

## **II-200 – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM BIORREATOR COM MEMBRANAS AERÓBIO NO TRATAMENTO DO VINHOTO**

**Leidiane Santana Santos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Dayane Aparecida Fernandes**

Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Graduanda em Química pela UFMG.

**Mariana Souza**

Graduanda em Engenharia Química pela UFMG.

**Luzia Sergina de França Neta**

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestre e Doutora em Engenharia Química pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ. Prof<sup>ª</sup> do Departamento de Química - CEFET-MG.

**Míriam Cristina dos Santos Amaral**

Engenheira Química pela UFMG. Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG - CEP 31270-901 – Brasil - e-mail: leydiane287@hotmail.com

### **RESUMO**

O vinhoto, também conhecido como vinhaça, é o efluente gerado durante a etapa de destilação do caldo ou melaço de cana-de-açúcar fermentado para obtenção de etanol. O vinhoto se caracteriza pelo seu elevado potencial poluidor, com alta carga orgânica e de nutrientes, e pela grande quantidade gerada, sendo que para cada litro de álcool são produzidos cerca de 15 litros de vinhoto. Desse modo, o desenvolvimento sustentável das indústrias sucroalcooleiras depende de um sistema de tratamento de efluentes eficaz. O presente estudo avaliou o desempenho de um sistema de ultrafiltração conjugado com um biorreator com membranas (BRM) aeróbio no tratamento do vinhoto. A rota de tratamento avaliada resultou em 92%, 93%, 98%, 78% e 88% de eficiência de remoção de DQO, COT, DBO, nitrogênio total e fósforo total, respectivamente. A taxa de incrustação das membranas foi baixa, uma vez que o BRM operou abaixo do fluxo crítico (20 L/h.m<sup>2</sup>). Apesar do bom desempenho na remoção dos poluentes, o efluente tratado não possui características para reuso, necessitando de um pós-tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vinhoto, biorreator com membranas, incrustação.

### **INTRODUÇÃO**

A vinhaça ou vinhoto é um dos efluentes gerados na produção do álcool, e merece atenção pela quantidade gerada e pelo seu potencial poluidor. Para cada litro de álcool produzido são gerados entre 10 a 15 litros de vinhaça. A vinhaça é um efluente rico em nitrogênio, fósforo, potássio e sulfatos. Além disso, apresenta elevada carga orgânica, entre 25000 e 65000 mg/L de DQO (MACHADO e FREIRE, 2009).

Uma das alternativas mais utilizadas para o destino do vinhoto pelas usinas é a fertirrigação. Entretanto, é uma prática economicamente viável apenas para curtas distâncias e, a utilização contínua do vinhoto nos mesmos solos, mesmo que em pequenas dosagens, pode gerar a saturação de cátions ocasionando problemas de lixiviação de seus constituintes para águas subterrâneas, geração de odor e proliferação de insetos.

Nesse sentido, diversos estudos vêm sendo realizados para se obter rotas de tratamento que permitam o aproveitamento de forma segura dos nutrientes e sais contidos no vinhoto. O biorreator com membranas (BRM) apresenta-se como um dos processos promissores para o tratamento deste tipo de efluente. O BRM consiste da associação de processo biológico com processos de separação por membranas. A utilização de

membranas permite aumentar a concentração de microrganismos no biorreator e assim melhorar a qualidade do efluente, podendo ser reutilizado.

O maior problema dos BRM é a queda no fluxo de permeado ao longo do tempo, que é influenciado por uma série de fatores relacionados à alimentação, a membrana e as condições de operação. Este aumento da resistência à filtração leva a um aumento na demanda de energia, na frequência de limpezas e consequentemente aumento do custo operacional.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do biorreator com membranas no tratamento do vinhoto gerado do processo de fabricação do álcool. O desempenho do biorreator foi analisado em termos da eficiência de remoção dos poluentes e na investigação da evolução da incrustação da membrana.

## **METODOLOGIA**

### **EFLUENTE DE DESTILARIA**

O vinhoto utilizado na realização dos experimentos foi fornecido pela Usina Irmãos Malosso, localizada em Itápolis/SP. O vinhoto foi caracterizado segundo os seguintes parâmetros físico-químicos: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT), pH, cor, condutividade, série de sólidos totais (ST), nitrogênio total (NT) e fósforo total. As análises foram realizadas em conformidade com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e os parâmetros cor, turbidez, COT e NT foram analisados através dos equipamentos Espectrofotômetro Hach DR 2800, Turbidímetro Hach 2100AN, Analisador de TOC Shimadzu TOC-V CNP e Analisador de NT Shimadzu TNM-1, respectivamente.

### **PRÉ-TRATAMENTO DO VINHOTO**

O vinhoto bruto passou por uma etapa de ultrafiltração antes da entrada no biorreator. A concentração foi feita utilizando um módulo de membrana de ultrafiltração tipo fibra oca submersa (polímero base poli (éter sulfona)), poros com diâmetro de corte de 50KDa) e área de membrana de 0,1m<sup>2</sup>. O sistema operou sob pressão constante de 0,7 bar. O sistema de ultrafiltração gerou duas correntes denominadas de permeado e concentrado. A corrente concentrada pode ser utilizada como fertilizante no canavial e a corrente do permeado foi encaminhada para o biorreator.

