

# AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO A/M NO TRATAMENTO AERÓBIO POR LODO ATIVADO DA MANIPUEIRA EM REATOR BATELADA SEQUENCIAL (RBS)

## AUTORES

**Crislene Barbosa de ALMEIDA**

Docente UNILAGO

**Vanildo Luiz Del BIANCHI**

Docente UNESP - São José do Rio Preto

## RESUMO

A mandioca é a sexta matéria-prima agroindustrial mais produzida no mundo. Estima-se que 32% da produção nacional de mandioca seja destinada à produção de farinha e fécula e o processamento da raiz de mandioca gera um resíduo líquido denominado manipueira. Este líquido além de ser altamente tóxico, também possui alta carga poluente, podendo chegar a 100g DQO.L-1. O objetivo do trabalho foi avaliar a relação A/M (alimento/micro-organismo) em diferentes concentrações de manipueira (1000 a 14700 mg DQO L-1) durante 150 dias. Verificou-se que mantendo A/M entre 0,27 a 0,46 d-1, obtêm-se reduções de DQO superiores a 95%, porém mesmo com esta relação superior a 0,5 d-1 as reduções de DQO foram superiores a 92% sendo, portanto, perfeitamente possível aumentar a concentração da manipueira até altos valores, como 14700 mg.L-1 de DQO, sem diminuir a eficiência do processo.

## PALAVRAS-CHAVE

mandioca, manipueira

# 1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot*) é uma espécie da família Euphorbiaceae originária da América. Dentre as espécies, a *Manihot sculenta* é a única cultivada para consumo humano, podendo ser nomeada de brava ou mansa, dependendo do teor de glicosídeos cianogênicos (SOUZA e MENEZES, 2004; DÓSEA et al., 2010).

A mandioca é a sexta matéria-prima agroindustrial mais produzida no mundo e é uma cultura amplamente difundida por todo o território brasileiro, sendo a região Nordeste a maior produtora (DÓSEA et al., 2009). Sua utilização é efetuada de duas maneiras: uma direta, pelo humano (consumo culinário ou de mesa) e animal, e outra, industrial, pela qual se produz a farinha de mandioca e se efetua a extração da fécula, sendo que a utilização industrial pode causar sérios problemas ambientais, pois gera quantidades significativas de resíduos (CEREDA, 2000). Estima-se que 22% da produção nacional de mandioca seja destinada à produção de farinha, 10% à produção de fécula e 2% ao consumo in natura, como mandioca de mesa (EMBRAPA, 2010).

O processamento da raiz de mandioca é realizado principalmente para a obtenção de farinha e de fécula (SOCCOL e VANDENBERGE, 2003). As etapas de produção de farinha são: colheita, lavagem, descascamento, moagem, prensagem, esfacelamento, peneiramento, torra, classificação, empacotamento, pesagem e armazenagem da farinha (ENGETECNO, 2010). A produção de fécula consiste em lavagem e descascamento das raízes, moagem, extração com água, separação das fibras e do material solúvel e secagem (LEONEL e CEREDA, 2000).

Um dos resíduos líquidos, gerado durante a etapa de prensagem da massa de mandioca descascada e ralada, é denominado manipueira. Este líquido de cor amarela-leitosa é altamente tóxico, pois possui glicosídeos linamarina, que são enzimaticamente hidrolisáveis a cianeto, e também altamente poluente, devido à alta concentração de matéria orgânica que pode chegar a 100g DQO.L-1 (DEL BIANCHI, 1998).

Com o crescente desenvolvimento urbano associado à ocupação territorial desordenada, verifica-se uma tendência na utilização intensiva de sistemas compactos de tratamento de esgotos, dentre os

quais, pode ser destacado o processo de lodos ativados. O tratamento de efluentes por lodo ativado em sistema reator batelada seqüencial (RBS) vem sendo extensivamente estudado pela comunidade científica e implantado por indústrias interessadas em se beneficiarem com suas vantagens: flexibilidade operacional, economia de espaço, boa estratégia para indústrias de produção sazonal ou descontínua, fornecimento de um efluente de boa qualidade e um alto grau de remoção de matéria orgânica (TEMPS, 2000). O tratamento aeróbio, através do sistema de lodo ativado com aeração prolongada, é eficiente na remoção de matéria orgânica, por exemplo, no tratamento de águas residuárias domésticas são encontradas eficiências acima de 91% (CHANG, 1996; SPONZA, 2003).

