



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-012 - DEGRADAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA ESPECÍFICA PRESENTE EM ESGOTO SANITÁRIO EM UM SISTEMA REATOR UASB/FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR

Patrícia Procópio Pontes (1)

Engenheira Química. Mestre em Saneamento e Meio Ambiente. Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora do Departamento de Química do CEFET-MG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne –UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Emerson Cristiano Frade

Engenheiro Civil. Especialista em Engenharia Sanitária. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. do Contorno, 842 / 701 – Belo Horizonte – MG – CEP 30110-060 - Brasil – Tel: (31) 3238 1020 – Fax : (31) 3238 1879

 calemos@desa.ufmg.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma avaliação da degradação de matéria orgânica específica (carboidratos, proteínas e lipídios), em um sistema reator UASB/Filtro Biológico Percolador (FBP). São apresentados, ainda, os resultados obtidos para a caracterização do esgoto bruto e dos efluentes do processo de tratamento. O trabalho foi desenvolvido em duas fases operacionais. Durante a primeira fase da pesquisa, o sistema de tratamento foi operado sem retorno de lodo aeróbio para o reator UASB, enquanto durante a segunda fase, realizou-se o retorno de lodo aeróbio para digestão e adensamento no reator anaeróbio.

As eficiências globais de remoção de DQO no sistema reator UASB/FBP apresentaram uma pequena diminuição, da fase 1 para a fase 2, de 83 para 81 %, enquanto para DBO, as eficiências médias de remoção foram de 91 e 87%, para as fases 1 e 2, respectivamente. As eficiências globais de remoção de carboidratos e lipídios no sistema reator UASB/FBP apresentaram uma pequena diminuição, durante a fase 2. Para carboidratos, as eficiências de remoção foram de 86 e 82%, para as fases 1 e 2, respectivamente, enquanto, para lipídios, a eficiência média de remoção reduziu de 81 para 73%, da fase 1 para a fase 2. A eficiência de remoção de proteínas apresentou um efeito contrário, tendo ocorrido uma maior eficiência média de remoção, durante a fase com retorno de lodo, com valores médios de 54%, para a fase 2 (com retorno de lodo), e 41%, para a fase 1 (sem retorno de lodo).

A caracterização do esgoto bruto indicou que as proteínas foram os compostos responsáveis pela maior parte da sua DQO, enquanto o estudo das mudanças de composição do esgoto bruto, após as etapas de tratamento, indicou o aumento na proporção de proteínas em relação ao observado no esgoto bruto, principalmente após a primeira etapa de tratamento (reator UASB). O uso de menores taxas de aplicação superficial no FBP poderia ser sugerido para aumentar a eficiência do sistema de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário, matéria orgânica específica, reator UASB, filtro biológico percolador

INTRODUÇÃO

A combinação do processo anaeróbio de tratamento de águas residuárias e da digestão de lodo, em um único reator, através do retorno do lodo de descarte do filtro biológico percolador (FBP) para o reator UASB, pode tornar o processo de tratamento de grande viabilidade econômica, aumentando sua aplicabilidade no país. O uso desse sistema de tratamento tem como grandes vantagens a minimização da produção de lodo (que deverá ser reduzida, apenas, ao reator UASB) e a produção de um lodo mais concentrado e estabilizado.

Os estudos já realizados sobre esse tipo de sistema baseiam-se nos parâmetros de DBO e DQO, para avaliação da eficiência de remoção de material orgânico. Entretanto, o uso da DQO e da DBO, como parâmetros de monitoramento para a digestão anaeróbia, apresenta algumas deficiências, pois esses parâmetros apresentam falhas em caracterizar substratos específicos nas águas residuárias e não representam mudanças na composição das águas residuárias (MERKEL & KRAUTH, 1999).