### **UNIDADE DO BIORREATOR COM MEMBRANAS (BRM)**

O biorreator com membranas, utilizado nesse estudo, era constituído de quatro tanques de acrílico: um tanque de armazenamento de alimentação, um tanque biológico e dois tanques para armazenamento de permeado (sendo que em um deles era realizado vácuo para promoção da filtração e no outro era armazenado o permeado para retrolavagem). As condições de operação foram: tempo de detenção hidráulica (TDH) de 40 horas, idade do lodo de 30 dias, vazão de permeado de 0,1 L/h, volume útil do BRM de 4 L, acionamento da retrolavagem a cada 15 minutos durante 15 segundos, pressão da retrolavagem entre 0,3 a 0,4 bar, módulo de membrana de microfiltração de fibra oca de poli(éter imida) com tamanho médio de poros de 0,4 µm com área de 0,0125 m<sup>2</sup> e vazão de aeração na base no módulo de 0,4 m<sup>3</sup>/h.

### **MONITORAMENTO DO PROCESSO**

O desempenho do sistema foi avaliado em termos de remoção de poluentes e incrustação das membranas. Durante a fase de aclimação foram monitorados diariamente cor, turbidez, DQO, evolução da pressão e três vezes na semana foi quantificado a concentração de SSV do lodo. O pH da suspensão foi mantido entre 6,8 e 7,2. A aclimação foi tida como completa quando a eficiência de remoção de DQO se tornou aproximadamente constante ao longo do tempo. Após a etapa de aclimação a eficiência do tratamento também foi avaliada em termos de COT, NT, fósforo total, DBO<sub>5</sub> e série de sólidos totais semanalmente.

## INVESTIGAÇÃO DA INCRUSTAÇÃO

A avaliação da incrustação foi realizada por meio dos testes de fluxo crítico e análise da evolução da pressão. O fluxo crítico foi medido segundo o método *TMP-step* (LE-CLECH *et al.*, 2003), que consiste na fixação de um valor de pressão e leitura do fluxo correspondente por um dado intervalo de tempo. Para cada valor de pressão avaliado, o fluxo permeado era monitorado durante 15 minutos, com leituras feitas a cada 3 minutos de permeação. Após os 15 minutos de permeação, a pressão sofria um aumento e a mudança no valor do fluxo era novamente acompanhada. O fluxo crítico corresponde ao valor no qual foi observada redução do fluxo durante os 15 minutos de permeação com pressão constante. O fluxo crítico era medido após a limpeza de recuperação do módulo de membranas, que consistia na limpeza química com ácido cítrico em pH 2,5 e hipoclorito de sódio a 500 ppm em banho de ultrassom durante 20 minutos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO VINHOTO BRUTO

A Tabela 1 apresenta a caracterização físico-química das amostras de vinhoto bruto usadas ao longo do desenvolvimento desse trabalho e diferentes resultados encontrados na literatura para vinhoto de caldo de cana.

**Tabela 1: Caracterização físico-química de diferentes amostras de vinhoto bruto**

Parâmetro	*Am 1	Am 2	Am 3	Am 4	Dados Literatura	
					Mínimo	Máximo
DQO (mg/L)	29434	16855	15574	17690	21450	48860
DBO (mg/L)	6550	5900	5125	5688	6450	21275
COT (mg/L)	4519	4712	4202	4234	3,29	4,56
Cor (mg/L)	20103	19555	13465	18955	4260	14120
pH	4,14	4,1	3,76	3,79	3,29	4,56
Condutividade (µS)	3686	3670	3681	3664	4260	14120
ST (mg/L)	15784	11548	11546	13538	-	-
STV (mg/L)	13214	9137	9134	11100	70	410
STF (mg/L)	2570	2411	2412	2438	-	-
Nitrogênio total	112	104	88	99	-	-
Fósforo	169	95	71	129	160	200

Fonte: Barros *et. al.*, 2010; Lyra *et. al.*, 2003; Mota *et. al.*, 2011 e Sartori, 2011.

\* Am: Cada amostra de vinhoto bruto corresponde a um recipiente de 50 litros.

As amostras apresentaram elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO, DBO<sub>5</sub> e COT, e a relação DBO/DQO sugere boa biodegradabilidade do efluente. Os valores de DQO e DBO se distanciaram dos valores encontrados na literatura. Tal diferença pode estar relacionada à natureza e composição da matéria prima, ao método de fermentação utilizado, à espécie de levedura, ao aparelho de destilação utilizado entre outros fatores (WADT, 2008). Além disso, os baixos valores encontrados para a DBO<sub>5</sub> podem ter ocorrido devido à ausência de microrganismos no vinhoto, dado que o mesmo sai das colunas de destilação a elevadas temperaturas e a análise de DBO foi realizada sem adição de inóculo (CHANDRA *et al.*, 2008). Outro fator que pode ter contribuído para os valores relativamente baixos da DBO, foi a elevada razão de diluição necessária para realização da análise, sempre acima de 1000 vezes.

Pela análise da série de sólidos totais, também é possível perceber o alto teor de substâncias orgânicas presente no vinhoto, em que aproximadamente 81% dos sólidos totais são substâncias voláteis. O vinhoto também possui grande quantidade de sólidos dissolvidos, como pode ser percebido pela elevada condutividade elétrica apresentada pelas amostras.

