



II-483 - TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR REATOR UASB PRECEDIDO DE UNIDADE DE COAGULAÇÃO UTILIZANDO MORINGA OLEIFERA

Adriana Ferreira Maluf Braga⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Mestranda em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela UFMS. Bolsista de mestrado pela Fundect.

Mayara Leite Serejo

Aluna do curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS. Bolsista de iniciação científica pela Fundect.

Vinicius Bertuol Aquino

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Mestranda em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela UFMS. Bolsista de mestrado pela Capes.

Marc Arpad Boncz

Químico. Mestre em Química Orgânica pela Universidade Livre de Amsterdam. Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade de Wageningen, Holanda. Bolsista de Desenvolvimento Científico Regional (DCR) Fundect/CNPq da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul-UFMS.

Paula Loureiro Paulo

Engenheira Química. Mestre em Engenharia de Saúde Pública pela Universidade de Leeds, Inglaterra. Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade de Wageningen, Holanda. Professora do Departamento de Hidráulica e Transporte da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Caiçara, 844 – Piratininga – Campo Grande – MS – CEP: 79081-120 – Brasil - Tel: +55 (67) 3042-6815 - Fax: +55 (67) 3042-6815 - e-mail: adrianamaluf@gmail.com

RESUMO

Várias pesquisas vêm sendo realizadas no sentido de complementar o tratamento realizado por reatores UASB, com o objetivo de melhorar a qualidade de seus efluentes. . Uma alternativa que poderia melhorar o desempenho desse tipo de reator seria a utilização de mecanismos preliminares de coagulação-floculação. Entre as opções de coagulantes naturais está o extrato salino das sementes de *Moringa oleifera* (ExSM), que já vem sendo utilizado para remoção de turbidez de águas para fins potáveis em países em desenvolvimento. Em testes de jarros, usando água turva sintética com 50 NTU de turbidez inicial, o ExSM à concentração de 5mg.L⁻¹ alcançou remoção de 50% de turbidez. Quando utilizado como auxiliar do cloreto férrico (concentração do ExSM 2-5 mg.L⁻¹ e 1 mg.L⁻¹ de FeCl₃) obteve-se um incremento médio de 33% na remoção de turbidez. No entanto, quando o experimento foi repetido usando-se esgoto doméstico com turbidez de 50 NTU, o uso do ExSM não resultou em remoção de turbidez significativa. Associado ao cloreto férrico (concentração do ExSM 2 mg.L⁻¹ e 40 mg.L⁻¹ de FeCl₃), houve um incremento de 13,3% na remoção da turbidez do esgoto. Quando adicionado a um reator UASB operando em batelada, 3mg.L⁻¹ de ExSM provocou um incremento de 4% a remoção de DQO total. Em associação a 40 mg.L⁻¹ de FeCl₃ os resultados demonstraram melhora em 12%. Em termos de DQO particulada, o uso do ExSM sozinho promoveu remoção de 89% e a solução mista removeu 83%, representando um incremento de remoção de 24% e 18% respectivamente, quando comparados com UASB operando sem a adição de coagulantes. Assim, doses de ExSM podem ajudar na melhora da performance de reatores UASB tratando esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: reator UASB, esgoto doméstico, coagulação, *Moringa oleifera*, cloreto férrico.

INTRODUÇÃO

A digestão anaeróbia apresenta várias vantagens no tratamento de efluentes, tais como: baixa produção de lodo biológico; baixo custo de implantação e operação; não há necessidade de aeração, diminuindo os gastos energéticos; baixo consumo de nutrientes; produção de metano, gás combustível com elevado teor calorífico; e tolerância a elevadas cargas orgânicas.(Hall, 1992). Por isso, vem sendo amplamente utilizada no Brasil, cujas condições climáticas favorecem ainda mais sua expansão, especialmente os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) (Chernicharo, 2007). Apesar de suas grandes vantagens, os reatores anaeróbios têm dificuldades em produzir um efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela



legislação ambiental, sendo necessário o pós-tratamento de seus efluentes para completar a remoção da matéria orgânica, bem como o de proporcionar a remoção de nutrientes e patogênicos (Chernicharo, 2007).

