<sub>5</sub> e 88% para os SST.*

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um dos principais fatores de desenvolvimento socioeconómico, de coesão social e de promoção ambiental, pelo que é fulcral a prevenção da poluição, proteção e a melhoria da qualidade da água na política de desenvolvimento sustentável. Neste âmbito torna-se relevante a adequação do planeamento do tratamento de efluentes domésticos/industriais e das infra-estruturas de saneamento básico ao alcance de todo o ser humano, visando a melhoria das condições ambientais e da saúde pública. Devido ao aumento do consumo de água, consequência do crescimento demográfico e industrial, a contaminação das fontes utilizadas para produção de água potável por descargas impróprias, com quantidade significativa de resíduos sólidos, bem como elevada carga orgânica, causa a destruição dos ecossistemas pela poluição hídrica o que origina grandes problemas ambientais (Alves, 2010).

A descarga de águas residuais sem tratamento nos recursos hídricos ainda é bastante frequente

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

nos países em desenvolvimento, dada a deficiência na produção local de equipamento mecânico, bem como o custo econômico que uma unidade de tratamento implica, a que acresce a carência de recursos humanos qualificados nesta área. Assim, é imperioso o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de tratamento simples, que minimizem os custos e a redução do consumo energético. A aplicação de um reator de leito de lamas de escoamento ascendente (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) apresenta-se como uma alternativa viável a ser adotada, atendendo às características do efluente doméstico/industrial a tratar e necessidades econômicas locais (Cuetos, 2008).

## 1.1. Enquadramento e Apresentação do Projeto

A utilização de reatores UASB no tratamento de efluentes domésticos / industriais é uma realidade em diversos países. O processo anaeróbio recorrendo à utilização de um reator UASB apresenta vantagens relativamente aos processos aeróbios convencionais, com especial relevância para países com clima quente, caso da generalidade das localidades em Angola. Neste contexto, estamos perante um sistema de tratamento que se caracteriza por: (1) Sistema compacto, que requer uma área reduzida; (2) Baixo custo de implantação e de operação; (3) Volume de lamas geradas é reduzido; (4) Praticamente sem custos energéticos; (5) Eficiência de remoção de CBO e CQO satisfatória (65-75%); (6) Sistema reage adequadamente após períodos de paragem; (7) Lamas em excesso com elevada concentração de sólidos.

A digestão anaeróbia (DA) tem um vasto potencial de aplicação e vantagens significativas em efluentes industriais com elevada carga orgânica. Acresce um conjunto de vantagens no caso do reator UASB, a destacar: operação com cargas volumétricas maiores que as admitidas por sistema de mistura completa, o que se traduz em reatores com menor volume; não exige mistura, eliminando custos de equipamentos e de operação; não é necessário um tanque de sedimentação após a unidade de DA.

Apesar de todas estas vantagens, este processo normalmente não produz um efluente com qualidade que se enquadre na legislação que regulamenta a descarga de águas residuais, pelo que necessita de ser sujeito a um pós-tratamento.

A digestão anaeróbia apresenta outra mais-valia significativa: a produção de biogás (mistura de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ), que se traduz numa valorização energética do processo gerando energia a partir da queima do metano.

## 1.2. Digestão Anaeróbia – Aplicação no Tratamento de Efluentes

A digestão anaeróbia, consiste num processo de decomposição da matéria orgânica do efluente, na ausência de oxigénio. Neste processo, a transformação da matéria orgânica é realizada pela alimentação de microrganismos anaeróbios baseados numa série de reações químicas sequenciais, desencadeadas por uma cultura diversificada de microrganismos anaeróbios. É promovida a redução das moléculas orgânicas mais complexas, como lípidos, carboidratos e proteínas, a estruturas moleculares mais simples como aminoácidos, açúcares, ácidos gordos, aldeídos e álcoois; em seguida, por fermentação e oxidação anaeróbia são convertidos em produtos finais,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

O processo global compreende quatro (4) fases, em que a conversão da matéria orgânica ocorre de acordo com a seguinte sequência: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese.

Vários fatores influenciam o desempenho do processo de digestão anaeróbia no tratamento de águas residuais. Destacam-se a temperatura, o pH, a alcalinidade, a presença de nutrientes, capacidade de assimilação de carga tóxicas, transferência de massa, sobrecargas hidráulicas e a atividade metanogénica (Myint, 2007).