Além da elevada concentração de matéria orgânica, o vinhoto também apresenta elevada concentração de cor, dando origem a um efluente com coloração castanha escura, que ocorre principalmente devido à presença de melanoidina, formada a partir da reação de Maillard de açúcares (carboidratos) com proteínas (grupos aminos)

durante o processo produtivo do álcool (CHANDRA *et al.*, 2008). Efluentes com alta coloração, como o vinhoto, apresentam em sua composição compostos corantes que são mais difíceis de tratar devido à sua origem sintética e estruturas moleculares aromáticas complexas. Tais estruturas são resistentes ao desbotamento (descoloração) por exposição à luz, água ou agentes oxidantes, o que as torna mais estáveis e menos susceptíveis de biodegradação (FERREIRA *et al.*, 2010). Além de dificultar o tratamento, os compostos corantes também reduzem a penetração de luz solar em rios, lagos ou lagoas, diminuindo assim tanto a atividade fotossintética como a concentração de oxigênio dissolvido afetando a vida aquática (MOHANA *et al.*, 2009).

A concentração de nitrogênio total e fósforo total foram baixas, não seguindo a recomendação da relação entre matéria orgânica e nutrientes, expressa em termos de DBO<sub>5</sub>/Nitrogênio/Fósforo de 100/5/1, relação ótima para sistemas aeróbios tratando esgoto doméstico. Entretanto, a baixa relação entre matéria orgânica e nutrientes, com excesso de fósforo e falta de nitrogênio, não foi um obstáculo para o crescimento e manutenção de elevadas concentrações de biomassa, como pode ser visto na Figura 3.

Alguns parâmetros físico-químicos como DQO, cor, ST, STV, NT e PT, diferiram bastante de uma amostra para outra, isto pode ter ocorrido pela diferença no período de coleta das amostras e pela dificuldade da completa homogeneização dos frascos que armazenavam o vinhoto.

## PRÉ-TRATAMENTO DO VINHOTO COM MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO

O sistema com módulo de membrana de ultrafiltração operou com uma taxa de recuperação de 80%. A Tabela 2 apresenta os valores para a concentração média, mínima e máxima para o vinhoto após a membrana de ultrafiltração, bem como uma análise da variância amostral e os valores médios, mínimos e máximos para a eficiência de remoção para alguns parâmetros durante essa etapa.

**Tabela 2: Concentrações e eficiências de remoção média, mínima e máxima e análise da variância amostral do vinhoto após o pré-tratamento**

Parâmetros	Concentrações			Variância amostral		Eficiência de Remoção		
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Média	Mínimo	Máximo
DQO (mg/L)	9899	7631	13333	2473,06	24,98	49%	44%	55%
DBO (mg/L)	3665	2450	4600	1008,45	27,52	37%	19%	58%
COT (mg/L)	3608	3302	4009	308,24	8,54	18%	11%	22%
Cor (mg/L)	1089	916	1225	130,35	11,97	94%	92%	95%
pH	4,01	3,78	4,22	0,20	5,11	-	-	-
Condutividade (µS/cm)	3874	3591	4328	321,46	8,30	-	-	-
ST (mg/L)	7729	6812	9024	930,17	12,03	41%	35%	44%
STV (mg/L)	5342	4658	6240	657,62	12,31	49%	43%	53%
STF (mg/L)	2421	2238	2784	248,03	10,24	5%	3%	7%
Nitrogênio total (mg/L)	55	37	74	16,02	29,13	46%	34%	63%
Fósforo total (mg/L)	59	36	86	22,14	37,26	49%	47%	50%