O estudo da influência da composição do afluente, em termos de carboidratos, proteínas e lipídios, no processo de tratamento anaeróbio, torna-se de grande importância, permitindo a obtenção de maiores conhecimentos para o projeto de reatores anaeróbios, para o aumento da estabilidade e da eficiência do processo. Além da concentração dos compostos orgânicos, a proporção destes pode, também, influenciar a sua degradabilidade. Por exemplo, efluentes ricos em lipídios e com uma menor proporção de proteínas e carboidratos podem apresentar uma degradação mais lenta (VIDAL et al., 2000). É importante, portanto, verificar o quanto o retorno de lodo irá modificar a composição afluente e a proporção entre os diferentes compostos, e como essa modificação na composição afetará a sua degradabilidade.

A caracterização do esgoto bruto e dos efluentes do processo de tratamento também é de grande importância para um maior entendimento do processo de tratamento biológico. De acordo com Aquino e Stuckey, que caracterizaram efluentes de reatores CSTR de bancada alimentados com glicose, os compostos identificados no efluente foram produzidos pelo sistema de tratamento, uma vez que não foram identificados no afluente. Até o momento, não são claros os fatores que levaram a sua produção.

O presente trabalho avalia a degradação de carboidratos, proteínas e lipídios em um sistema reator UASB/FBP. São apresentados os resultados obtidos para a caracterização do afluente e dos efluentes do processo de tratamento, bem como para a eficiência do processo de tratamento para o reator UASB operando com e sem retorno de lodo aeróbio.

MATERIAL E MÉTODOS

Aparato Experimental

O sistema de tratamento consistiu de um reator UASB em escala piloto (volume igual a 420 L), seguido de um filtro biológico percolador (aeróbio) utilizado para o pós-tratamento do efluente anaeróbio (Figura 1).