A relação A/M (alimento/microrganismo) ou carga de lodo é um conceito bastante utilizado por operadores de sistemas de lodo ativado e baseia-se no conceito de que a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa dos microrganismos é relacionada com a eficiência do sistema. Assim, pode-se entender que quanto maior a carga de DQO fornecida a um valor unitário de biomassa (elevada relação A/M), menor será a eficiência na assimilação deste substrato, mas, por outro lado, menor será o volume requerido para o reator. Inversamente, quanto menos DQO for fornecida às bactérias (baixa relação A/M) maior será a avidéz pelo alimento, implicando em maior eficiência na redução da DQO, conjuntamente com o requisito de maior volume para o reator. O objetivo do seu controle é o de manter constante esta relação, de forma a garantir remoção uniforme de substrato. A relação A/M assume geralmente os valores de 0,3 a 0,8 d-1 (VON SPERLING, 1997).

Assim sendo, este trabalho teve por objetivo principal acompanhar o desempenho de um reator aeróbio em batelada alimentada seqüencial, avaliando-se a relação A/M em diferentes concentrações de manipueira através do acompanhamento do comportamento do pH, IVL e DQO.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Local da pesquisa: O experimento foi realizado em bioreator de bancada, localizado no Laboratório de Bioprocessos na UNESP (Uni-

versidade Estadual Paulista), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, campus de São José do Rio Preto.

**Água residuária:** A manipueira foi coletada na indústria Plaza, fábrica de farinha de mandioca localizada no município de Santa Maria da Serra, São Paulo. Após a coleta, o material foi transportado para o laboratório onde foi deixado em repouso para promover a sedimentação do amido que, posteriormente, foi removido. O sobrenadante foi armazenado em garrafas do tipo PET (polietileno tereftalato) de 2L e congelado a  $-18^{\circ}\text{C}$ . Para realizar a alimentação do reator, a manipueira foi descongelada e diluída em concentrações definidas (1000, 1800, 2400, 3100, 3900, 4700, 5800, 6400, 8800, 11200 e  $14700\text{ mg.L}^{-1}$  de DQO) com água de torneira.

**Reator:** Utilizou-se um reator cilíndrico plástico (Figura 1) com 1,5L de volume útil e uma relação diâmetro:altura de 1:2,5, sendo o reator mantido à temperatura ambiente controlada por condicionador de ar ( $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ).

A retirada do líquido tratado e posterior alimentação do processo com manipueira foi realizada manualmente (1,0L a cada 24 horas). A aeração foi efetuada por meio de aeradores de aquário, através de pedra porosa, a qual foi monitorada segundo a estratégia de funcionamento do reator, visando à economia de energia.

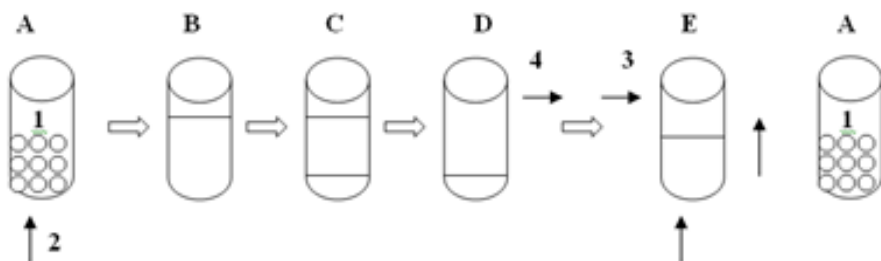


Figura 1. Esquema de tratamento aeróbio da manipueira em escala laboratorial: 1-Reator em funcionamento normal; 2- Aeração; 3- Afluente; 4- Efluente (1,0L de sobrenadante) e A- reator em funcionamento

normal; B- Corte da oxigenação; C- Sedimentação do lodo; D- Retirada do sobrenadante; E- Fornecimento de alimento e aeração no reator e posterior crescimento da biomassa conforme aumento da carga orgânica.

