

Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais

Marcos Erick Rodrigues da Silva

Marisete Dantas de Aquino
Campus do Pici , Bloco 713, Pici. -
Fortaleza – CE. CEP: 60451-970.
marisete@ufc.br

André Bezerra dos Santos
Campus do Pici , Bloco 713, Pici. -
Fortaleza – CE. CEP: 60451-970.
Tel: (85) 3366-9490 - e-mail:
andre23@ufc.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo estudar pós-tratamentos de efluentes provenientes de reatores anaeróbios de manta de lodo pelo uso de coagulantes naturais (*Moringa oleifera*, Lam) e não-naturais. Para tanto, foram realizados vários ensaios de jar-test utilizando tanto esgoto sanitário bruto, quanto efluente de um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) em escala de laboratório. Foram testadas várias dosagens dos coagulantes natural (*Moringa oleifera*) e não-natural (cloreto férrico) utilizando esgotos brutos domésticos. Em seguida, foram estudados os efeitos dos coagulantes associados ao auxiliar de coagulação (FO 4140), nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente do reator UASB. A partir dos resultados, verificou-se que o coagulante natural moringa forneceu baixas remoções de turbidez na comparação com o coagulante não-natural cloreto férrico, tanto para o esgoto bruto, como para o efluente do reator UASB, questionando-se a real aplicação da moringa no tratamento físico-químico de esgoto sanitário. Adicionalmente, verificou-se um efeito negativo do uso das sementes de moringa, mediante a detecção de um aumento considerável nas concentrações finais de DQO e turbidez, quando o efluente anaeróbio era testado. Os resultados mostraram que, de uma forma geral, a semente de moringa se mostrou ineficiente na remoção de contaminantes físico-químicos e microbiológicos presentes em esgotos sanitários brutos e efluentes anaeróbios.

Palavras-chave: Pós-tratamento. Físico-químico. *Moringa oleifera*. Coagulante natural. Coagulante não-natural.

Abstract

The current investigation aimed to study post-treatments for effluents of anaerobic sludge blanket reactors by using both natural (*Moringa oleifera*, Lam) and unnatural coagulants. For that, many jar-tests were conducted either using sewage or effluent of a lab-scale UASB (upflow anaerobic sludge blanket) reactor. Many dosages of natural (*Moringa oleifera*) and unnatural (ferric chloride) coagulants were tested with sewage. Afterwards, the coagulants effect associated to a polymer (FO 4140) was assessed in the physical-chemical and microbiological parameters of the UASB reactor effluent. The results indicated that the natural coagulant moringa provided low turbidity removal in comparison with the unnatural coagulant ferric chloride, for both sewage and UASB effluent, questioning the real application of moringa in the physical-chemical treatment of sewage. Additionally, a negative effect of the moringa seeds was verified after the detection of a considerably increase of the Chemical Oxygen Demand (COD) and turbidity, while testing the UASB effluent. The results show that, in general, the moringa seeds were inefficient on the removal of physical-chemical and microbiological contaminants present in sewage and anaerobic effluents.

Keywords: Post-treatment. Physical-chemical. *Moringa oleifera*. Natural coagulant. Unnatural coagulant.

1 Introdução

Atualmente, pode-se afirmar que a tecnologia anaeróbia aplicada ao tratamento de esgotos domésticos encontra-se consolidada em nosso país, sendo que praticamente todas as análises de alternativas de tratamento incluem os reatores anaeróbios, principalmente os reatores de manta de lodo (reatores UASB), como umas das principais opções de pré-tratamento. Isto decorre pelas diversas vantagens deste tipo de tecnologia como os

baixos custos de implantação, operação e manutenção, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos, que, aliadas às condições ambientais tropicais do Brasil, tornam o tratamento ainda mais eficiente e atrativo.

O pré-tratamento em reatores UASB promove uma redução de 65 a 80% da concentração do material orgânico (Van Haandel & Lettinga, 1994), além de remover grande parte do material coloidal do esgoto, produzindo um esgoto com baixa turbidez. Em um balanço de massa de sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), o qual, devido a sua baixa solubilidade, se desprende da fase líquida, sendo em seguida capturado pelos coletores de gás. Apenas uma pequena parcela é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a se constituir no lodo excedente do sistema. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, via de regra, mais concentrado e com melhores características de desidratação, quando comparado aos processos aeróbios. O material não convertido em biogás, ou em biomassa, deixa o reator como material não degradado (10 a 30%) (Chernicharo, 2001).