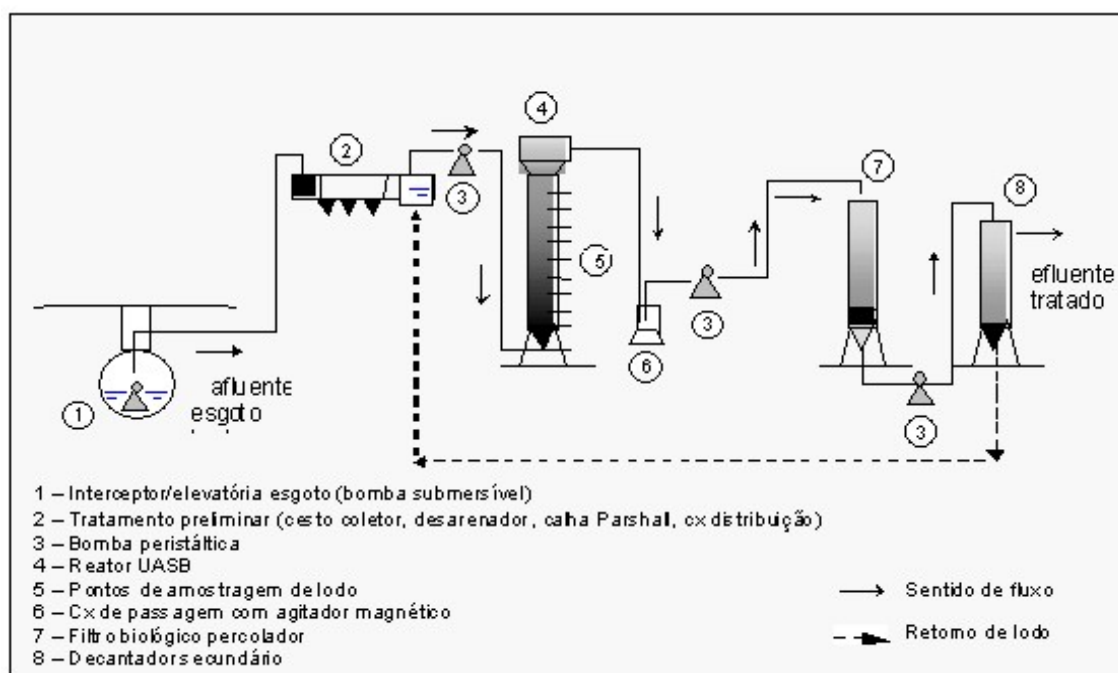


Figura 1 – Desenho esquemático do sistema de tratamento

O suprimento de esgoto para o laboratório foi feito a partir do interceptor da margem direita do Ribeirão Arrudas, na cidade de Belo Horizonte, utilizando-se uma bomba submersível para o recalque dos esgotos. Antes de alimentar o reator UASB, os esgotos passavam pelas unidades de tratamento preliminar (cesto perfurado e caixa de areia) e por um tanque de acumulação/distribuição. O reator UASB era, então, alimentado com o esgoto sanitário por meio de um sistema automatizado de bombeamento, sendo o efluente deste reator encaminhado para o FBP. O FBP, por sua vez, era composto de um compartimento de reação, utilizando escória de alto forno como meio suporte, e de um compartimento de decantação. O sistema de tratamento em escala piloto é apresentado na Figura 2.

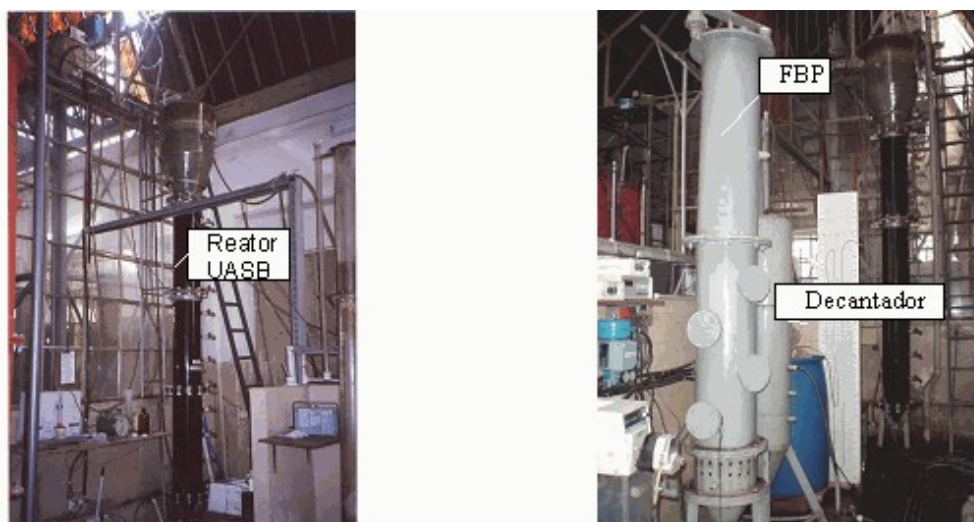


Figura 2 – Sistema Reator UASB/FBP em escala piloto

Fases Operacionais

A pesquisa foi realizada em duas fases operacionais. Na primeira fase, realizou-se a avaliação da performance do sistema reator UASB/FBP sem retorno de lodo aeróbio para o reator UASB, enquanto na segunda fase foi avaliado o desempenho do sistema com a prática do retorno do lodo gerado no FBP, para adensamento e digestão no reator UASB. Durante a segunda fase, foi implantada uma linha de recirculação de lodo, do FBP para o reator UASB, que

consistia de um sistema de bombeamento semi-contínuo, operado durante 80 segundos, a cada uma hora, com uma vazão de $0,5 \text{ L.h}^{-1}$, equivalente a 0,7% da vazão de esgoto bruto introduzida no reator UASB (74 L.h^{-1}). As características principais das fases operacionais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das fases operacionais

Fase	Reator UASB		Filtro biológico percolador	
	θ_h (h)	VA (m.h^{-1})	Altura do MS (m)	TAS ($\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)
1	5,6	1,0	1,90	25,1
2	5,6	1,0 a 1,4 (*)	1,90	25,1

θ_h : tempo de detenção hidráulica - VA: velocidade ascensional

TAS: taxa de aplicação superficial média - MS: meio suporte

(*) a variação da velocidade ascensional deve-se à prática do retorno de lodo

Monitoramento do sistema de tratamento

Durante o monitoramento da unidade piloto, foram realizadas análises do esgoto bruto, do efluente do reator UASB e do efluente final do FBP. Os parâmetros analisados foram: DBO (total e filtrada), DQO (total e filtrada), Sólidos Suspensos Totais, pH, temperatura. Para a maioria das coletas, foram realizadas amostragens compostas, sendo as análises desenvolvidas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1998).