Lodo Ativado: O inóculo do reator foi a base de dejetos suíno, obtido de uma fazenda de pequeno porte, sendo este previamente aclimatado a manipueira. Quando da necessidade de se aumentar a biomassa, a massa celular produzida não era eliminada, havendo um aumento progressivo da biomassa acompanhando o aumento da carga orgânica no experimento.

Análises de Acompanhamento:

a) Determinação de Demanda Química de Oxigênio (DQO): Utilizou-se, segundo APHA (1995), o método colorimétrico de refluxo fechado, utilizando o aparelho da Hach Co.

b) pH: Foi utilizado um potenciômetro da marca ANALION.

c) Determinação de massa celular: Realizada gravimetricamente através de secagem em estufa a 105°C, segundo APHA (1995).

d) Determinação do Índice Volumétrico de Lodo (IVL): Foi realizada seguindo a metodologia descrita em Silva (1977).

e) Microscopia: Para a avaliação do lodo, preparou-se uma lâmina simples com uma gota do lodo extraído do reator em funcionamento. As lâminas foram analisadas e as imagens digitalizadas em um Fotomicroscópio Olympus DX60 com sistema analisador de imagens acoplado (Image Pro-plus media, Cybernetics).

f) Pontos de coleta das amostras: Para as análises, as amostras de água residuária foram coletadas nos seguintes pontos, com o reator em funcionamento:

- Afluente do reator (entrada/alimentação);
- Efluente do reator (sobrenadante).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após um período de estabilização de 30 dias, iniciaram-se as análises para a verificação da relação A/M durante um período total de 150 dias.

Conforme a Tabela 1, a concentração de alimentação variou de 1000 a 14700 mg.L<sup>-1</sup> de DQO e a biomassa de 3700 a 14650 mg.L<sup>-1</sup>. Até a concentração de 5800 mg.L<sup>-1</sup> não houve retirada de lodo do sistema. Após esta concentração, a massa era eliminada conforme o descarte de 1,0L de sobrenadante do reator, resultando em uma diminuição e posterior estabilização da massa celular.

Pelos dados obtidos, verifica-se que o fator carga (relação A/M) foi mantido, em sua maioria, em valores inferiores a 0,5 d<sup>-1</sup>, chegando, porém, a altos valores (1,15 d<sup>-1</sup>).

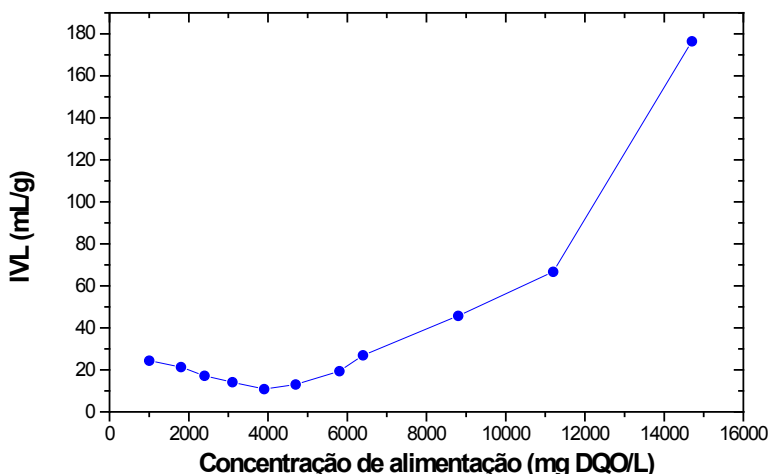
Carga Orgânica (mg.L <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> de DQO)	Relação A/M (d <sup>-1</sup> )	Massa Celular (mg.L <sup>-1</sup> )
1000,0	0,27	3700,0
1800,0	0,46	3900,0
2400,0	0,31	7740,0
3100,0	0,36	8600,0
3900,0	0,31	12380,0
4700,0	0,32	14500,0
5800,0	0,39	14650,0
6400,0	0,64	10000,0
8800,0	0,74	11750,0
11200,0	1,49	7500,0
14700,0	1,96	7500,0