### 1.3. Enquadramento Legislativo

O objetivo do tratamento das águas residuais é proteger a saúde pública e promover, de uma forma económica e socialmente aceitável, a preservação dos recursos hídricos, evitando a sua contaminação. A legislação ambiental Angolana no que se refere ao tratamento de águas residuais e à qualidade dos efluentes resultantes é baseada em padrões de qualidade expressos por Valores Limite de Emissão (VLE) conforme define o Decreto Presidencial nº 261/11 de 6 de Outubro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Instalação Experimental

A instalação experimental é constituída por um reator UASB com agitador manual, banho termostático, termómetro, medidor de gás e sistema de alimentação, constituído por um reservatório da alimentação e uma bomba peristáltica.

Reator UASB: Foi construído um reator UASB em escala laboratorial, a partir de tubos de PVC com diâmetro de 110 mm, com uma altura útil de 1300 mm e volume útil de 12,35 L. O separador de fases é em forma de “Y” e situa-se a 1,12 m do fundo do reator. O reator está dotado de seis torneiras; três ao longo do corpo vertical do reator para retirar amostras e, duas na parte inferior, uma para a entrada da alimentação (afluente) e a outra para recirculação do efluente (ligada à torneira situada na extensão em “Y”) (Figura 1).

Na fase inicial deste estudo não houve recirculação do efluente. A bomba de alimentação (H) foi programada para funcionar de 120 em 120 minutos (8 vezes durante 4 minutos e 4 vezes 3 minutos), para um caudal fixo de 23 mL/min, o que perfaz um caudal diário de alimentação de 1012 mL. O reator foi envolto por tubo onde circula água mantida a 35°C por intermédio de um banho termostático (E), de modo a proporcionar condições de temperatura ideais ao processo de digestão anaeróbia. No topo do reator foi colocado um agitador manual, para manter a mistura homogénea, bem como minimizar o risco de formação de “zonas mortas”.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



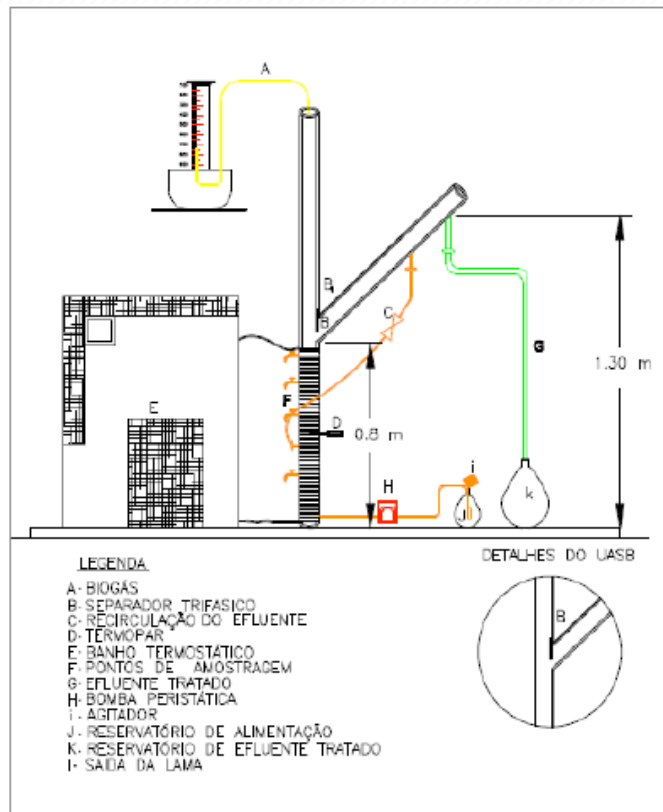


Figura 1 – Layout da instalação experimental: reator UASB e respectivos componentes.