Apesar da grande aceitação e de todas as vantagens inerentes aos reatores anaeróbios, tipo UASB, permanece nestes sistemas uma grande dificuldade em produzir, isoladamente, um efluente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental do País. De forma similar à maioria dos processos compactos de tratamento, os reatores UASB, ainda que bem adequados à remoção da matéria carbonácea dos esgotos, não são eficientes na remoção de nutrientes (N e P) e na eliminação de organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos), necessitando, portanto, de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes, como, por exemplo, tratamentos físico-químicos. No tratamento de esgotos sanitários, através da coagulação-floculação, a eficiência de remoção de DBO situa-se entre 50 e 75% e há remoção quase total dos sólidos em suspensão.

O uso de coagulantes, como os de sais metálicos, e alguns polieletrólitos, tem aumentado, nos últimos anos, no pós-tratamento físico-químico de esgotos sanitários, com boa perspectiva para associação com efluentes provenientes de reatores anaeróbios. Os sais de alumínio e ferro são os coagulantes mais utilizados no tratamento de água e esgoto. Contudo, pesquisas têm apontado algumas desvantagens, tais como problemas de saúde causados pelo alumínio residual em águas tratadas, produção de grande volume de lodo, consumo da alcalinidade do meio, acarretando custos adicionais com produtos químicos utilizados na correção do pH, principalmente no tratamento de água.

Neste contexto, os coagulantes naturais apresentam-se como uma alternativa viável, destacando-se a semente da *Moringa oleifera* (MO), já que vários estudos laboratoriais desta última com águas brutas com elevada turbidez têm mostrado que suas sementes possuem propriedades coagulantes efetivas e que elas não são tóxicas a humanos e animais (Ndabigengesere et al., 1995; Muyibi & Evison, 1995), sendo bastante eficientes não somente na remoção de turbidez e microrganismos, como também no condicionamento do lodo (Muyibi & Evison, 1995).

O conhecimento existente até o presente indica que o agente ativo na coagulação é uma proteína catiônica dimérica com peso molecular entre 12 – 14 kDa (quilodaltons) e um ponto isoelétrico (pI) entre 10 e 11 (Ndabigengesere et al., 1995). A solução da semente de *Moringa oleifera* tem se mostrado efetivo como agente coagulante e na remoção de patógenos de águas brutas. Além disso, tem se observado que a remoção da turbidez é dependente da turbidez inicial, sendo mais eficiente para águas de alta turbidez (Folkart ; Sutherland, 1994).

As vantagens da MO comparada com os coagulantes químicos comumente utilizados são: i) não requer ajustes de pH e alcalinidade; ii) não causa problemas de corrosão; iii) é barato; iv) produz baixo volume de lodo; v) o lodo produzido é biodegradável e vi) não afeta o pH da água (Ghebremichael, 2004).

A principal desvantagem do uso da MO na purificação da água é que a matéria orgânica originária das sementes é lançada na água durante o tratamento, podendo causar problemas de cor, sabor e odor (Ndabigengesere ; Narasiah, 1998).

No que se refere a trabalhos técnicos, são poucos os artigos que tratam do uso da *Moringa* como coagulante de águas brutas, sendo a maioria dos resultados coletados com compostos modelo de turbidez.

Ndabigengesere ; Narasiah (1998) avaliaram a qualidade da água tratada por coagulação usando as sementes de moringa e compararam com a água tratada com sulfato de alumínio como coagulante. O experimento foi conduzido com água sintética com turbidez modelo preparada em laboratório a partir da dissolução de 5g de caolin em 1 L de água destilada. Os resultados mostraram que para uma concentração de 50 mg/L da solução de moringa a turbidez da água reduziu de 105 para 10 UNT, o equivalente a uma eficiência de remoção de 90%, tendo um desempenho semelhante àquela encontrada para o sulfato de alumínio testada na mesma concentração.