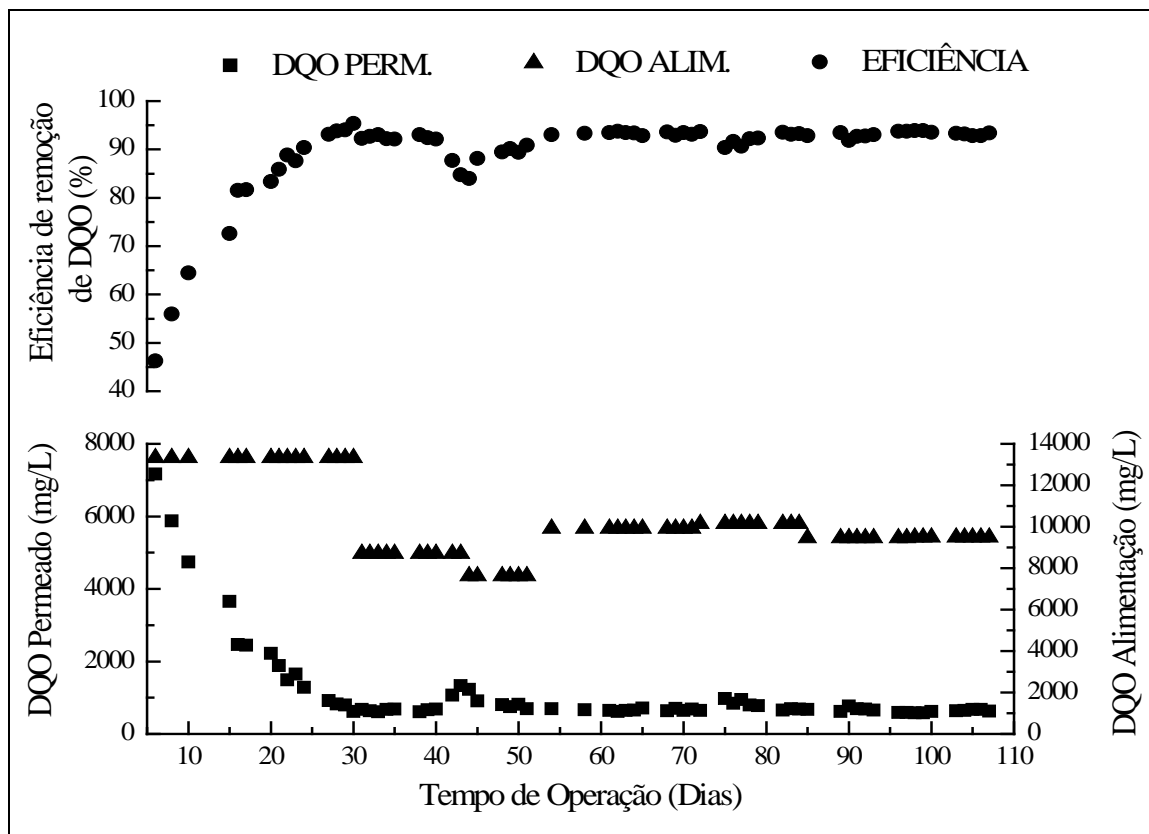
A etapa de pré-tratamento mostrou-se eficiente na remoção de DQO, cor, sólidos totais voláteis e nutrientes. Alguns parâmetros apresentaram grande variação, como pode ser visto pelos valores de desvio padrão e coeficiente de variação. Os parâmetros DQO, DBO, nitrogênio total e fósforo total, apresentaram altos valores de coeficiente de variação, o que indica grande heterogeneidade dos dados. Parte dessa diferença é devido à variabilidade das amostras de vinhoto bruto, como mostrado na Tabela 1.

De forma geral, o pré-tratamento do vinhoto mostrou-se um processo simples e com alto desempenho na remoção dos poluentes, o que contribuirá para uma maior eficiência do processo biológico, podendo gerar, ao final do tratamento, um efluente com qualidade para reuso. A alta eficiência na remoção de matéria orgânica, também ajuda a evitar possíveis problemas decorrentes de choque de carga no reator biológico. E a alta

remoção de nutrientes, além de, ajudar na obtenção de um efluente final com melhores características, possibilita o reuso da corrente concentrada dessa etapa como fertilizante no canavial.

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BRM NA REMOÇÃO DOS POLUENTES

Na Figura 1 são apresentados os valores de DQO da alimentação, do permeado do BRM e a eficiência de remoção de DQO.



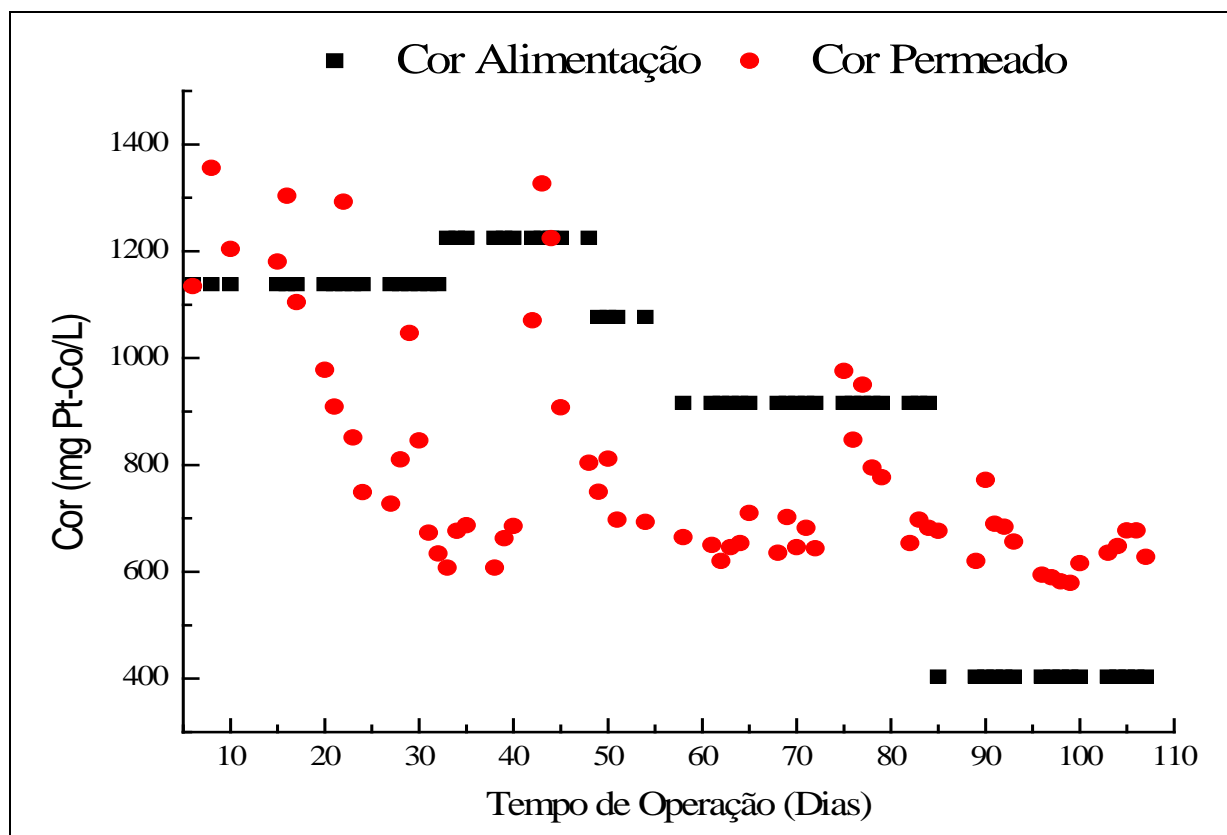
**Figura 1: Concentração de DQO da alimentação e do permeado do BRM e respectivas eficiências de remoção**