Os parâmetros de matéria orgânica específica foram analisados de acordo com as seguintes metodologias: carboidratos, de acordo com Dubois et al. (1956); proteínas, segundo o método Kjeldahl (AWWA/APHA/WEF, 1998); e lipídios, de acordo com o método da sulfofosfovanilina (Postma & Stroes, 1968). As análises de ácidos graxos voláteis (ácido acético, propiônico, butírico, iso-butírico, valérico e iso-valérico) foram realizadas por cromatografia gasosa, em cromatógrafo Perkin-Elmer XL GL, equipado com detector de ionização de chama (FID). As principais características operacionais do equipamento foram: Coluna capilar do tipo OV 351 - Ácido nitroteraphtálico com polietilenoglicol modificado; Gás de arraste: hidrogênio; Temperaturas: Injetor e o detector: 250°C e Forno: 70°C (2 min) – 180°C (5 min); 5°C/min ; Volume injetado: $5 \mu\text{L}$; Razão de divisão: 1/100; Fluxo do gás de arraste: 1mL/minuto . Maiores detalhes sobre a metodologia são apresentados em Afonso et al. (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria orgânica carbonácea e sólidos suspensos

O resumo dos resultados de DBO, DQO e SST é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo dos resultados médios de pH, T, DBO, DQO e SST

Fase	Parâmetro	Lodo de Retorno	Esgoto Bruto.	Afluente UASB (LR + EB)	Efluente UASB	Efluente FBP	Eficiência de remoção (%)		
							Reator UASB	FBP	Sistema UASB/ FBP
1	pH	-	6,2 a 7,2	-	6,2 a 7,9	6,8 a 8,2	-	-	-
	T (°C)	-	24,8	-	24,7	24,8	-	-	-
	DQO (mg.L ⁻¹)	-	524	-	139	89	73	36	83
	DBO (mg.L ⁻¹)	-	315	-	63	29	81	51	91
	SST (mg.L ⁻¹)	-	206	-	32	25	-	-	-
2	pH	-	6,4 a 7,6	-	6,4 a 7,6	7,2 a 7,9	-	-	-
	T (°C)	-	22,4	-	22,1	22,8	-	-	-
	DQO (mg.L ⁻¹)	1998	513	523	119	88	77	20	81
	DBO (mg.L ⁻¹)	-	297	-	73	38	75	47	87
	SST (mg.L ⁻¹)	4232	212	226	25	22	-	-	-

Onde: LR = Lodo de retorno; EB = Esgoto Bruto

A análise da Tabela 2 indica que ocorreu uma maior eficiência média de remoção de DQO no reator UASB, durante a fase 2, enquanto a eficiência média de remoção de DBO diminuiu. Apesar das pequenas alterações de eficiência de remoção do reator UASB, em termos de DQO e DBO, as concentrações efluentes do reator UASB e do FBP, em termos de DQO, DBO e SST, ficaram muito próximas, apresentando valores médios bastante reduzidos. O FBP apresentou uma maior eficiência de remoção de DQO, durante a fase 1, quando a concentração média de DQO do efluente anaeróbio foi mais elevada.

Matéria orgânica específica (carboidratos, proteínas e lipídios)

Os resultados médios das concentrações de carboidratos, proteínas e lipídios e das eficiências médias de remoção são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Resumo dos resultados médios para remoção de carboidratos, proteínas e lipídios

Fase	Parâmetros	Concentrações (mg.L ⁻¹)					Eficiência de remoção (%)		
		LR	EB	Afluente UASB (LR + EB)	Efluente UASB	Efluente FBP	Reator UASB	FBP	Sistema UASB/ FBP
1	Carboidratos	-	81	-	18	12	78	33	86
	Proteínas	-	103	-	78	61	24	22	41
	Lipídios	-	16	-	5	3	71	36	81
2	Carboidratos	157	78	79	14	13	74	5	82
	Proteínas	151	130	131	82	60	37	28	54
	Lipídios	33	9	10	4	3	62	30	73

