

## **II-214 - REMOÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS DA VINHAÇA UTILIZANDO UM SISTEMA COMBINADO ANAERÓBIO - AERÓBIO**

**Lorena Mesquita Terra<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Lavras. Bolsista de Iniciação Científica (CNPq).

**Fátima Resende Luiz Fia<sup>(2)</sup>**

Engenheira Agrícola pela UFLA. Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora do Departamento de Engenharia da UFLA.

**Ronaldo Fia<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela UFV. Doutor em Engenharia Agrícola pela UFV. Professor do Departamento de Engenharia da UFLA.

**Raquel Maria de Souza<sup>(4)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Lavras.

**Ana Carla de Carvalho<sup>(5)</sup>**

Engenheira Agrícola pela UFLA. Mestre em Engenharia Agrícola pela UFLA.

**Endereço:** Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG - CEP: 37.200-000 - Brasil - Tel: (35) 3829-1481 - e-mail: [lorenamterra@gmail.com](mailto:lorenamterra@gmail.com); [fatimarlf@deg.ufla.br](mailto:fatimarlf@deg.ufla.br); [ronadofia@deg.ufla.br](mailto:ronadofia@deg.ufla.br); [kelmariasouza@gmail.com](mailto:kelmariasouza@gmail.com); [accnogueira@yahoo.com.br](mailto:accnogueira@yahoo.com.br).

### **RESUMO**

A vinhaça é um resíduo líquido do processamento da cana-de-açúcar para fabricação de álcool, açúcar e cachaça. Além da elevada concentração de matéria orgânica, outra característica da vinhaça que causa impacto ambiental negativo é a presença de compostos fenólicos. Estes compostos podem inibir a fermentação microbiana, assim como no tratamento biológico da vinhaça, quando presentes em determinadas concentrações. Sendo assim, o presente trabalho avaliou o desempenho na remoção de fenol de dois reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB) em série, seguidos por um filtro biológico aerado submerso (FBS) no tratamento da vinhaça, em escala laboratorial. Os dois UASB foram construídos idênticos, em acrílico com volume útil de 16 litros. O FBS também foi montado em acrílico, com volume útil de 13,5 litros. O material suporte utilizado no FBS foi o conduíte com 13 mm de diâmetro interno, cortado em gomos de 2 cm. A vinhaça utilizada para o tratamento foi coletada no alambique da Cachaça Bocaina, localizada no município de Lavras-MG. Devido à sazonalidade da produção da vinhaça, o sistema foi monitorado durante 401 dias, em dois anos consecutivos, sendo que as vazões e tempos de residência hidráulica (TRH) aplicados no UASB1, UASB2 e FBAS durante as duas fases dos dois anos de monitoramento foram de 15,6 L d<sup>-1</sup>, 1,2 d, 1,2 d e 1,0 d (Fase I - Ano I); 8,5 L d<sup>-1</sup>, 2,1 d, 2,1 d e 1,8 d (Fase II - Ano I); 14,6 L d<sup>-1</sup>, 1,1 d, 1,1 d e 1,0 d (Fase I - Ano II); 29,5 L d<sup>-1</sup>, 0,6 d, 0,6 d e 0,5 d (Fase II - Ano II), respectivamente. A Fase II do primeiro ano de monitoramento foi a que apresentou as melhores eficiências de remoção de compostos fenólicos. Nesta fase, o sistema apresentou eficiência de remoção satisfatória, com média de 72% e, além disso, o FBS apresentou melhor desempenho na remoção de compostos fenólicos em todas as fases do experimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluentes agroindustriais, UASB, FBAS, fenol.