**Tabela 1.** Características do reator conforme as diferentes cargas orgânicas de alimentação.

Em relação ao IVL (Figura 2), este situou-se numa faixa inferior a 70 mL.g<sup>-1</sup>, com exceção da carga orgânica de 14700,0 mg.L<sup>-1</sup>, sendo que, segundo Kargi e Uygun (2002), valores inferiores a 100 mL.g<sup>-1</sup> podem ser considerados ótimos, o que comprova a boa estabilidade do lodo.

O IVL na faixa de 176,5 mL.g<sup>-1</sup> indicou que a carga orgânica estava acima do limite suportado pelo sistema e verificou-se o apareci-

mento de um lodo intumescido devido a presença de fungos filamentosos.

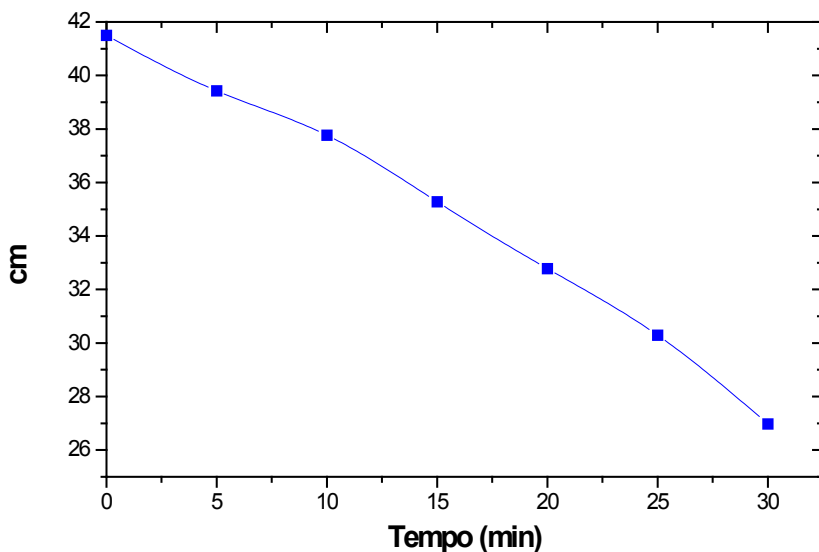


**Figura 2.** Perfil do IVL nas diferentes concentrações de alimentação.

Este intumescimento do lodo ocorreu devido ao baixo pH (em torno de 5,0) decorrente da grande quantidade de substrato, pois de acordo com Oliveira et al. (2001), o pH ácido favorece o aparecimento de fungos filamentosos. Assim, conforme foi sendo elevada a concentração de alimentação do reator sem o consequente aumento de biomassa, observou-se, em concentrações acima de 10000,0 mg.L<sup>-1</sup>, o aumento do IVL devido ao intumescimento do lodo provocado por fungos filamentosos.

Analisando-se os valores obtidos para as velocidades de sedimentação (Figura 3) do experimento realizado com alimentação de 10500,0 mg.L<sup>-1</sup>, verifica-se que, nos primeiros 5 minutos, a velocidade foi de 0,13cm/s, o que comprova a influência da relação A/M, pois apesar do IVL estar numa faixa considerada boa, de 56,6 mL.g<sup>-1</sup>, a velocidade de sedimentação já se apresentava alterada devido à pouca