O reator UASB foi projetado para operar em estado estacionário de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de projeto do reator UASB

Parâmetro de operação	Valor adotado/Calculado
Caudal (L/d)	24,7
COV (kg CQO/m <sup>3</sup> .d)	2 e 4
Massa CQO (g CQO/d)	24,7 e 49,4
Temperatura (°C)	35
TRH (h)	12
Velocidade ascensional (m/h)	0,8
Volume do reator (L)	12,35

## 2.2. Efluente da Indústria de Laticínios

O efluente utilizado no presente estudo é proveniente da Lactiangol, fábrica de laticínios,



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

situada em Luanda. A colheita do efluente foi feita no final da linha de produção de leite pasteurizado, e utilizaram-se recipientes de polietileno para o seu transporte e armazenamento. Antes da colheita, os recipientes foram lavados com o próprio efluente. Após a colheita, o material foi encaminhado para o LESRA (Laboratório de Engenharia da Separação, Reação Química).

### 2.3. Inóculo

Por forma a diminuir o período de arranque do sistema, procedeu-se à inoculação do reator com 6,5 litros de lamas anaeróbias digeridas provenientes da ETAR da Odebrecht, localizada na Talatona. Isto representa cerca de 52,6% do volume útil do reator, e aproximadamente a uma altura do leito de lamas de 60 cm; as lamas apresentavam uma densidade de  $1,023 \text{ g/cm}^3$ , dentro da faixa recomendada na literatura ( $1,020$  a  $1,040 \text{ g/cm}^3$ ).

### 2.4. Operação e Monitorização do UASB

O reator UASB foi operado durante 122 dias, Novembro de 2014 a Março de 2015.

A alimentação do reator era preparada duas vezes por semana. O processo funcionou até ao 60º dia sem recirculação do efluente. A partir do 61º dia funcionou com recirculação para aumentar a biomassa e estabilizar a temperatura no reator (houve perda de biomassa devido a ruptura do tubo da bomba de alimentação o que provocou o derrame de uma quantidade considerável de lama e um aumento da temperatura até aos 40°C).

Os parâmetros físico-químicos de controlo do reator e avaliação do desempenho do sistema de tratamento, bem como a frequência de amostragem são apresentados na Tabela 2. As determinações foram realizadas no LESRA, e usados os métodos de analíticos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Tabela 2 – Programa de monitorização do processo de digestão anaeróbia

Parâmetro	Frequência de Amostragem		
	Entrada	Reator	Saída
pH	Diário	Diário	--
Temperatura	Diário	Diário	--
Alcalinidade	3x semana	3x semana	--
CBO <sub>5</sub>	Semanal	--	Semanal
CQO	2x semana	--	2x semana
N Total	Semanal	--	Semanal
P Total	Semanal	--	Semanal
SST	Semanal	--	Semanal
ST	--	Semanal	--
SV	--	Semanal	--

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



## 2.5. Caracterização do Efluente a Tratar

Foi realizada a caracterização do efluente bruto da Lactiangol para um conjunto de parâmetros (idêntico ao da Tabela 2), de novembro 2014 a março de 2015. Foram registados para a  $CBO_5$  valores entre 1700 e 6100 mg/L, CQO [10000-18500 mg/L], SST [195-290 mg/L], N Total [15-36 mg/L N], P Total [9-68 mg/L P], Alcalinidade [215-370 mg/L  $CaCO_3$ ]; e o pH variou na gama 7,3 a 7,7. A caracterização efetuada revelou uma elevada variabilidade na composição do efluente bruto. De forma a eliminar e minorar os efeitos destas diferenças no decurso dos ensaios, o efluente bruto foi diluído de modo a preparar uma água residual com composição semelhante, com que se alimentou o reator UASB.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial da água residual da fábrica de lacticínios, permite concluir que o efluente gerado apresenta uma carga orgânica significativa, associada a uma elevada variabilidade.

O sistema apresentou valores de pH adequados ao processo, não sendo necessária a sua correção, o que significa minimização dos custos de operação.

Em função dos resultados obtidos ao longo do período experimental, o tempo de residência hidráulico adoptado de 12 horas, conduziu a um bom desempenho.

Para operação do reator com uma carga orgânica volumétrica (COV) de 4 kg CQO/ $m^3$ .d (até ao 66º dia de operação), a eficiência de remoção da CQO registou valores pouco interessantes, com variação no intervalo 11% a 76%. De salientar que o valor médio (44%) é fortemente condicionado pela eficiência registada até ao 12º dia de operação, em torno de 10% (Figura 2); poderemos apontar como explicação, um período insuficiente para a adaptação da população de microrganismos.