As características dos esgotos sanitários podem variar conforme os hábitos de cada população. Porém, Von Sperling (2005) aponta como valores típicos para estudos e projetos, que em torno de 32% dos sólidos presentes no esgoto são suspensos (partículas com diâmetro entre 0,45 a 2,0µm), sendo essa parcela de sólidos responsável, ainda, por aproximadamente 70% da demanda química de oxigênio (DQO) (Bhuptawat et al., 2003). Assim sendo, uma alternativa para melhorar o desempenho dos reatores UASB é através de mecanismos preliminares de coagulação-floculação.

Os coagulantes químicos são os mais adotados. Entre os mais comuns estão os sais de alumínio e de ferro, sendo o sulfato de alumínio um dos mais utilizados. No entanto, muitos estudos apontam o alumínio como possível indutor do Mal de Alzheimer. Por esse motivo, a utilização de sais de ferro, como o cloreto férrico, se torna mais atrativa.

No que diz respeito aos coagulantes naturais, a solução preparada com as sementes da *Moringa oleifera* tem se mostrado bastante efetiva como agente coagulante (N'Dabigengesere et al., 1995; Muyibi et al. 2002) e na remoção de microrganismos patogênicos de água bruta (Folkard and Sutherland, 1994).

N'Dabigengesere et al (1995) identificaram seus compostos ativos da solução aquosa de *M. oleifera* como sendo proteínas catiônicas solúveis em água, com peso molecular em torno de 13 kDa, pH isoelétrico entre 10 e 11 e tendo o mecanismo de coagulação a adsorção de partículas e neutralização de suas cargas. Assim, as proteínas sendo positivas e auxiliadas por grande agitação, são capazes de neutralizar as cargas negativas superficiais das partículas suspensas, fazendo com que se aproximem e sejam adsorvidas pelas próprias proteínas, formando os coágulos, que em mistura lenta, se aproximam formando flocos com densidade suficiente para decantarem.

Kalogo et al. (2000) estudaram o efeito do extrato aquoso de *M. oleifera* sobre a diversidade de bactérias hidrolíticas presentes em um reator UASB tratando esgoto doméstico. Ao comparar com um reator controle (que não recebia solução de *M. oleifera*), os autores puderam observar o aumento na diversidade das espécies hidrolíticas no reator que era alimentado com a solução, com o aparecimento de bactérias gram positivas como *Bacillus sp.*

Soluções salinas foram utilizadas por Okuda et al. (1999) para extrair o agente coagulante presente nas sementes de *M. oleifera*, com o objetivo de melhorar a eficiência do processo. Em água sintética de caulim (50 NTU), o coagulante extraído com 1M de NaCl (ExSM) se mostrou 7,4 vezes mais eficiente que a solução aquosa das sementes, em termos de remoção de turbidez. Em termos de dosagem, o ExSM precisou de uma concentração 32 vezes inferior à da solução aquosa para atingir remoção de 78% de turbidez. O cloreto de sódio, porém, não foi o único sal capaz de melhorar a solubilidade do composto coagulante da *M. oleifera*, o nitrato de sódio, o cloreto de potássio e o nitrato de potássio também demonstraram essa capacidade.

Segundo Gassensmidt et al. (1991, 1995 apud Okuda et al., 2001), o componente ativo presente no ExSM possui peso molecular em torno de 3 kDa e não é uma proteína como o encontrado na solução aquosa. Okuda et al. (2001) purificaram o coagulante presente no ExSM e, ao adicioná-lo à solução de caulim feita com água de torneira, perceberam a formação de material insolúvel, o que não ocorreu no caso de água destilada. Segundo os autores, cátions bivalentes (como Ca^{2+}) são eletricamente adsorvidos ao componente coagulante ativo, que possui carga negativa. As moléculas dos componentes ativos permanecem conectadas entre si pelos cátions bivalentes, formando o material insolúvel que apresenta uma estrutura em rede. Assim, a coagulação do caulim ocorre através do mecanismo de varredura.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi verificar a ação coagulante de solução salina de extrato de sementes de *Moringa oleifera* e a associação da solução salina de *M. oleifera* com cloreto férrico no tratamento de esgoto doméstico em reator UASB, observando, ainda, possíveis alterações na atividade microbiana da biomassa decorrentes no uso dos coagulantes mencionados.



MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em escala de bancada e compreendem duas etapas: 1 – estudos preliminares em testes de jarro utilizando extrato salino de *M. oleifera* (ExSM) e solução de cloreto férrico; 2 – tratamento de esgoto doméstico em batelada por reator UASB precedido de unidade de coagulação utilizando ExSM e solução mista.

A solução estoque do ExSM foi preparada com NaCl 1M e sementes sem casca, trituradas em um almofariz de porcelana, na concentração 25g/L. A mistura foi agitada por 30 minutos em um agitador magnético. O ExSM foi filtrado em um filtro de papel Whatman (nº 42) e após em uma membrana 0,45 µm.

A solução turva sintética foi preparada com a adição de 10 g de caulim (Sigma-Aldrich) em 1 litro de água de torneira. A suspensão foi agitada por 3 horas, seguida por um período de 24 de sedimentação. O sobrenadante foi usado como solução estoque, sendo diluído conforme a necessidade.

O esgoto doméstico testado foi proveniente de uma das ETEs municipais, coletado na calha Parshall localizada após o tratamento preliminar. O esgoto bruto era decantado por 1 hora antes do início dos testes, para sedimentação dos sólidos de maior densidade. Para a etapa 1, o esgoto era diluído com água, para obtenção da turbidez inicial desejada, de acordo com cada teste. Para os testes em batelada com reator UASB, o esgoto era acrescido de uma solução concentrada de acetato de sódio para incrementar a DQO de entrada (valores variando de 1000 a 4000 mgDQO/L).

Etapa 1 - Teste de Jarro

Os testes de coagulação foram realizados usando testes de jarro (Turb-floc/2, Polilab, Brasil). As velocidades e tempos de agitação foram: agitação rápida: 2 minutos – 100 rpm, agitação lenta: 20 minutos – 40 rpm. As amostras foram coletadas após 30 e 60 minutos de sedimentação ou como especificado em cada teste. Todos os testes foram realizados em duplicata. Para cada teste, dois jarros sem a adição da solução de MO foram utilizados como controle. O parâmetro considerado foi a remoção de turbidez, que foi medida com um turbidímetro portátil (2100P, Hach, EUA).

Etapa 2 - Testes em batelada com reator UASB

Os testes foram conduzidos em escala de bancada utilizando-se um reator UASB de 900 mL de volume útil. O fundo do reator foi preenchido com bolas de gude para evitar a formação de caminhos preferenciais no leito de lodo. O reator foi montado dentro de uma incubadora e a temperatura foi mantida em $33,9 \pm 1,9^\circ\text{C}$. O reator foi inoculado com 300 g de lodo mesofílico (24,3g SVT), proveniente da ETE Salgado Filho. O esgoto era bombeado através de uma bomba peristáltica (Dosamini 500, Provitec, Brasil). Foram utilizadas 4 amostras de esgoto ao longo do experimento (20 L cada), cujas características (antes da mistura com acetato de sódio) são apresentadas na tabela 1.

Essa etapa foi dividida em 3 fases distintas. A primeira fase (sem adição de coagulante) serviu para ativação do lodo e posterior comparação com os testes acrescidos de coagulante. A segunda e terceira fases foram acrescidas de coagulantes, selecionados de acordo com os resultados obtidos na Etapa 1 deste experimento. A operação do reator foi realizada em batelada, com recirculação do efluente a uma vazão de aproximadamente 108 mL/h, até total consumo da DQO presente. Quando acrescido de coagulante, antes de entrar no reator, o esgoto passava por um agitador magnético (Mod. Q241, Quimis, Brasil) para a coagulação, com a rotação de 310 rpm, aproximadamente, por dois minutos. Durante cada alimentação, amostras de DQO eram coletadas para o acompanhamento da remoção. Quando o tempo da última alimentação era semelhante ao anterior dentro de uma mesma fase, realizava-se mais uma batelada (correspondente à última alimentação de cada fase) com as análises completas.