Já Kalogo et al. (2000) examinaram os efeitos da aplicação contínua do extrato da semente de moringa na diversidade microbiana de um reator UASB, assim como avaliaram a importância desta diversidade na performance do reator. O experimento era composto de dois reatores UASB operando em paralelo, um tratando esgoto doméstico livre de moringa e o outro esgoto doméstico misturado com o extrato da semente de *Moringa oleifera*. Os autores observaram que o lodo do reator UASB que continha o extrato da semente de moringa apresentou uma maior diversidade de bactérias hidrolíticas, sendo um forte indício de que a aplicação da semente de moringa no tratamento de esgoto doméstico poderia contribuir de forma positiva na partida de reatores biológicos.

Paulo et al. (2005) realizaram testes de coagulação utilizando a solução de moringa com água de turbidez modelo (caolin) e com esgotos tratados anaerobiamente. Os autores observaram, através dos resultados, que a

solução da semente de moringa apresentou 64% de remoção da turbidez para a água de composto modelo (caolin) e que a solução da moringa não removeu significativamente a turbidez do esgoto tratado por processos anaeróbios.

Dessa forma, a presente investigação científica tem por objetivo avaliar o pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais, com vistas ao reúso da água em irrigação e piscicultura.

2 Metodologia

2.1 Ensaio de jarros (Jar-test)

Na realização dos testes de jarros, utilizou-se tanto o efluente do reator UASB, operado no Laboratório de Saneamento (LABOSAN), como também o esgoto bruto sanitário (afluente do reator), sendo este utilizado na etapa de obtenção da dosagem ótima de coagulante, já que apresentava características como pH e alcalinidade semelhantes ao esgoto tratado pelo reator UASB.

O afluente ao reator UASB era coletado em um poço de visita no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC). Procedia-se a uma pré-filtragem do esgoto no local de coleta com uma peneira de malha fina, a fim de evitar o entupimento dos dispositivos de entrada do reator.

2.2 Coleta da semente e preparação das soluções estoque

As sementes da moringa (*Moringa oleifera*, Lam.) foram coletadas em uma área do Centro Experimental sobre Reúso de Águas, localizado na cidade de Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. Procedia-se à remoção da casca da semente, sendo esta semente, em seguida, transformada em pó pelo uso de um pilão, como mostra a Fig. 2. O pó era finamente peneirado e estocado em um recipiente previamente esterilizado. Para a preparação da solução estoque, pesava-se 2,0 g do pó da moringa e diluía-se em 100 mL de água destilada. Agitava-se a solução por 30 minutos, por meio de um agitador magnético, sendo posteriormente filtrada pelo uso de filtragem a vácuo com uma membrana de 0,8 μm de poro. A solução preparada era então armazenada a 4 °C. As etapas da preparação da solução da semente de moringa são mostradas nas Figuras 1 a 3.



Figura 1: Retirada das cascas das sementes da moringa



Figura 2: Sementes de moringa sem as cascas sendo transformadas em pó



Figura 3: Solução de pó da semente de moringa sendo agitada em um béquer

2.3 Procedimento experimental

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados em um Jar-test fabricado na Universidade Federal do Ceará, dotado de 6 cubetas com volume total de 2L (Fig. 4).

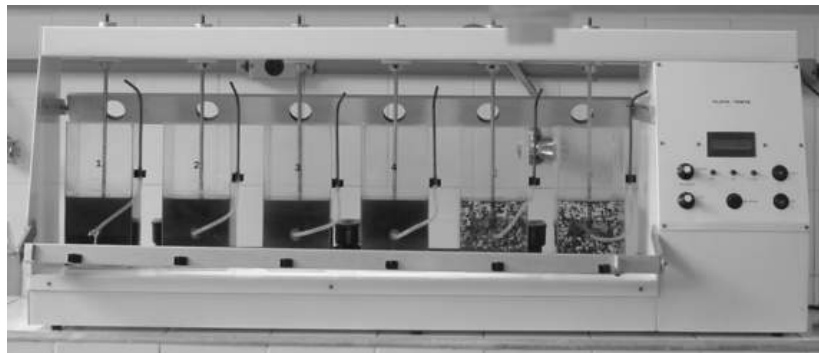


Figura 4: Aparelho Jar-Test usado na pesquisa

O Jar-test utilizado propiciava a dosagem simultânea dos coagulantes nas seis cubetas, além de possuir um visor para a leitura da velocidade angular (rotações por minuto), e dispositivo de ajuste de velocidade e coleta das amostras.