A aclimação do lodo ao vinhoto foi rápida. Após 30 dias, a concentração de DQO do permeado estava constante e com concentração média de 700 mg/L, resultando em uma eficiência média de remoção de DQO de 92%. Resultado superior ao encontrado por Billad *et al.* (2010) que obteve 80% de eficiência de remoção de DQO usando um BRM em escala laboratorial, com operação contínua, tratando um efluente de melaço de cana diluído (DQO de 2250 mg/L).

Além do alto desempenho na remoção de DQO, o período de aclimação dos microrganismos ao vinhoto foi pequeno. No estudo realizado por Yan *et al.* (2012) foram necessários 3 meses de aclimação para a operação contínua de UASB tratando vinhoto diluído. Já na pesquisa realizada por Fernández *et al.* (2008) o período de aclimação de um reator anaeróbio de leito fluidizado com zeólita como meio suporte tratando efluente de destilaria foi de 45 dias.

Após a etapa de aclimação o BRM manteve o bom desempenho na remoção de DQO. O aumento da concentração de DQO entre os dias 40 a 45 ocorreu devido à presença de fibras rompidas no módulo de membrana. Já o aumento da concentração de DQO entre os dias 75 a 80 está relacionado à queda da concentração de biomassa do biorreator. Entretanto, observa-se que rapidamente o sistema voltou a operar normalmente, e a concentração de DQO do permeado retornou a 700 mg/L.

Além da elevada eficiência na remoção da matéria orgânica, é interessante que a rota de tratamento proposta para o vinhoto proporcione redução da concentração de cor, um dos grandes obstáculos no tratamento desse efluente. A Figura 2 apresenta os valores de cor da alimentação e do permeado do BRM.



**Figura 2: Concentração de cor da alimentação e do permeado do BRM**

A concentração de cor do permeado do BRM, durante a etapa de aclimação, oscilou entre 728 e 1356 mg/L, com concentração média de 1033 mg/L. Após a etapa de aclimação a concentração média de cor do permeado foi de 720 mg/L, oscilando entre 595 e 1315 mg/L. O súbito aumento da concentração de cor entre os dias 40 a 45 ocorreu devido à presença de fibras rompidas no módulo de membranas e, entre os dias 75 a 80 está relacionado à queda da concentração de biomassa no biorreator.

A grande variação da cor da alimentação pode ter ocorrido devido à ausência de limpezas químicas do módulo de ultrafiltração usado durante o pré-tratamento. Como pode ser visto pela Figura 2 a concentração de cor foi reduzindo ao longo dos dias de operação. Acredita-se que durante o pré-tratamento formou-se sobre a membrana de ultrafiltração uma fina camada de partículas que contribuiu para reter colóides, que anteriormente conseguiam atravessar os poros da membrana. Essa retenção dos colóides acabou resultando na redução da concentração de cor da alimentação, uma vez que os colóides e sólidos suspensos tem grande influência na medição de cor.

Observa-se pela Figura 2 que em alguns momentos ocorreu aumento da concentração de cor do permeado após o tratamento biológico. Segundo Satyawali e Balakrishnan (2008), esse aumento da concentração da cor ocorre devido à re-polimerização dos compostos coloridos. Sendo que a elevada coloração do permeado está relacionada principalmente as melanoidinas e, apenas 6-7% das melanoidinas são degradadas durante o processo convencional anaeróbio-aeróbio de tratamento de efluentes.

Um dos motivos para a baixa eficiência na degradação das melanoidinas é a falta de conhecimento sobre sua composição e rotas de formação. Recentemente, a fórmula empírica da melanoidina foi sugerida como  $C_{17}H_{26-27}O_{10}N$  (PANT e ADHOLEYA, 2007).



Além dos parâmetros, DQO e cor, analisados diariamente, o desempenho do BRM também foi investigado na remoção de carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e série de sólidos totais. Tais parâmetros foram analisados semanalmente, após a etapa de aclimação. A Tabela 3 apresenta os valores médios, mínimos, máximos e eficiência de remoção média destes parâmetros físico-químicos do permeado do BRM.