Tabela 1: Características das amostras de esgoto utilizadas nos testes.

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Média e desvio padrão
pH	7,3	7,2	7,2	7,2	7,23 ± 0,1
Condutividade (µs/cm)	567	644	635	597	610 ± 31
Turbidez (NTU)	126	135	129	94	121 ± 16
SST (mg/L)	112	117	110	108	112 ± 3
DQO Total (mg O ₂ /L)	366	418	378	312	369 ± 38
DQO Filtrada (mg O ₂ /L)	-	207	184	164	185 ± 18
DQO particulada (mg O ₂ /L)	-	212	193	148	184 ± 27
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3,4 x 10 ⁷	3,7 x 10 ⁷	5,9 x 10 ⁷	5,3 x 10 ⁷	4,6 x 10 ⁷ ± 1,057 x 10 ⁷
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	1,2 x 10 ⁷	1,1 x 10 ⁷	1,9 x 10 ⁷	1,2 x 10 ⁷	1,4x 10 ⁷ ± 2,955 x 10 ⁶

Os parâmetros analisados foram: pH, turbidez, condutividade, DQO total e filtrada, SST, coliformes totais e *Escherichia coli*. As análises foram realizadas de acordo com a 19ª ed. do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), exceto coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, para os quais utilizou-se a técnica descrita por Colilert® (reagentes Idexx, EUA). Realizaram-se triplicatas das análises, com exceção dos parâmetros DQO (duplicatas) e microbiológicos (apenas uma análise). A DQO particulada foi obtida pela diferença entre a DQO total e a DQO filtrada. Realizou-se ainda, teste de AME através de uma adaptação do protocolo simplificado descrito por Chernicharo (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Etapa 1

Testes realizados com suspensão de caulim com turbidez inicial de 165 e 180 UNT mostraram eficiências de remoção de turbidez entre 82 e 85% para concentrações de 10 e 5 mg.L⁻¹ de ExSM, respectivamente. Procurando comparar a eficiência de remoção de turbidez residual entre os dois coagulantes, realizou-se vários experimentos usando o ExSM e FeCl₃ com a solução de caulim de baixa turbidez (50 UNT).

Observou-se que a solução de cloreto férrico se mostra mais eficiente que o extrato salino na remoção de turbidez, apresentando dosagem ótima de 10 mg.L⁻¹, alcançando remoções de 98%, enquanto com o ExSM a concentração ótima foi 5mg.L⁻¹, com remoção de 50%. Para solução de caulim também com turbidez inicial de 50 NTU, Okuda et al. (1999) alcançaram remoção de 95%, porém com 40 mg.L⁻¹ de ExSM e com 10 mg.L⁻¹ foi obtida remoção de 78%. O presente experimento, contudo, observou diminuição na eficiência da remoção ao utilizar concentrações superiores à ótima.

Em seguida, os experimentos foram repetidos utilizando-se esgoto diluído à 50 UNT. Concentrações testadas de ExSM (1 a 10 mg.L⁻¹) não resultaram em remoção de turbidez significativa. Ao contrário, concentrações acima de 5 mg.L⁻¹ aumentaram a turbidez do esgoto após 30 minutos de repouso. A maior eficiência de remoção obtida com cloreto férrico para o esgoto foi de 50% de turbidez com 50 mg.L⁻¹ sendo que, a mesma remoção foi obtida na solução de caulim se utilizando apenas 1 mg.L⁻¹ de FeCl₃. Visando reduzir a concentração ótima de cloreto férrico, testou-se a combinação dos dois coagulantes (solução mista). Em solução de caulim, a associação do ExSM (concentração 2-5 mg.L⁻¹) ao cloreto férrico na concentração de 1 mg.L⁻¹ de FeCl₃, obteve um incremento médio de 33% na remoção, alcançando uma eficiência média de remoção de 85%. Quando a mesma concentração do ExSM estava associado a 3 mg.L⁻¹ de FeCl₃, o incremento foi de apenas 8,1%, tendo em vista que a eficiência de remoção do FeCl₃ sozinho já chegava a 85,7%.