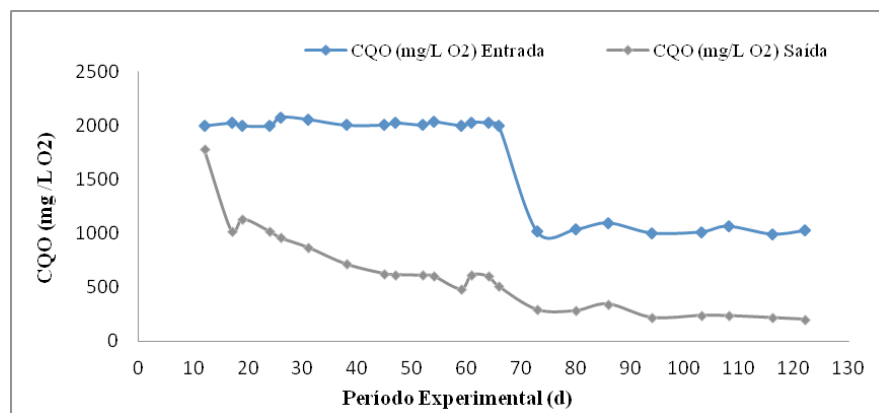


Figura 2 – Variação da CQO para a alimentação e o efluente tratado ao longo do período experimental.

Após os 66 dias de operação do UASB, a COV foi reduzida para 2 kg CQO/m<sup>3</sup>.d, variando a CQO do afluente ao reator em torno de 1000 mg/L O<sub>2</sub> e a do efluente de saída entre 202 e 345 mg/L O<sub>2</sub>. Como mostra a Figura 3, a diminuição da COV aplicada, mostrou um acréscimo significativo da matéria orgânica removida (eficiência de remoção 71-80%).

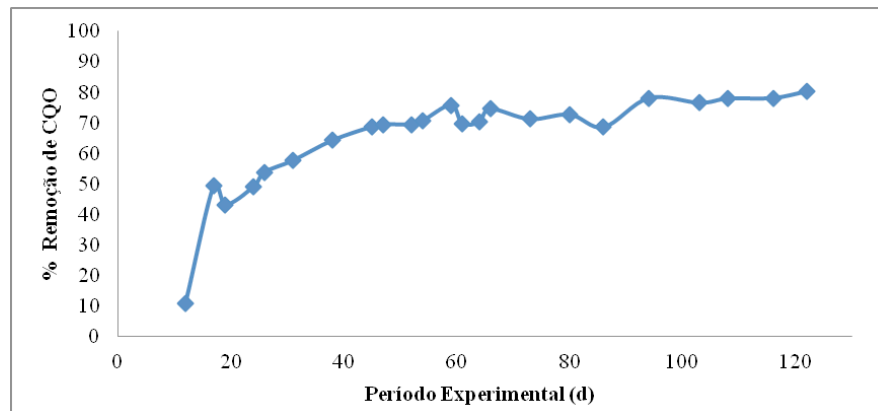


Figura 3 – Eficiência de remoção da CQO nos ensaios experimentais.

Usando um reator UASB, para o tratamento de efluente de laticínio, Nadais (2005) registou uma eficiência de remoção de 70%, similar ao observado no presente estudo.

Relativamente à eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub>, variou entre 69% e 89%, para COV de 4 kg CQO/m<sup>3</sup>.d. Não ocorreu alteração da eficiência quando se passou a operar o reator com 2 kg CQO/m<sup>3</sup>.d (Figura 4). Conclui-se que o reator UASB alcançou uma eficiência de remoção bastante interessante, comparando com dados da literatura. Num estudo similar, Tawfik *et al.* (2008), no tratamento de efluente derivados de laticínios por digestão anaeróbia, registaram valores de remoção de CBO<sub>5</sub> em torno de 75%.