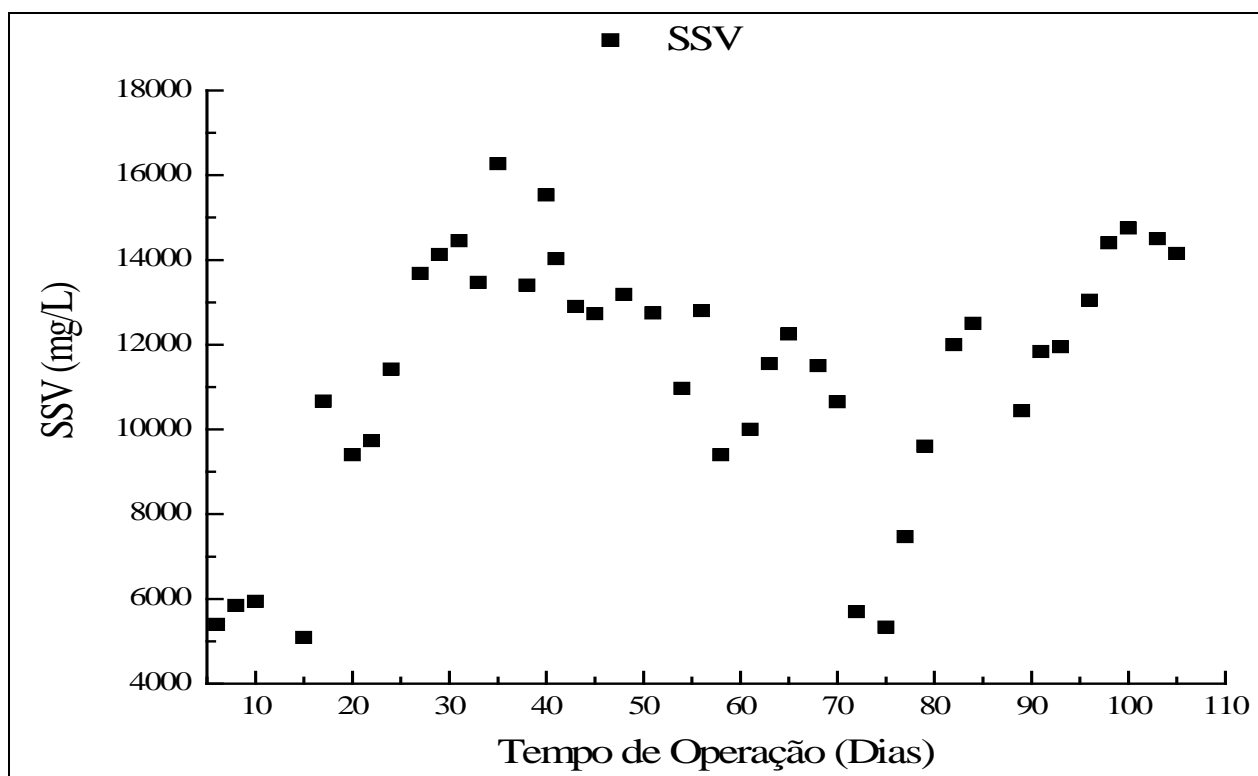
**Tabela 3: Valores médios, mínimos, máximos e eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos do permeado do BRM**

Parâmetros	Concentração média (mg/L)	Concentração mínima (mg/L)	Concentração máxima (mg/L)	Eficiência média de remoção (%)
COT	252	228	292	93
DBO	80	58	110	98
Nitrogênio Total	10,03	8,30	12,00	78
Fósforo Total	6,76	3,11	12,66	88
ST	3903	3365	4511	49
STV	793	662	896	85
STF	3110	2703	3615	-

Observa-se elevada eficiência de remoção de COT e DBO, comprovando o bom desempenho do BRM na remoção da carga orgânica do vinhoto. Observa-se também pela Tabela 3 que a rota de tratamento proposta apresentou satisfatória remoção de nitrogênio e fósforo. Resultado bastante superior ao encontrada por Yan *et al.* (2012) tratando efluente de destilaria diluído através de um reator UASB seguido por BRM aeróbio. A eficiência global do tratamento foi de 73% para remoção de nitrogênio total e de 22% para o fósforo total.

O BRM também apresentou bom desempenho na remoção dos sólidos totais, em especial para a fração volátil, que corresponde a matéria orgânica ainda presente no permeado. Entretanto, para os sólidos fixos totais houve um aumento da concentração após o BRM, indicando baixa eficiência de remoção para as substâncias inorgânicas. Outro fato que pode estar relacionado ao aumento da concentração de sólidos totais fixos é a diferença do diâmetro médio de corte entre os módulos de membrana empregados na etapa de pré-tratamento e no BRM. A membrana de ultrafiltração possui menor tamanho de poros, permitindo assim maior retenção dos compostos em comparação à membrana de microfiltração utilizada no BRM.

Como comentado anteriormente o aumento da concentração de DQO e cor ocorreu devido à queda na concentração da biomassa. A Figura 3 apresenta a concentração da biomassa, nesse estudo, quantificada como sólidos suspensos voláteis (SSV).