Para o esgoto diluído a associação de 2 mg.L⁻¹ de ExSM só mostrou alguma eficiência quando associada a concentrações de FeCl₃ acima de 20 mg.L⁻¹. A Tabela 2 mostra o incremento na eficiência de remoção de turbidez obtida com a associação de cloreto férrico e extrato salino de moringa no esgoto diluído.



Tabela 2: Incremento na eficiência de remoção de turbidez obtida com a associação de cloreto férrico e extrato salino de moringa no esgoto diluído (50 UNT).

	FeCl ₃ (mg.L ⁻¹)	ExSM (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção de turbidez (%)	Incremento na remoção de turbidez (%)
Esgoto (50 UNT)	10	-	21,6	0,6
	10	2	22,6	
	20	-	32,0	1,0
	20	2	33,0	
	30	-	38,0	12,8
	30	2	50,8	
	40	-	44,4	13,3
	40	2	57,7	

O traço “-” indica a não adição do ExSM.

Para o esgoto diluído, o incremento máximo obtido com a adição de ExSM foi de 13,3%, muito próximo do resultado obtido utilizando 30 mg.L⁻¹ de cloreto férrico.

Etapa 2

Nessa etapa, o reator foi operado em batelada para verificação da eficiência da adição do ExSM e a solução mista, em termos de tempo de degradação de matéria orgânica e remoção de turbidez, DQO total, dissolvida e particulada, SST, coliformes totais e *E.Coli*. A hipótese foi a de que a unidade de coagulação antes do reator (calha Parshall escala real e agitador magnético escala de bancada) proporciona a mistura rápida entre o esgoto pré-decantado e o coagulante, sendo os flocos formados com a mistura lenta provocada pela velocidade ascensional dentro do reator UASB. Para esta fase, a concentração do ExSM foi diminuída de 5 para 3 mg.L⁻¹ tendo em vista que nos testes da etapa 1 a concentração de 5 mg.L⁻¹ aumentou a turbidez do esgoto diluído em 2%.

Como base de comparação para as bateladas utilizando coagulantes, fez-se a análise de uma batelada do reator UASB tratando o esgoto doméstico sem adição de coagulantes, denominada controle. Verificou-se que a remoção de turbidez ocorre assim que o esgoto passa pela manta de lodo, não se alterando após 30 horas de operação do reator em batelada, apresentando 64,8% de remoção. A remoção de DQO total e filtrada não apresentou diferença relevante (média de 77,5%). A remoção de DQO particulada representou 12% da remoção de DQO total.

Partiu-se, então, para a realização das bateladas com coagulantes, cujos resultados de remoção total estão resumidos na Tabela 3. Observa-se que a adição dos coagulantes não alterou significativamente os valores de pH e condutividade. Comparando-se os resultados obtidos com a adição de coagulantes com aqueles sem a adição observa-se que a adição do ExSM sozinho incrementa em apenas 4% a remoção de DQO total. Por outro lado a adição da solução mista incrementa em 12%. Quanto à eficiência de remoção de DQO filtrada, a solução mista também apresentou melhor resultado, removendo 90%, e o ExSM apenas manteve a remoção em torno de 78%. Tratando esgoto doméstico com reator UASB, sem inóculo e em fluxo contínuo por 22 semanas, Kalogo et al. (2001) obtiveram para um reator (RM) que recebia 50mg.L⁻¹ de extrato aquoso de *Moringa oleifera*, a partir do 41º dia de experimento, remoções de 73% para DQO total, 65% para DQO solúvel com e 83% para SS. Comparando com o reator sem moringa trabalhando sob as mesmas condições, os autores observaram que as remoções do RM se mostraram superiores 3%, 2% e 2%, respectivamente para DQO total, DQO solúvel e SS.

A partir dos dados da Tabela 3, pode-se observar ainda que, utilizando o ExSM como coagulante, a DQO total teve 782,3mg.L⁻¹ removidos, assim, a parcela correspondente à DQO filtrada é 80%, por conseguinte, a remoção de DQO particulada representa 20%. Já para a solução mista a remoção de DQO filtrada e DQO particulada representam 74% e 26%, respectivamente da DQO total removida.