Onde: LR = Lodo de retorno; EB = Esgoto Bruto

As eficiências globais de remoção de carboidratos e lipídios no sistema reator UASB/FPB apresentaram uma pequena diminuição, durante a fase 2. Para carboidratos, as eficiências de remoção foram de 86 e 82%, para as fases 1 e 2, respectivamente, enquanto, para lipídios, a eficiência média de remoção reduziu de 81 para 73%. A eficiência de remoção de proteínas apresentou um efeito contrário, tendo ocorrido uma maior eficiência média de remoção, durante a fase com retorno de lodo, com valores médios de 54%, para a fase 2 (com retorno de lodo), e 41%, para a fase 1 (sem retorno de lodo). Entretanto, as proteínas foram os compostos que apresentaram a menor eficiência de remoção, durante o processo de tratamento, para as duas fases operacionais.

Comparação da composição afluyente durante as fases operacionais

O cálculo da DQO_{equivalente} (considerando-se os fatores de conversão de 1,1 mgDQO.mg carboidratos⁻¹, 1,5 mgDQO.mg proteínas⁻¹, 2,9 mgDQO.mg lipídios⁻¹ e 1,0 mgDQO.mg ácido acético⁻¹) para os compostos orgânicos específicos permite uma melhor comparação da modificação na proporção de carboidratos, proteínas e lipídios, da fase 1 para a fase 2. Comparando-se as fases 1 e 2 (sistema operando sem e com retorno de lodo), observa-se que as concentrações de lipídios diminuíram da fase 1 para a fase 2, tendo ocorrido um aumento na proporção de proteínas. A análise da Tabela 3 indica, ainda, que o lodo de retorno praticamente não influenciou a composição afluyente ao reator UASB, tendo ocorrido, entretanto, mudanças na composição do esgoto bruto durante as fases operacionais.

A contribuição de carboidratos, proteínas, lipídios e ácido acético para a DQO total afluyente, nas diferentes fases operacionais é apresentada na Tabela 4 e na Figura 3.

Tabela 4 - Composição média do afluyente durante as fases operacionais

Fase	Parâmetros	Concentração Média (mg.L ⁻¹)	% da DQO _{equivalente} total	% da DQO total
1	Ácido acético	51,0	15,1	9,7
	Carboidratos	80,8	26,2	17,0
	Proteínas	102,5	45,4	29,3
	Lipídios	15,6	13,4	8,6
2	Ácido acético	53,0	14,6	10,3
	Carboidratos	78,6	23,8	16,9
	Proteínas	130,5	54,0	38,2
	Lipídios	9,5	7,6	5,4

Onde:

% da DQO_{equivalente} total = Porcentagem da DQO_{equivalente} do composto orgânico específico em relação à DQO_{equivalente} de carboidratos, proteínas, lipídios e ácido acético

% da DQO total = Porcentagem da DQO_{equivalente} do composto orgânico específico em relação à DQO total medida

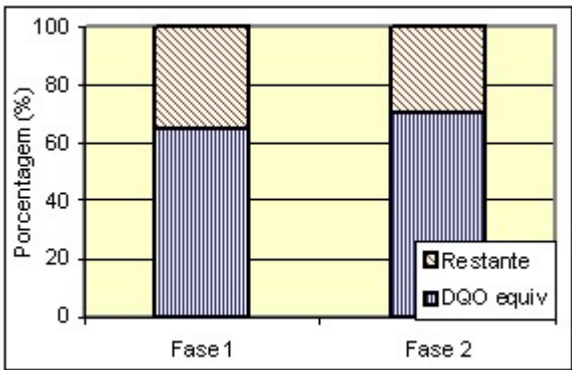


Figura 3 - DQO_{equivalente} de compostos orgânicos específicos em relação à DQO total afluyente ao sistema de tratamento

A contribuição de carboidratos, proteínas, lipídios e ácido acético, para a DQO total, apresentou mudanças, durante as fases operacionais, tendo-se obtido valores médios de 65 e 71 % da DQO total, para as fases 1 e 2, respectivamente.