**Figura 3: Concentração de SSV no líquido reacional**

Nos primeiros dias de operação o biorreator apresentou perda significativa na concentração de SSV, isto está relacionado à adaptação do lodo ao novo efluente, mas a partir do 15º dia de operação a concentração voltou a aumentar e manteve-se entre 9,0 a 15,0 g/L de SSV, exceto entre os 71º a 79º dia de operação. A queda da concentração da biomassa nesse período ocorreu devido a problemas com a válvula boia que controlava o nível do tanque biológico. A válvula apresentou um pequeno entupimento que impediu a entrada de alimentação no BRM durante o final de semana, assim o sistema continuou permeando e o nível do tanque biológico abaixando. A biomassa ficou concentrada, o que reduziu a difusão do oxigênio dissolvido, e acabou provocando a morte de microrganismos.

Apesar da grande variação da concentração de SSV ao longo do estudo, é importante destacar que rapidamente o sistema se recuperava das condições adversas e mantinha o bom desempenho na remoção dos poluentes. Essa rápida capacidade de recuperação em boa parte é devido a alta biodegradabilidade do vinhoto.

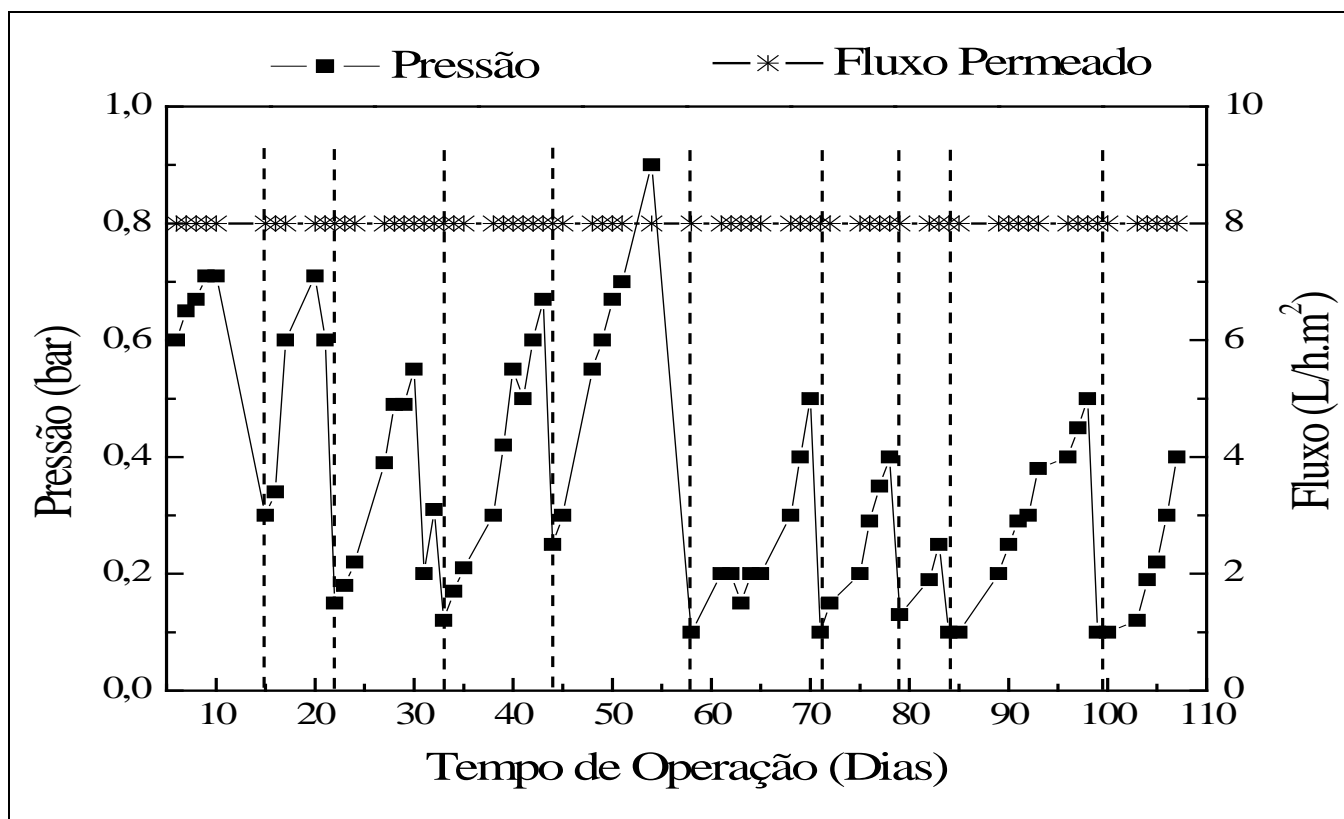
## INVESTIGAÇÃO DA INCRUSTAÇÃO

Nos processos de separação por membrana é desejável que o sistema opere com elevada produtividade, que pode ser obtida através da operação com elevado fluxo. Entretanto, para prolongar a vida útil da membrana e reduzir os custos de limpeza, o fluxo permeado deve ser determinado em função do balanço entre altas taxas de produção e baixo risco de incrustação. Este fluxo que marca a transição entre um regime de polarização estável e instável é chamado fluxo crítico.