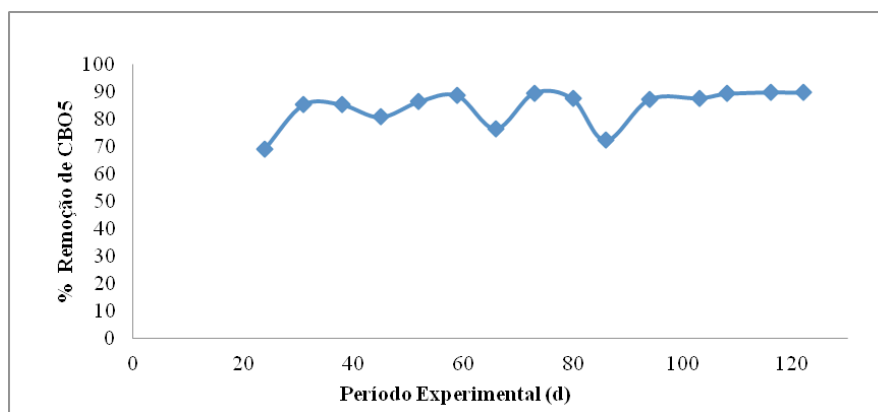


Figura 4 – Eficiência de remoção da CBO<sub>5</sub> nos ensaios experimentais.

No que se refere à remoção de SST, foram registadas eficiências bastante satisfatórias a partir

do 40º dia de operação, variando entre os 80 e 90% (Figura 5). Estes resultados são da mesma ordem de grandeza dos reportados por Bruno e Oliveira (2007), no tratamento de efluente de café por via húmida usando um UASB (remoção de 82% dos SST).

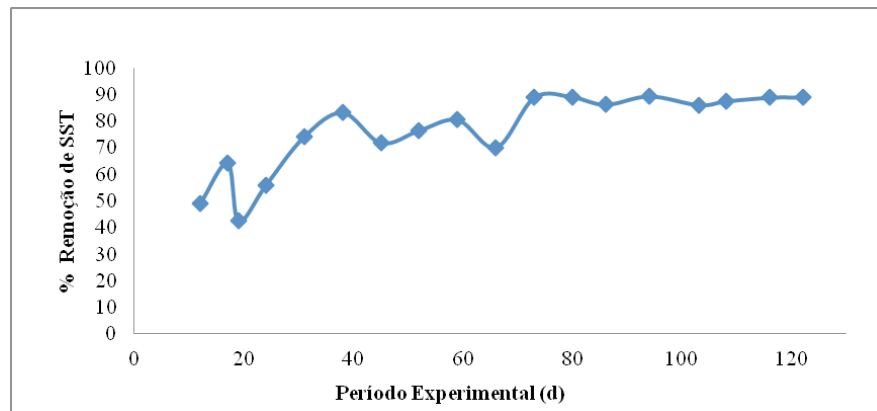


Figura 5 – Eficiência de remoção de SST no decurso do período experimental.

No que respeita à razão SV/ST das lamas no interior do reator, foi registado um valor médio de aproximadamente 0,65; este valor relativamente elevado está associado à predominância de matéria orgânica nas lamas, e é indicativo de uma significativa população de microrganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia.

## 4. CONCLUSÕES

Uma análise global aos resultados, permite concluir que o desempenho do reator UASB no tratamento do efluente da indústria de laticínios foi satisfatório. A caracterização do efluente da indústria de laticínios, confirma uma elevada variabilidade e uma carga orgânica significativa. O tempo de residência hidráulico adoptado de 12 horas, revelou-se adequado face aos resultados alcançados. A eficiência de remoção de CQO foi maior para a COV de 2 kg CQO/(m<sup>3</sup>.dia), registando após um período inicial de adaptação da população microbiana, valores no intervalo 71-80%. A remoção de CBO foi praticamente independente da COV aplicada, e variou entre os 70 e 90%. Valores bastante significativos, 80-90% de remoção, foram registados para os SST. O volume de biogás produzido esteve muito aquém dos valores reportados na literatura; vertente a otimizar no futuro, pois permitirá uma valorização económica importante.



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



ENBEQ  
2016

XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, C. Tratamento de Águas de Abastecimento. Porto: Publindústria Editora, 2010.

APHA-American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, 2005.

BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. Tratamento anaeróbio de águas residuais do beneficiamento de café por via húmida em reatores UASB em dois estágios. Dissertação de Mestrado em Microbiologia Agropecuária, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2007.

CUETOS, M. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochemical Eng. J.*, v. 40(1), p. 99-106, 2008.

MYINT, M. Anaerobic fermentation of cattle manure. Modeling of hydrolysis and acidogenesis. *Water Research*, v. 41, p. 323-332, 2007.

TAWFIK, A.; SOBHEY, M; BADAWY, M. Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in a up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination J.*, v. 227, p. 167-177, 2008.

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