### **INTRODUÇÃO**

Para as indústrias que utilizam grandes quantidades de água, tais como as do setor sucroalcooleiro, é fundamental tratar e reutilizar seus efluentes. Desta forma, tem sido sugerida a aplicação da vinhaça no solo, como fonte de nutrientes para as culturas. Porém, a disposição inapropriada pode levar a contaminação dos solos e das águas subterrâneas. Associado a este fato, verifica-se que os padrões ambientais de descarga de efluentes em cursos de água aplicados às agroindústrias são muitas vezes rigorosos e abaixo dos níveis que podem ser alcançados com tecnologias de tratamento biológico convencionais (MINAS GERAIS, 2008).

Dos resíduos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é, sem dúvida, o mais importante, não só em termos de volume gerado, mas também em potencial poluidor. Aproximadamente de 6 a 15 litros de vinhaça são obtidos

para cada litro de álcool produzido e sua composição varia de acordo com a matéria prima e os equipamentos utilizados no processo de obtenção do álcool, representando um sério problema ambiental (CHAUDHARIEt al., 2007; JIMÉNEZ et al., 2004).

Além da elevada concentração de matéria orgânica, outra característica da vinhaça que causa impacto ambiental negativo é a presença de compostos fenólicos. Estes compostos podem inibir a fermentação microbiana, assim como no tratamento biológico da vinhaça, quando presentes em determinadas concentrações (VIANA, 2006).

No Brasil, os processos anaeróbios empregados em sistemas de tratamento de efluentes são comumente utilizados devido às diversas vantagens que apresentam, quando comparados aos aeróbios. Porém, esses sistemas quando utilizados individualmente para tratamento de águas residuárias agroindustriais produzem efluentes com concentrações de nutrientes (N e P) acima do valor permitido pela legislação, necessitando de tratamento complementar aeróbio.

Sendo assim, estudos que apliquem as tecnologias anaeróbias em conjunto com as aeróbias no tratamento da vinhaça justificam-se à medida que se constata a importância, para a economia brasileira, da produção de derivados da cana-de-açúcar, como o açúcar e o etanol. Ultimamente, o governo federal impôs um estímulo relevante à produção de álcool como combustível; em vista disto, as áreas de produção de cana-de-açúcar e consequentemente a produção da vinhaça têm aumentado continuamente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de dois reatores anaeróbios de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB) em série, seguidos por um filtro biológico aerado submerso (FBAS) na remoção de compostos fenólicos da vinhaça.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dois reatores anaeróbios de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB) foram construídos em acrílico e com características idênticas, com diâmetro interno de 0,18 m, altura total de 0,8 m e volume útil de 16 litros, possuindo no topo um separador trifásico. Em sequência, foi instalado um filtro biológico aerado submerso (FBAS), também construído em acrílico, com diâmetro de 0,18 m, altura total de 0,5 m e volume útil de 13,5 litros. O material suporte empregado foi conduíte corrugado com 13 mm de diâmetro interno, cortado em gomos de 2 cm, preenchendo a referida unidade até a altura de 28 cm. O afluente do FBAS correspondeu ao efluente proveniente do sistema bifásico, sendo que este entrava pelo fundo do biofiltro em escoamento ascendente passando pelo material suporte onde ocorria a maior parte do tratamento.

A vinhaça, proveniente do alambique da Cachaça Bocaina, localizado no município de Lavras-MG, depois de diluída e tendo seu pH corrigido com carbonato de sódio ou hidróxido de sódio para valores próximos a 7 foi aplicada na base do reator UASB1, em escoamento ascendente, por meio de uma bomba dosadora tipo solenoide. Em seguida o efluente escoava por gravidade para o segundo reator UASB2, para depois ser introduzido, também por gravidade no FBAS.