É altamente recomendável que o fluxo de operação do BRM seja inferior ao fluxo crítico, para evitar grandes problemas devido ao agravamento do processo de incrustação. O fluxo crítico para o BRM tratando vinhoto de caldo de cana de açúcar foi de 20 L/h.m<sup>2</sup>, valor bem acima do fluxo operacional de 8 L/h.m<sup>2</sup>, o que contribui para reduzir o consumo elevado de energia, incrustação irreversível e aumento dos custos de operação.

A Figura 4 apresenta o fluxo permeado e a variação da pressão de operação do BRM. As linhas pontilhadas indicam os dias nos quais foram realizadas limpezas químicas do módulo de membrana. A limpeza química era feita mergulhando a membrana em solução de ácido cítrico com pH 2,5 durante 20 minutos em banho ultrassom, seguido da limpeza com hipoclorito de sódio com concentração de 500 ppm.





**Figura 4: Fluxo permeado e variação da pressão de operação do BRM**

Observa-se que as limpezas químicas foram eficientes, uma vez que era possível retomar a operação do BRM a baixas pressões. O BRM operou com a taxa de aumento da pressão transmembrana de 0,044 bar/dia. A operação do sistema abaixo do fluxo crítico também contribuiu para que a taxa de incrustação do sistema fosse pequena, e que não ocorresse incrustação irreversível.

## CONCLUSÕES

O tratamento do vinhoto utilizando ultrafiltração seguida por biorreator com membranas apresentou elevada eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes. Entretanto, o efluente final ainda não possui características para reuso, necessitando de um pós-tratamento. A operação do BRM abaixo do fluxo crítico contribuiu para a baixa taxa de incrustação, porém é interessante monitorar e caracterizar as substâncias poliméricas extracelulares (EPS) e os produtos microbianos solúveis (SMP), principais agentes incrustantes nos processos de separação por membrana, para melhor entendimento da incrustação, e assim buscar alternativas para minimizar sua ocorrência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.
2. BARROS, R. P. de; VIÉGAS, P.R. A.; SILVA, T. L. da; Souza, R. M. de; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. de. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana de açúcar e adição de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.40, n.3, p. 341-346, 2010.
3. BILLAD, M. R., DECLERCK P., PIASECKA A., VANYACKER L., YAN, X., VANKELECON, I. F. J. Treatment of molasses wastewater in a membrane bioreactor: Influence of membrane pore size. *Separation and Purification Technology*, v. 78, p. 105-120, 2010.
4. CHANDRA, R.; BHARAGAVA, R. N.; RAI, V. Melanoidins as major colourant in sugarcane molasses based distillery effluent and its degradation. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 4648-4660, 2008.

5. FERNÁNDEZ, N.; MONTALVO, S.; BORJA, R.; GUERRERO, L.; SÁNCHEZ, E.; CORTÉS, I.; COLMENAREJO, M. F.; TRAVIESO, L.; RAPOSO, F. Performance evaluation of an anaerobic fluidized bed reactor with natural zeolite as support material when treating high-strength distillery wastewater. *Renewable Energy*, v. 33, p. 2458-2466, 2008.
6. FERREIRA, L. F.; AGUIAR, M.; POMPEU, G.; MESSIAS, T. G.; MONTEIRO, R. R. Selection of vinasse degrading microorganisms. *World Journal Microbiol and Biotechnol*, v. 26, p. 1613-1621, 2010.
7. LE-CLECH, P.; JEFFERSON, B.; CHANG, I. S.; JUDD, S. J. Critical flux determination by the flux-step method in a submerged membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*, v. 227, p. 81-93, 2003.
8. LYRA, M. R. C. C., ROLIM, M. M., SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.525-532, 2003.
9. MACHADO, O. J., FREIRE, F. B. Tratamento de Vinhaça em Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB). *OLAM – Ciência & Tecnologia*, v. especial, n.2, p. 170, 2009.
10. MOTA, V. T. F. V., MOTTA, G. E., AMARAL, M. C. S. Caracterização detalhada do vinhoto gerado na produção de etanol. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 26, 2011, Porto Alegre, *Anais*.
11. MOHANA, S.; ACHARYA, B. K.; MADAMWAR, D. Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications. *Journal of Hazardous Materials*, v. 163, p. 12-25, 2009.
12. PANT, D.; ADHOLEYA, A. Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 2321-2334, 2007.
13. SARTORI, Sergio Birello. *Atividade enzimática e valores nutricionais de Pleurotus spp cultivados em vinhaça*. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.
14. SATYAWALI, Y. BALAKRISHNAN, M. Treatment of distillery effluent in a membrane bioreactor (MBR) equipped with mesh filter. *Separation and Purification Technology*, v. 63, p. 278-286, 2008.
15. UDOP. União dos Produtores de Bionergia. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=safra>. Acesso em: Set, 2012.
16. WADT, L. C. *Cultivo de Pleurotus spp. Em vinhaça à produção de biomassa e extratos*. 2008. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
17. YAN, X.; BILAD, M. R.; GERARDS, R.; VRIENS, L.; PIASECKA, A.; VANKELECOM, I. F. J. Comparison of MBR performance and membrane cleaning in a single-stage activated sludge system and a two-stage anaerobic/aerobic (A/A) system for treating synthetic molasses wastewater. *Journal of Membrane Science*, v. 394 - 395, p. 49-56, 2012.