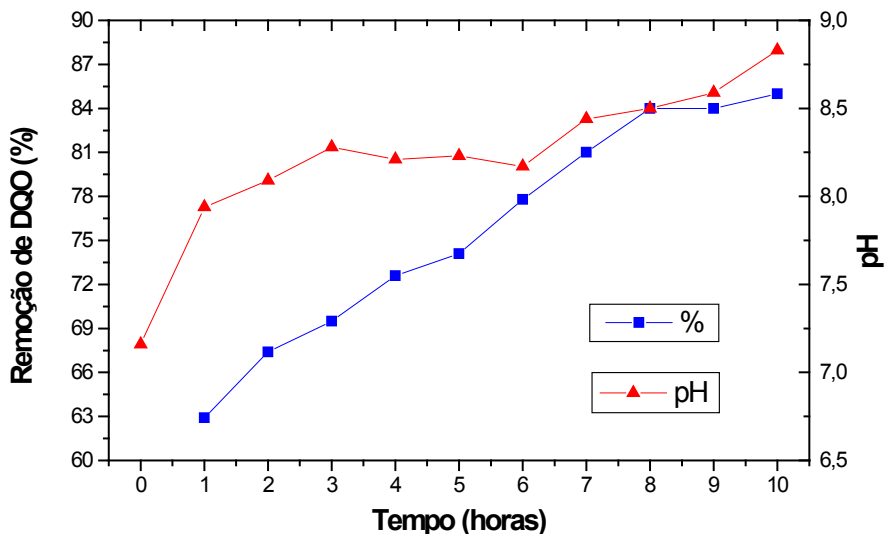
biomassa presente em relação à carga orgânica fornecida ao sistema (A/M de  $0,90 \text{ d}^{-1}$ ). Esta influência pôde ser dada, também, pelo preenchimento dos poros dos flocos de lodo com exopolissacarídeos, resultando na redução da permeabilidade do floco que implica na diminuição da velocidade de sedimentação (LI e YUAN, 2002).



**Figura 3.** Perfil da velocidade de sedimentação do lodo com uma concentração de alimentação de  $10500,0 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Observa-se na Figura 4 que mesmo com considerável presença de fungos filamentosos, foi possível obter uma redução de DQO muito boa, acima de 90% com um TRH de 24 horas e IVL de  $75 \text{ mL.g}^{-1}$ , assim, estes valores podem ser considerados ótimos para este tipo de sistema pois esperava-se que, conforme literatura, com o intumescimento do lodo, a eficiência do processo caísse drasticamente, fato que não ocorreu.



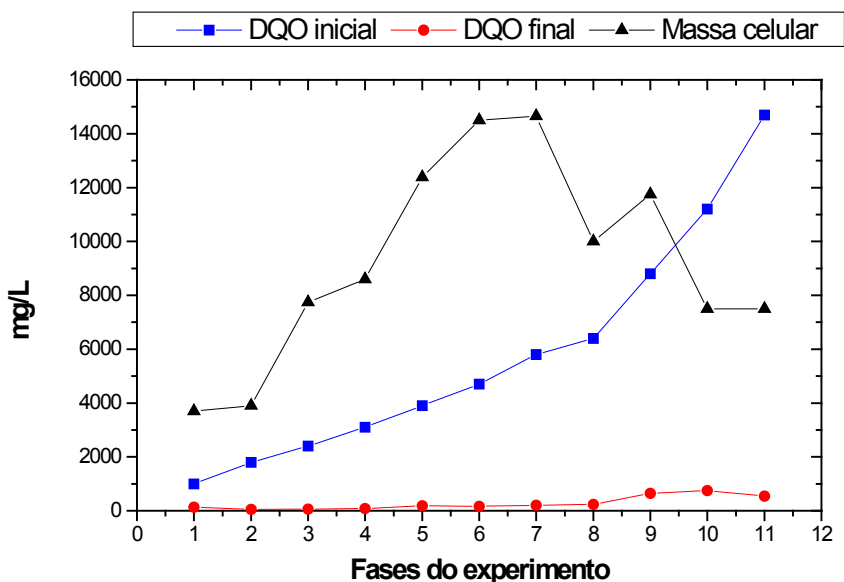


**Figura 4.** Perfil de redução da DQO e comportamento do pH a uma concentração de alimentação de 13300,0 mg.L<sup>-1</sup>.