Para os ensaios de coagulação/floculação, transferia-se um volume de 1,0 L para cada uma das 6 (seis) cubetas, sendo feito, em seguida, o ajuste manual da velocidade referente à mistura rápida (200 ± 3 rpm). Em seguida, os coagulantes e auxiliares de coagulação (quando testados) eram adicionados com o auxílio de uma pipeta graduada. Decorrido o tempo de mistura rápida de 2 minutos, ajustava-se a velocidade de mistura lenta em 50 ± 3 rpm durante 20 (vinte) minutos, e desligava-se o aparelho. As amostras eram coletadas para os tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos, determinando-se, basicamente, os parâmetros turbidez e pH.

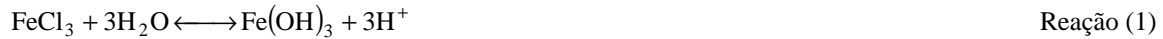
Efeito da adição de coagulantes naturais e não-naturais na remoção de turbidez de esgotos sanitários

Nos ensaios de coagulação/floculação foram utilizados como coagulantes soluções preparadas com semente de Moringa oleifera com concentrações variando entre 50 e 200mg/L, e soluções de cloreto férrico com concentrações variando entre 50 e 200mg/L. Posteriormente, foram realizados ensaios com os coagulantes naturais (MO) e não-naturais (Cloreto férrico) com a adição do polímero catiônico FO 4140 com concentração adotada de 10mg/L. Através destes ensaios de jarro, foi possível determinar a quantidade ótima de coagulante ou auxiliar de coagulação (dosagem ideal).

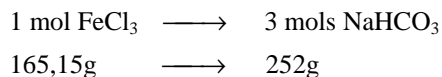
É importante salientar que, para a obtenção da dosagem ideal dos coagulantes, foram utilizados o esgoto bruto, pelo fato de possuir características como pH e alcalinidade bem semelhantes ao do efluente do reator anaeróbio. Nesta fase, foram determinados apenas os parâmetros pH e turbidez. Após a obtenção das dosagens ótimas com o esgoto bruto, realizaram-se ensaios utilizando o efluente do reator UASB, sendo analisados, então, pH, Alcalinidade, Turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos, Coliformes Totais e Termotolerantes, coletados no tempo de 30 minutos, sempre comparados com controles em que nenhum coagulante era adicionado.

Investigação de possíveis fatores intervenientes na eficiência dos coagulantes naturais e não-naturais

Objetivando-se alcançar uma maior eficiência, na remoção da turbidez do esgoto bruto, dos coagulantes *Moringa oleifera* e cloreto férrico, foram realizados ensaios de jarros pela adição de alcalinidade externa. Para estes ensaios, foi adotada a concentração de 200mg/L para ambos os coagulantes. Adotou-se o bicarbonato de sódio (NaHCO₃) como composto alcalinizante, cujas concentrações foram obtidas a partir das seguintes reações:



Das reações mostradas acima, verificou-se que:



Encontrou-se, então, que para a concentração de 200mg/L de FeCl₃ precisava-se de 304mg/L de NaHCO₃. Desse modo, foram adotadas as concentrações de 304 e 152mg/L de bicarbonato de sódio.

Em uma outra etapa, verificou-se a possível influência do pH inicial das amostras de esgoto bruto na eficiência de remoção de turbidez com o coagulante moringa. Para isso, procedeu-se à correção do pH inicial das amostras do efluente bruto, cujos valores finais adotados para o pH, das amostras para cada uma das cubetas do jar-test eram: 5,5; 6,0; 6,5; 7,0 e 8,0. Na correção do pH foram utilizadas soluções de H₂SO₄ (1N) e NaOH (1N). A concentração da solução da semente de moringa testada nesta etapa foi de 100mg/L.