No primeiro ano, a partida do sistema ocorreu no dia 10 de agosto de 2012 e o monitoramento se estendeu até 8 de março de 2013 (211 dias de monitoramento). A partida dos reatores anaeróbios de manta de lodo foi realizada com lodo proveniente de um reator UASB, em escala piloto, utilizado no tratamento da água residuária da suinocultura, localizado no setor de suinocultura da UFLA. Já na partida do BAS não se utilizou inoculo

No início, a carga orgânica volumétrica (COV) e o tempo de detenção hidráulica (TDH) aplicados no UASB 1 foi de  $7,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  de DQO e 1,2 dias e com a estabilidade do desempenho das unidades, o carregamento orgânico seria aumentado e o TDH reduzido gradativamente, com aumento da vazão. No entanto, esta COV foi alta para o período de aclimatização dos microrganismos (*start up*) e resultou no desequilíbrio do sistema. Diante disso, optou-se pela redução da COV e aumento do TDH. Esta primeira fase foi conduzida do dia 10 de agosto de 2012 até o dia 25 de outubro de 2012, totalizando 77 dias de monitoramento do sistema. A Fase II foi conduzida do dia 01 de novembro de 2012 até 08 de março de 2013 (quando terminou a água residuária que estava armazenada), totalizando 123 dias de monitoramento do sistema.

O segundo ano de monitoramento iniciou em julho de 2013, com o retorno das atividades de processamento da cana de açúcar. O sistema voltou a funcionar com a carga aplicada na primeira fase do primeiro ano, e a mesma foi mantida até 29 de novembro de 2013, constituindo a Fase I. Em seguida para a Fase II aumentou-se a COV aplicada nos reatores e o monitoramento do sistema se estendeu até 13 de janeiro de 2014, quando acabou a vinhaça armazenada. As COVs e os tempos de detenção hidráulica (TDHs) aplicadas em cada fase encontram-se nas Tabelas 1.

Para avaliação do sistema foram monitorados os afluentes e efluentes de cada reator, por meio da determinação do pH (APHA et al., 2005) e das concentrações de compostos fenólicos, sendo esses determinados pelo método colorimétrico, com o uso do reagente Folin-Denis, sendo que o ácido tânico foi utilizado para construção da curva padrão (FOLIN e DENIS, 1912).

**Tabela 1: Vazão e tempos de residência hidráulica (TRH) aplicados no UASB1, UASB2 e FBAS durante as duas fases dos dois anos de monitoramento.**

Ano	Fase	TRH (dias)			COV (kg m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )		
		UASB1	UASB2	FBAS	UASB1	UASB2	FBAS
I (211 dias)	I	1,2 ± 0,7	1,2 ± 0,7	1,0 ± 0,6	7,7±3,9	4,6±1,3	4,7±1,2
	II	2,1 ± 1,2	2,1 ± 1,2	1,8 ± 1,0	3,6±1,2	1,7±0,6	1,0±0,8
II (190 dias)	I	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,3	1,0 ± 0,3	6,0±2,4	3,2±1,1	3,3±1,3
	II	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,1	11,7±3,9	6,7±1,3	7,0±1,5

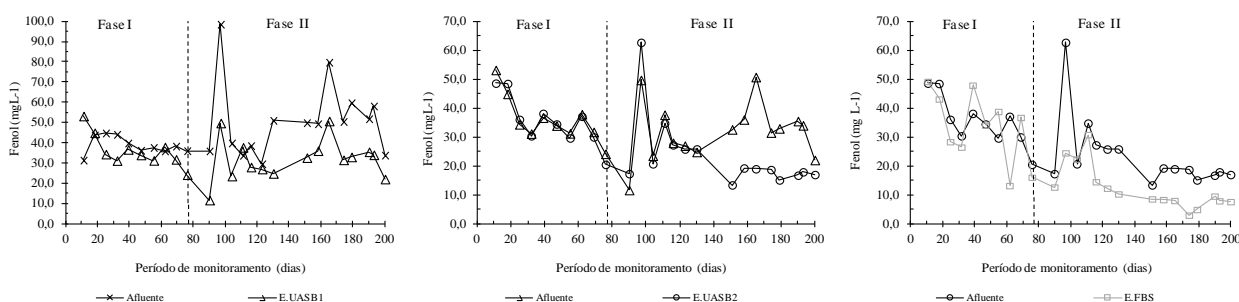
## RESULTADOS

Os valores de pH (Tabela 2) da água residuária em tratamento pode influenciar a remoção dos compostos fenólicos. Quanto maior o valor de pH maior a possibilidade de precipitação dos compostos fenólicos no meio, tal como verificado por FIA et al. (2010).