Esses resultados são próximos aos obtidos por Raunkjaer et al. (1994), que realizaram a caracterização do esgoto bruto proveniente de 4 estações de tratamento de esgoto em termos de carboidratos, proteínas e lipídios e observaram que a contribuição desses compostos para a DQO total do esgoto bruto era de cerca de 77% da DQO total, podendo variar em função do horário da amostragem e da composição do esgoto bruto, tendo-se observado um valor mínimo de cerca 50 % e um valor máximo de cerca de 92%.

Observa-se que os carboidratos corresponderam a 26,2 e 23,8 % da DQO_{equivalente} total nas fases 1 e 2, respectivamente. A DQO_{equivalente} de lipídios, entretanto, apresentou redução de 13,4 para 7,6 %, da fase 1 para a fase 2, enquanto a DQO_{equivalente} de proteínas aumentou de 45,4 para 54,0 %. Esse pode ter sido um fator a dificultar a remoção de DBO durante a fase 2 da pesquisa, uma vez que as proteínas são compostos menos biodegradáveis que os carboidratos e sua proporção aumentou durante essa fase. Além disso, compostos protéicos podem ter sido liberados pelos microrganismos (Aquino e Stuckey, 2002) contribuindo para o menor valor obtido para a eficiência de remoção de DBO e de proteínas.

Raunkjaer et al. (1994) observaram, ainda, porcentagens de 18% de carboidratos, 28% de proteínas e 31 % de lipídios no esgoto bruto. Observa-se, portanto, a obtenção de resultados semelhantes, na presente pesquisa, para carboidratos e proteínas, que apresentara teores médios de 17 e 34 %, respectivamente, durante as 2 fases operacionais. Todavia os resultados obtidos para lipídios foram inferiores na presente pesquisa, possivelmente devido às diferenças de composição das águas residuárias.

Cerca de 30 a 38 % da DQO do esgoto bruto permaneceu não identificada (Figura 3) e alguns possíveis compostos que poderiam ser responsáveis pela DQO restante seriam álcoois, aminoácidos, detergentes, uréia, fenóis, dentre outros (RAUNKJAER, 1994; VON SPERLING, 1996). De acordo com Raunkjaer et al. (1994), cerca de 23 a 49% da DQO total do esgoto bruto não se origina de carboidratos, proteínas ou lipídios. Dignac et al. (2000), observaram que a análise de aminoácidos, carboidratos, lipídios e compostos fenólicos no esgoto bruto contribui para a identificação de 46% do carbono orgânico presente.

Foi possível verificar, ainda, que a porcentagem média de ácido acético no esgoto bruto foi de cerca de 10 % da DQO total, sendo próxima aos resultados apresentados na literatura que são da ordem de 9 a 19 % da DQO total (RAUNKJAER et al., 1994).

Comparação da proporção de carboidratos, proteínas e lipídios após as etapas de tratamento

Foi realizada a determinação do teor de compostos orgânicos específicos no esgoto bruto e após as etapas de tratamento (efluentes do reator UASB e do FBP). Os resultados obtidos e a DQO_{equivalente} dos compostos orgânicos específicos são apresentados nas Figuras 4 e 5.

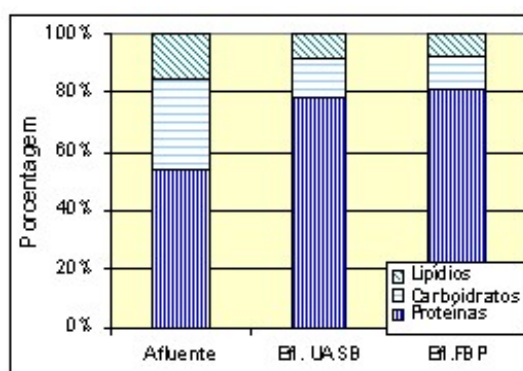


Figura 4 – DQO equivalente média de carboidratos, proteínas e lipídios durante a Fase 1