Finalmente, investigou-se a possível influência do gradiente de velocidade de mistura rápida na eficiência da solução da semente de moringa na remoção de turbidez do esgoto bruto. Para tanto, foram testadas as rotações de 150, 200 e 250 rpm, com o mesmo tempo de agitação de 2 min, mantendo-se, em todos os experimentos, os mesmos tempos de mistura lenta (50 ± 3 rpm por 20 minutos) e sedimentação. Para este ensaio, testou-se a concentração de 100 mg/L da solução de moringa.

2.4 Análises laboratoriais

Todas as determinações dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos realizados nesta pesquisa foram realizadas no Laboratório de Saneamento (LABOSAN), de acordo com as recomendações do Standard Methods (APHA, 1998).

3 Resultados e discussão

3.1 Estudo da dosagem ótima dos coagulantes

A primeira fase dos ensaios de jarros foi a verificação do efeito do gradiente de concentração das soluções dos coagulantes, MO e cloreto férrico, na turbidez do esgoto bruto, como mostrado nas Figuras 5 e 6.

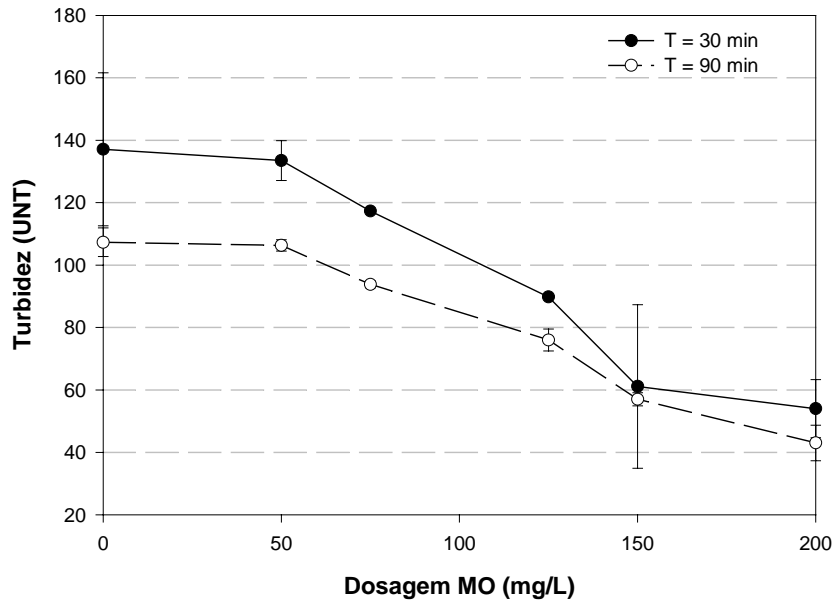


Figura 5: Efeito do gradiente de concentração da *Moringa oleifera* na turbidez do esgoto bruto doméstico, para tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos.

Observa-se que, para o intervalo de concentração de MO testado, a turbidez do esgoto reduziu, à medida que a concentração do coagulante natural aumentou, o que era esperado. Por exemplo, para a concentração de MO de 200 mg/L, obteve-se uma turbidez residual mínima de 54 e 43 UNT, respectivamente, para os tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos.

Com relação ao intervalo de concentração testado para o cloreto férrico, observou-se também a redução da turbidez do esgoto, à medida que a concentração do coagulante não-natural aumentou. Foram obtidos, para concentrações acima de 125 mg/L, valores residuais de turbidez bastante baixos, em torno de 5 UNT.