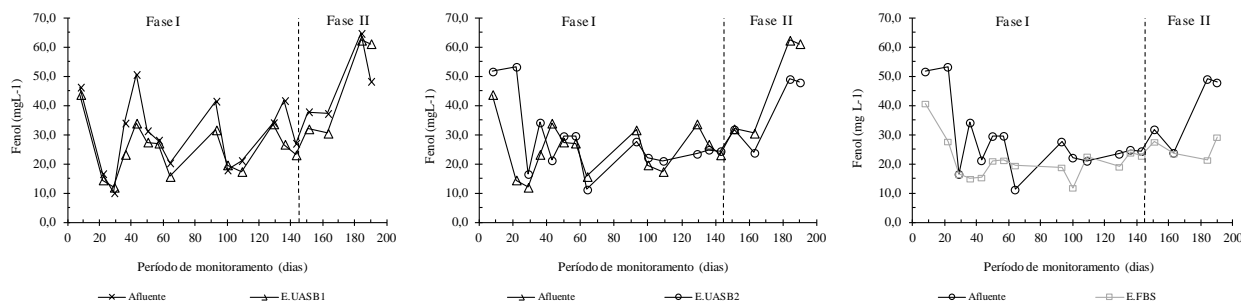
**Tabela 2: Valores médios, mínimos, máximos e desvio-padrão do pH no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1, UASB 2 e FBS durante o período de monitoramento do sistema**

ANO	FASE	pH			
		Afluente	E. UASB1	E. UASB2	E. FBAS
ANO I	Fase I	6,0±1,5	6,1±1,3	6,1±1,1	7,6±1,7
	Fase II	6,0±0,5	6,6±0,9	7,2±0,6	9,1±0,3
ANO II	Fase I	6,8±1,6	6,1±1,7	6,0±1,6	6,7±1,7
	Fase II	7,9±2,7	6,2±2,6	5,8±2,0	6,1±1,7

A variação dos valores médios de compostos fenólicos no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1, UASB 2 e FBS podem ser visualizados nas Figuras 1 e 2; enquanto as eficiências médias de remoção durante o período de monitoramento do sistema podem ser observados na Tabela 3.



**Figura 1: Variação dos valores médios de compostos fenólicos no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1, UASB 2 e FBS durante o primeiro ano de monitoramento do sistema (Fase I e Fase II)**



**Figura 2: Variação dos valores médios de compostos fenólicos no afluente e nos efluentes dos reatores UASB 1, UASB 2 e FBS durante o segundo ano de monitoramento do sistema (Fase I e Fase II)**

**Tabela 3: Valores médios, mínimos, máximos e desvio-padrão da eficiência de remoção de compostos fenólicos nos reatores UASB 1, UASB 2 e FBS durante o período de monitoramento do sistema**

ANO	FASE	Compostos Fenólicos (%)			
		UASB1	UASB2	FBAS	Sistema
ANO I	Fase I	13±12	4±5	13±20	21±25
	Fase II	36±16	28±25	48±22	72±22
ANO II	Fase I	15±13	8±14	23±19	28±23
	Fase II	9±9	16±11	28±25	43±17

Analisando a Tabela 3, nota-se que a Fase II do primeiro ano de monitoramento foi a que apresentou as melhores eficiências de remoção deste composto. Nesta fase, o sistema apresentou eficiência de remoção satisfatória, com média de 72%.