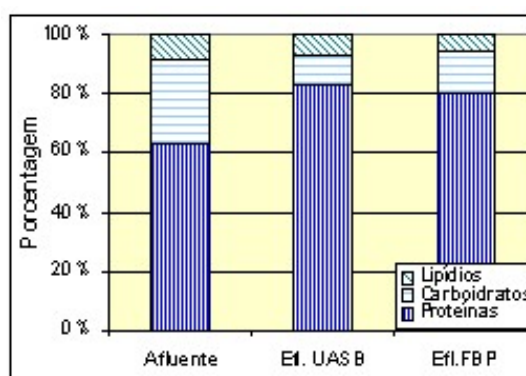


Figura 5 – DQO equivalente média de carboidratos, proteínas e lipídios durante a Fase 2

Observa-se um aumento na proporção de proteínas e uma diminuição na proporção de carboidratos e lipídios no efluente do reator UASB, em relação ao observado no esgoto bruto. Enquanto, no esgoto bruto, a DQO_{equivalente} de carboidratos correspondia a cerca de 24 a 26 % da DQO_{equivalente} total, após o reator UASB passou a corresponder a cerca de 10 a 15% da DQO_{equivalente} total. A DQO_{equivalente} de proteínas passou de 45 a 54%, no afluente, para 79 a

83 %, após o tratamento no reator UASB.

Após o FBP, a DQO_{equivalente} de carboidratos passou a apresentar valores na faixa de 8 a 12 %, enquanto a DQO_{equivalente} de proteínas passou a apresentar uma proporção de 80 a 81% da DQO_{equivalente} total.

A análise dos resultados indica o aumento na proporção de proteínas ao longo das etapas de tratamento, principalmente após a primeira etapa de tratamento (reator UASB). Essa mudança na proporção de compostos orgânicos específicos, com aumento na proporção de proteínas, se deve, provavelmente, à maior eficiência de remoção de carboidratos e lipídios do sistema de tratamento ou à liberação de compostos protéicos, pelos microrganismos, durante o processo de tratamento. De acordo com Aquino e Stuckey, que caracterizaram efluentes de reatores CSTR de bancada alimentados com glicose, usando extração líquido-líquido seguida de cromatografia a gás (CG), os compostos identificados (compostos fenólicos, ftalatos e outros aromáticos) foram produzidos pelo sistema de tratamento, uma vez que não foram identificados no afluente. Até o momento, não são claros os fatores que levaram a sua produção. O uso de condições favoráveis à degradação de proteínas, tais com uma menor taxa de aplicação superficial no FBP, pode ser sugerido para favorecer a eficiência do FBP na remoção de proteínas presentes no efluente do reator UASB.

Apesar do sistema de tratamento (reator UASB/FBP) ter proporcionado uma redução substancial das proporções de carboidratos e lipídios, em relação à DQO_{equivalente} total, o mesmo não se pode dizer em relação à contribuição de carboidratos, proteínas e lipídios para a DQO total. Neste aspecto, os resultados obtidos na presente pesquisa foram muito diferentes dos obtidos por Dignac et al. (2000), que apontam que carboidratos, proteínas e lipídios compõem menos que 50% da DQO residual. Já, nesse estudo, somente a contribuição de proteínas equivale a cerca de 50 a 87 % da DQO total nos efluentes sendo, portanto, o principal composto responsável pela DQO residual nos efluentes do reator UASB e do FBP. Deve-se considerar, ainda, que os fatores de conversão de carboidratos, proteínas e lipídios em DQO_{equivalente} podem influenciar os resultados obtidos e podem ser diferentes em função do padrão de conversão utilizado. Na presente pesquisa, os padrões utilizados para o cálculo dos fatores de conversão foram lactose (para carboidratos), caseína (para proteínas) e óleo de soja (para lipídios).

Deve-se, ainda, considerar a diferença nos métodos analíticos empregados e a possibilidade de parte do nitrogênio orgânico identificado pelo método Kjeldahl ser constituído por outros compostos nitrogenados, tais como peptídeos, ácidos nucleicos, uréia, e numerosos compostos orgânicos sintéticos (AWWA/APHA/WEF, 1998). Foi possível verificar, ainda, que a predominância de proteínas nos efluentes do processo de tratamento foi observada tanto para o efluente filtrado quanto para o efluente bruto.