A figura 4 mostra, também, o perfil de redução do pH e DQO, na concentração de 13300,0 mg.L<sup>-1</sup>. Observa-se que o pH variou de 7,1 a 8,6, verificando-se que nas duas primeiras horas foi registrada a maior variação, de 7,1 a 7,9, tendendo à estabilidade após a 8ª hora. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2001) e Um-sza Guez (2004) e está de acordo com dados encontrados em Silva (1977), onde os organismos se inibem em pH superior a 9 e inferior a 6. Quanto à variação da DQO, observa-se que a redução da carga orgânica no período de 10 horas de TRH variou de 62,9 a 85,0%, onde na primeira hora de tratamento observou-se uma variação grande em termos de percentagem de DQO reduzida (62,9%), sendo que a partir da 8ª hora a redução tendeu a uma maior estabilidade (84%) e atingiu em 24 horas de TRH uma redução de 94,3%.

Segundo Chang (1996) e Jang et al. (2003), a eficiência média de um RBS para a remoção da carga orgânica varia de 89-95% e a maior parte da remoção da DQO ocorre nas duas primeiras horas do processo (MONGENROTH et al., 1997).

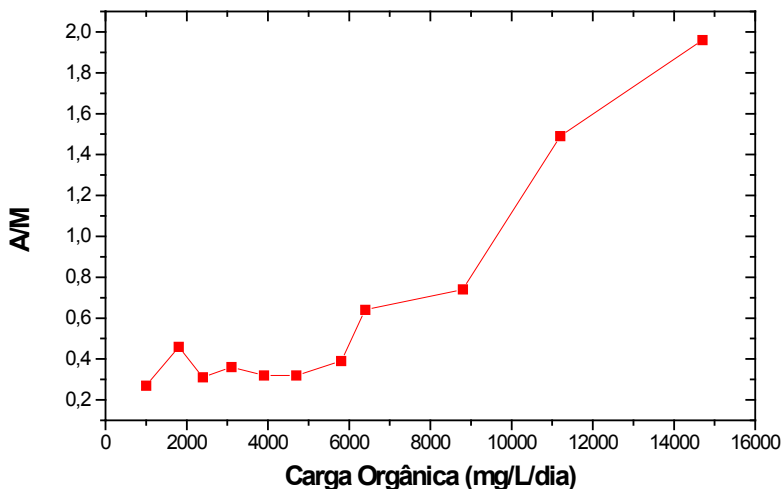
A Figura 5 mostra as características do reator, quanto a DQO inicial e final e massa celular. Verifica-se um aumento progressivo da DQO inicial junto com o aumento da massa celular até a concentração de 5800 mg.L<sup>-1</sup>, este aumento concomitante implicou em uma estabilização da DQO de saída do reator, estando esta com uma média de 223,0 mg.L<sup>-1</sup>. A partir desta concentração de alimentação a massa celular foi eliminada conforme a retirada do líquido tratado e posterior alimentação do processo e assim massa celular foi decrescendo aos poucos até estabilizar em 7500 mg.L<sup>-1</sup> a partir da carga de 11200 mg.L<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Características do reator durante o experimento.

Assim, verificou-se que, mantendo a relação A/M entre 0,27 e 0,46 d<sup>-1</sup> (Figura 6), houve uma eficiência de remoção de DQO superior a 95%. Mas, mesmo não mantendo esta relação entre os valores considerados ótimos por Ramalho (1983) para o tratamento de esgotos domésticos por lodo ativado, a eficiência de remoção de DQO foi superior a 92% e estas eficiências foram superiores às encontradas na

literatura para o tratamento aeróbio através deste sistema (CHANG, 1996; VON SPERLING, 1997; OLIVEIRA et al., 2001; SPONZA, 2003; JANG et al., 2003 e UMSZA GUEZ, 2004).



**Figura 6.** Relação A/M utilizada nas diferentes concentrações de alimentação.

#### 4. CONCLUSÕES

- A eficiência média do processo situou-se entre 87,0 a 97,4% de remoção de matéria orgânica, com um TRH de 24 horas, sendo que as maiores reduções foram verificadas para cargas orgânicas de 1800, 2400 e 3100 mg.L<sup>-1</sup>.