Tabela 3: Resultados de remoção total das bateladas de esgoto doméstico sem a adição de coagulante, com ExSM e com solução mista.

Parâmetros	Esgoto sem coagulante			Com adição de ExSM			Com adição de Solução Mista		
	Inicial	Final	% remoção	Inicial	Final	% remoção	Inicial	Final	% remoção
pH	7,61	7,49	-	7,03	7,57	-	7,05	7,38	-
Condutividade ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$)	1317	1425,3	-	1478,7	1570	-	1333,3	1435	-
Turbidez (NTU)	129,33	45,53	64,8	91,2	38,4	57,9	226,67	25,6	88,7
SST ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$)	116,77	68,57	41,3	73	47,14	35,4	320,7 ^a	39,5 ^a	87,7
DQO total ($\text{mg}.\text{L}^{-1} \text{O}_2$)	987,8	231,8	76,5	981,2	198,9	79,7	1110	133	88,0
DQO filtrada ($\text{mg}.\text{L}^{-1} \text{O}_2$)	853,7	185,4	78,2	804,7	178,8	77,8	807,2	82,6	89,8
DQO particulada ($\text{mg}.\text{L}^{-1} \text{O}_2$)	134,1	46,4	65,4	176,5	20,1	88,6	302,8	50,2	83,4
Coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹)	$5,6 \times 10^7$	$2,6 \times 10^6$	95,3	$5,3 \times 10^6$	$2,4 \times 10^5$	95,5	$4,2 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$	95,8
<i>E. coli</i> (NMP.100mL ⁻¹)	$1,7 \times 10^7$	$1,6 \times 10^6$	90,6	$4,1 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	94,1	$1,0 \times 10^7$	$6,5 \times 10^5$	93,6

^a amostra retirada de batelada em iguais condições à analisada para os demais parâmetros, porém após uma batelada com carga orgânica de $2000\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$.

A adição do ExSM bem como da solução mista, aumentou a taxa de remoção de DQO total e filtrada, sendo no início (maior inclinação da curva) 1,6 e 1,2 vezes mais rápida no consumo de DQO bruta e filtrada, respectivamente, se igualando apenas no final (Figura 1).

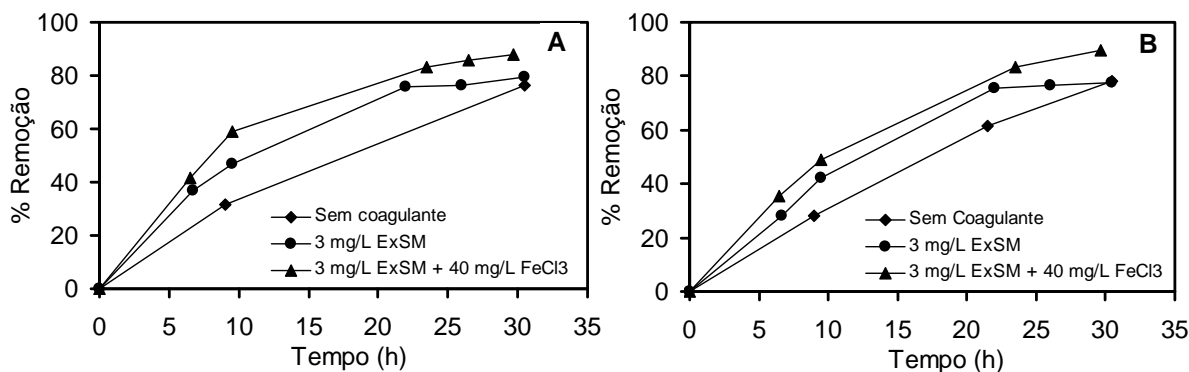


Figura 1: Comparação entre as remoções de DQO total (A) e filtrada (B) nas três fases do experimento.