CONCLUSÕES

As eficiências globais de remoção de DQO no sistema reator UASB/FBP apresentaram uma pequena diminuição, da fase 1 para a fase 2, de 83 para 81 %, enquanto para DBO, as eficiências médias de remoção foram de 91 e 87%, para as fases 1 e 2, respectivamente. Apesar das pequenas alterações de eficiência de remoção no sistema reator UASB/FBP, em termos de DQO e DBO, as concentrações efluentes do sistema de tratamento (DQO, DBO e SST), ficaram muito próximas, apresentando valores médios bastante reduzidos.

A composição média do esgoto bruto indicou uma proporção de 17 % de carboidratos, 29 a 38 % de proteínas, 5 a 9% de lipídios e cerca de 10 % de ácido acético durante as duas fases operacionais. Observa-se, portanto, que as proteínas são os compostos responsáveis pela maior parte da DQO do esgoto bruto. Já a composição média do lodo aeróbio originado no processo de tratamento foi de 157 mg.L⁻¹ de carboidratos, 151 mg.L⁻¹ de proteínas e 33 mg.L⁻¹ de lipídios, indicando que carboidratos e proteínas são os compostos orgânicos predominantes nesse lodo.

O estudo das mudanças de composição do esgoto bruto, após as etapas de tratamento, indicou o aumento na proporção de proteínas, principalmente após a primeira etapa de tratamento (reator UASB). Esse aumento na proporção de proteínas deve ter ocorrido devido à menor eficiência de remoção desses compostos ou à liberação de compostos protéicos pelos microrganismos, durante o processo de tratamento biológico. O uso de menores taxas de aplicação superficial no FBP poderia ser sugerido para melhorar a eficiência do sistema de tratamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP – Agência de Financiamento Nacional de Estudos e Projetos, ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo financiamento da pesquisa, e à COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais pelo apoio

na realização dos trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AFONSO, R. J. C. F., PONTES, P. P., SANTOS, L. V. S., CINTRA, I. S., CHERNICHARO, C. A. L. Metodologia alternativa para determinação de ácidos graxos voláteis em esgoto sanitário e em chorume. PROSAB, Edital 3, Tema 4, 2001. Relatório.
2. Aquino, S. F., Stuckey, D. C. "Characterization of soluble microbial products (SMP) in effluents from anaerobic reactors." *Water Science and Technology*, v. 45(10), p. 127-132, 2002.
3. AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1998.
4. CHERNICHARO, C.A. L. Princípios do Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios, DESA, UFMG, 1997
5. Dignac, M. F., Ginestet, P., Rybacki, D., Bruchet, A., Urbain, V., Scribe, P. Fate of wastewater organic pollution during activated sludge treatment: nature of residual organic matter. *Water Research*, v. 34, n. 17, p. 4185-4194, 2000.
6. Dubois, M., Gilles, K.A, Hamilton, J. K, Rebers, P.A, Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-56, 1956.
7. MERKEL W., KRAUTH, K. The identification of rate-limiting steps as the basis for anaerobic reactor design. In: International Conference on Anaerobic Digestion, 8, 1999, Sendai. Anais... Sendai, Japão, 1999.
8. Postma, T.; Stroes, J.A.P. Lipid screening in clinical. *Clin. Chim. Acta*, 22, 569-78, 1968.
9. RAUNKJAER, K., THORKILD, H.J., NIELSEN, P.H. Measurement of pools of protein, carbohydrate and lipid in domestic wastewater. *Water Research*, v. 28, n. 2, p. 251-262, 1994.
10. VIDAL, G., CARVALHO, A., MENDEZ, R., LEMA, J.M. Influence of the content of fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewater. *Bioresource Technology*, 74, 231-239, 2000.
11. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2ª edição, Belo Horizonte: Segrac, DESA, UFMG, 1996, 243 p.