Na Fase II do primeiro ano, a concentração de compostos fenólicos encontrados no afluente apresentou um aumento (Concentração média no Afluente do UASB1 = 50,7 mg L<sup>-1</sup>) e a eficiência de remoção foi maior, resultando em concentrações mais baixas nos reatores UASB 1 (E.UASB1 = 31,8 mg L<sup>-1</sup>), UASB 2 (E.UASB2 = 23,4 mg L<sup>-1</sup>) e FBS (E.FBAS = 12,3 mg L<sup>-1</sup>) em comparação com a Fase I do primeiro ano de monitoramento. Isso se deve, provavelmente, a aclimatização e aumento dos microrganismos responsáveis pela degradação destes compostos. Além disso, o aumento no valor médio de pH no efluente das unidades (Tabela 2), nessa fase, podem ter contribuído para a melhora no desempenho. Nota-se que os maiores valores desta variável foram observados no efluente do FBAS, o que provavelmente pode estar vinculado ao melhor desempenho desta unidade na remoção de compostos fenólicos em todas as fases do experimento (Tabela 3).

Na literatura se encontram maiores eficiências de remoção de compostos fenólicos de águas residuárias tratadas por processos anaeróbios quando comparadas com as eficiências encontradas neste trabalho. FIA et al. (2010) avaliando a remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suportes, observaram para TRH e COV de 1,19 dias e 0,81 Kg m<sup>-3</sup>d<sup>-1</sup>, eficiência média de 68% para o reator preenchido com escória de alto forno como material suporte.

BRUNO e OLIVEIRA (2008), tratando água residuária do processamento do café por meio de reatores UASB em dois estágios, obtiveram eficiências médias de remoção de compostos fenólicos variando de 72 e 90% para concentrações afluentes entre 79,7 e 97,4 mg L<sup>-1</sup>, sendo que as maiores eficiências foram obtidas quando o TDH foi de 6,17 dias.

No entanto, vários são os processos empregados o que dificulta, sobremaneira, a comparação dos dados. Além disso, a condução experimental também influencia a eficiência dos sistemas tais como TDH, temperatura, pH, carga orgânica e hidráulica e concentração afluente. Neste trabalho, por exemplo, nota-se que as elevadas COVs aplicadas nas unidades experimentais pode ter sido um fator limitante ao desempenho dos reatores na remoção de compostos fenólicos. Assim, as eficiências médias de compostos fenólicos obtidas neste trabalho, podem ser consideradas satisfatórias tendo em vista as condições operacionais às quais os reatores foram expostos.

## CONCLUSÕES

A Fase II do primeiro ano de monitoramento foi a que apresentou as melhores eficiências de remoção de compostos fenólicos. Nesta fase, o sistema apresentou eficiência de remoção satisfatória, com média de 72% e, além disso, o FBS apresentou melhor desempenho na remoção de compostos fenólicos em todas as fases do experimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>th</sup>. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].
2. BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. de. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.2, p.364-377, 2008.
3. CHAUDHARI, P. K.; MISHRA, I. M.; CHAND, S. Decolourization and removal of chemical oxygen demand (COD) with energy recovery: treatment of biodigester effluent of a molasses-based alcohol distillery using inorganic coagulants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 296, n. 1/3, p. 238-247, 2007.
4. FIA, F. R. L.; MATOS, A. T. de; BORGES, A. C.; MOREIRA, D. A.; FIA, R.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V. Remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suporte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, p. 1079-1086, 2010 .
5. FOLIN, O.; DENIS, W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *The Journal of Biological Chemistry*, v.12, n.2, p.239-243, 1912.
6. JIMÉNEZ, A. M.; BORJA, R.; MARTÍN, A. A comparative kinetic evaluation of the anaerobic digestion of untreated molasses and molasses previously fermented with *Penicillium decumbens* in batch reactors. *Biochemical Engineering Journal*, v. 18, n. 2, p. 121-132, 2004.
7. MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01*, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
8. VIANA, A. B. *Tratamento anaeróbio da vinhaça em reator UASB operado em temperatura na faixa termofílica (55° C) e submetido ao aumento progressivo da carga orgânica*. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.