É interessante observar que houve uma alta remoção de DQO particulada com o uso do ExSM sozinho (89%) e com a solução mista (83%), representando um incremento de remoção de 24% e 18% respectivamente, quando comparado com o experimento sem a adição de coagulantes. Uma possível explicação para esta melhora poderia ser o aumento da atuação de bactérias hidrolíticas, proposto por Kalogo et al. (2000), promovendo, assim, a hidrólise do material que em condições normais não conseguiria ser degradado, o que também explicaria a maior velocidade na remoção de DQO no início do experimento. Essa porção seria aquela com diâmetro inferior à porosidade do filtro utilizado na análise de sólidos suspensos ($0,7\mu\text{m}$) não representando, assim, alteração da remoção de SST.

Quanto à remoção de coliformes totais, não houve diferença relevante em nenhuma das fases, tendo uma média de $95,5 \pm 0,3\%$, já a remoção de *E. coli* mostrou uma pequena melhora na remoção com a adição dos coagulantes, em média de 3,2% mais alta quanto comparada com o teste sem adição de coagulante (figura 2).

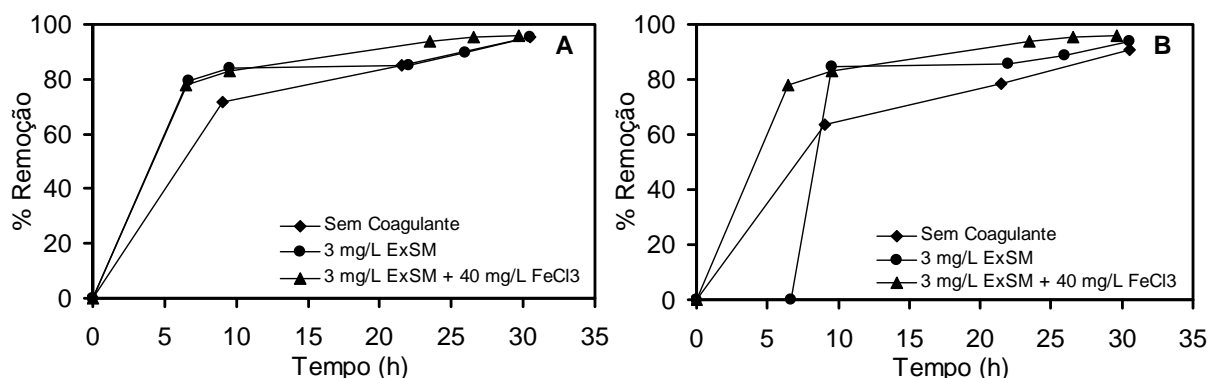


Figura 2: Comparação entre as remoções de Coliformes termotolerantes (A) e *E. coli* (B) nas três fases do experimento.

Os valores encontrados para os testes de AME (Tabela 4) são baixos se comparados com os valores de literatura para AME de esgoto doméstico. Kalogo et al. (2001), trabalhando com reatores tratando esgoto doméstico operado por 22 semanas em fluxo contínuo, encontraram AME de $0,10 \pm 0,03 \text{ gDQOCH}_4.\text{gSVT}^{-1}.\text{d}^{-1}$ para o reator sem adição de *M. oleifera* e $0,22 \pm 0,04 \text{ gDQOCH}_4.\text{gSVT}^{-1}.\text{d}^{-1}$ para o lodo cultivado com a adição de 50 mg.L^{-1} de extrato aquoso de moringa. Pode-se observar que o valor mais alto alcançado no presente trabalho foi aquele realizado com o lodo após ser submetido à solução mista, porém este teste foi realizado com o dobro da quantidade de lodo, tendo em vista que a baixa resposta dos primeiros testes levou a acreditar que parte da concentração de sólidos suspensos voláteis no lodo dessa era matéria orgânica não degradada, não sendo possível concluir se a quantidade de SSV foi a ótima de acordo com o protocolo (2 gSVT.L^{-1}).

Tabela 4: Atividade metanogênica específica para o esgoto doméstico utilizado nos experimentos.