- A variação de pH foi de 7,1 a 8,6 num período de 10 horas, com uma maior variação nas duas primeiras horas.

- Verificou-se o aparecimento de fungos filamentosos em concentrações de matéria orgânica superiores a 10000 mg.L<sup>-1</sup>. O crescimento dos fungos modificou as características do lodo em relação à velocidade de sedimentação, assim como as do IVL, tornando-se inapropriado para o processo, devido a essas características.

- O aumento da concentração de alimentação foi acompanhado pelo aumento da massa celular, implicando na estabilização da

DQO de saída do reator até a carga orgânica de 5800 mg.L-1.

- Mantendo A/M entre 0,27 a 0,46 d-1, obtêm-se reduções de DQO superiores a 95%, porém mesmo com esta relação superior a 0,5 d-1 a reduções de DQO foram superiores a 92% sendo, portanto, perfeitamente possível aumentar a concentração da manípueira até altos valores (14700 mg.L-1 de DQO) sem diminuir a eficiência do processo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 19TH ED. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION / AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION / WATER ENVIRONMENT FEDERATION, WASHINGTON, DC, USA, 1995.

CHANG, C. H AND HAO, O. J. Sequencing batch reactor system for nutrient removal: ORP and pH profiles. J. Chem. Technol. Biotechnology, v. 67, p. 27-38, 1996.

DEL BIANCHI, V.L. Balanço de massa e de energia do processamento de farinha de mandioca em uma empresa de médio porte do estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

DÓSEA, R.R.; MARCELLINI, P.S.; SANTOS, A.A.; RAMOS, A.L.D.; LIMA, A.S. Qualidade microbiológica na obtenção de farinha e fécula de mandioca em unidades tradicionais e modelo. Cienc. Rural, v.40 (2), p.441-446, 2010.

EMBRAPA. Mandioca e Fruticultura. Disponível em: < <http://www.cnpmf.embrapa.br> >. Acesso em setembro de 2010.

ENGETECNO. Projetos e Consultoria pra Indústrias Alimentícias e para Área de Saúde. Disponível em: < [http://www.engetecno.com.br/tecnologia\\_farinha\\_de\\_mandioca.htm](http://www.engetecno.com.br/tecnologia_farinha_de_mandioca.htm) >. Acesso em setembro de 2010.

JANG, A. et al. Characterization and evaluation of aerobic granules in

sequencing batch reactor. *Journal of Biotechnology*, v. 105, p. 71-82, 2003.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.20 (1), p.122-127, 2000.

LI, X., YUAN, Y. Settling velocities and permeabilities of microbial aggregates. *Water research*, v. 36, p. 3310-3120, 2002.

OLIVEIRA, M. A.; REIS, E. M.; NOZAKI, J. Biological treatment of wastewater from the cassava meal industry. *Environmental Research Section A*, v. 85, p. 177-183, 2001.

RAMALHO, R.S. Introduction to wastewater treatment processes. 2a ed., New York: Academic Press, 580p., 1983.

SILVA, M.O.S.A. Análises físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos. CETESB, p.15-24, 1977.

SOCCOL, C.R.; VANDENBERGE, L.P.S. Overview of applied solid-state fermentation in Brazil. *Biochemical Engineering Journal*, v.3648, p.1-14, 2003.

SPONZA, D. T. Investigation of extracellular polymer substances (EPS) and physicochemical properties of different activated sludge flocs under steady-state conditions. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 32, p.375-385, 2003.

SOUZA, M.L.; MENEZES, H.C. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.24 (1), p.120-128, 2004.

TEMPS, W. C. A E PAWLOWSKY, U. Lodo ativado seqüencial para

tratamento de despejos de indústrias de refrigerantes. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12, p.1-7, 2000.

UMSZA GUEZ, M.A. Tratamento aeróbio da manipueira por lodo ativado em batelada e batelada alimentada. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2004.

VON SPERLING, M. Lodos ativados. Belo Horizonte: Depto de Engenharia sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, SEGRAC, 1997.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).