Lodo	AME _{méd} (gDQOCH ₄ .gSVT ⁻¹ .d ⁻¹)
Sem coagulante	0,020 ± 0,007
3 mg.L ⁻¹ ExSM	0,018 ± 0,005
3 mg.L ⁻¹ ExSM + 40 mg.L ⁻¹ FeCl ₃	0,036 ± 0,011

Como os experimentos não foram realizados em reatores em paralelo e sim em reator com sucessivas alimentações, existe a tendência de um aumento na AME, não permitindo concluir se a leve melhora foi efeito da solução mista. No entanto, os resultados indicam que a adição de FeCl₃ no lodo por um período de 18 dias não teve qualquer efeito negativo, não demonstrando inibição ou toxicidade na concentração utilizada. Santos (2001) realizou testes de toxicidade com soluções de cloreto férrico com concentrações variando de 0 a 500 mg.L⁻¹ e não observou diferença ou qualquer inibição nos resultados dentro das concentrações estudadas.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos durante a realização deste trabalho pode-se concluir que a adição de 3 mg.L^{-1} do extrato salino de *Moringa oleifera* é benéfico ao processo de digestão anaeróbia, como sugerido anteriormente na literatura, com a diferença que utilizamos uma concentração bem mais baixa do extrato salino (3 mg.L^{-1}) enquanto Kalogo et al (2001) usaram 50 mg.L^{-1} do extrato aquoso.

A associação de *M. oleifera* com cloreto férrico, demonstrou, ainda, grande melhora na eficiência dos parâmetros físico-químicos analisados, sempre superiores a 80%, conseguindo avanços expressivos na remoção de SST e turbidez, demonstrando eficiência na coagulação-floculação. A AME demonstrou que o cloreto férrico (40 mg/L) adicionado por 18 dias no experimento com o reator não apresentou toxicidade aos microrganismos que atuam na digestão anaeróbia. No entanto, torna-se necessário realizar experimentos contínuos para se avaliar os efeitos do cloreto férrico na biomassa do reator, tanto em termos de atividade como no acúmulo de não biodegradáveis, que pode ser prejudicial à operação do reator UASB.



Esses resultados sugerem que doses de ExSM podem ser utilizadas para melhorar a performance de reatores UASB tratando esgoto doméstico, principalmente para aqueles que operam constantemente sob choques hidráulicos e de carga, exigindo uma estabilidade maior do lodo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19. Ed. Washington DC: American Public Health Association, 1995.
2. BHUPTAWAT, H. K.; FOLKARD, G.; CHAUDHARI, S. and GUPTA, S. K. Enhanced primary wastewater treatment with *Moringa Oleifera* seeds. Eds: V. P. Singh and R. N. Yadava. Water and Environment: Wastewater Treatment and Waste Management, Proceedings of the International Conference on Water and Environment, 2003, Bhopal, India, pp 50-58.
3. CHERNICHARO, C. A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.
4. HALL, E. R. Anaerobic treatment of wastewaters in suspended growth and fixed film processes. In: MALINA, J. F.; POHLAND, F. G. (Ed.). Design of anaerobic process for the treatment of industrial and municipal wastes. V 7. USA: Technomic, p. 1 – 118, 1992. (Water quality management library).
5. KALOGO, Y.; ROSILLON F.; HAMMES, F.; VERSTRAETE, W. Effect of a water extract of *Moringa oleifera* seeds on the hydrolytic microbial species of a UASB reactor treating domestic wastewater. Appl Microbiol Biotechnol, v. 31, p. 259-264, 2000.
6. KALOGO, Y.; M'BASSIGUIÉ S. A.; VERSTRAETE, W. Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera*. Appl Microbiol Biotechnol, v. 55, p. 644-651, 2001.
7. MUYIBI, S. A; NOOR, M. J. M. M.; LEONG, T. K.; LOON, L. H. Effects of oil extraction from *Moringa oleifera* seeds on coagulation of turbid water. Environ. Studies, v. 59, n. 2, p. 243 – 254, 2002.
8. N'DABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Res, v. 29, n.2, p.703-710, 1995.
9. OKUDA, T.; BACS, A. U.; NISHIJIMA, W., and OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. Water Res, v. 33, p. 3373-3378, 1999.
10. OKUDA, T; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W. OKUDA, M. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. Water Res, v. 35, p. 830-834, 2001.
11. SANTOS, H. R. Aplicação de coagulantes no afluente de reator anaeróbio de leite expandido alimentado com esgoto sanitário. São Carlos, 2001. 151p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.