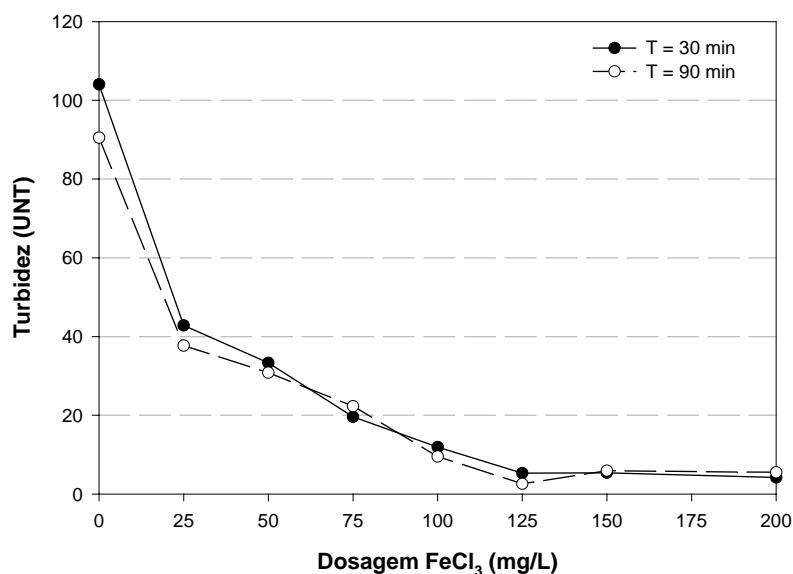


Figura 6: Efeito de um gradiente de concentração da solução de cloreto férrico na turbidez do esgoto bruto, para tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos.

Pesquisadores como Ndabigengesere; Narasiah (1998) realizaram ensaios de jarros utilizando o sulfato de alumínio como coagulante em água sintética com turbidez modelo preparada a partir do composto caolin. Para valores de turbidez inicial próximos a 105 UNT, os autores verificaram uma turbidez residual de 10 UNT, para a concentração de 50 mg/L de sulfato de alumínio, correspondendo a uma eficiência de remoção de turbidez de 90%.

A Fig. 7 mostra a variação da eficiência na remoção de turbidez do esgoto bruto com o gradiente de concentração da solução da MO. Verifica-se uma redução de turbidez de aproximadamente 60% para a

concentração de 200 mg/L, comparado com um controle em que nenhum coagulante era adicionado, para os tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos. Observa-se que para todas as concentrações do coagulante testadas a eficiência de remoção de turbidez em 30 minutos de sedimentação foi superior a 90 minutos. Tal comportamento foi, provavelmente, devido a alguns flocos formados nos primeiros 30 minutos se desagregarem, aumentando, assim, a turbidez da amostra.

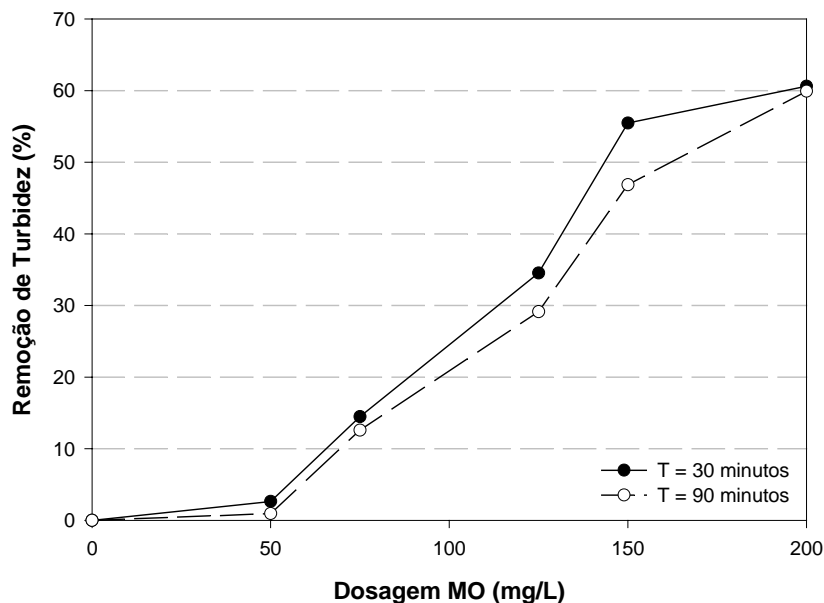


Figura 7: Variação da eficiência na remoção de turbidez do esgoto bruto com o gradiente de concentração da *Moringa oleifera*, para tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos.

A Fig. 8 mostra a variação da eficiência na remoção de turbidez do esgoto bruto com o gradiente de concentração da solução de cloreto férrico.

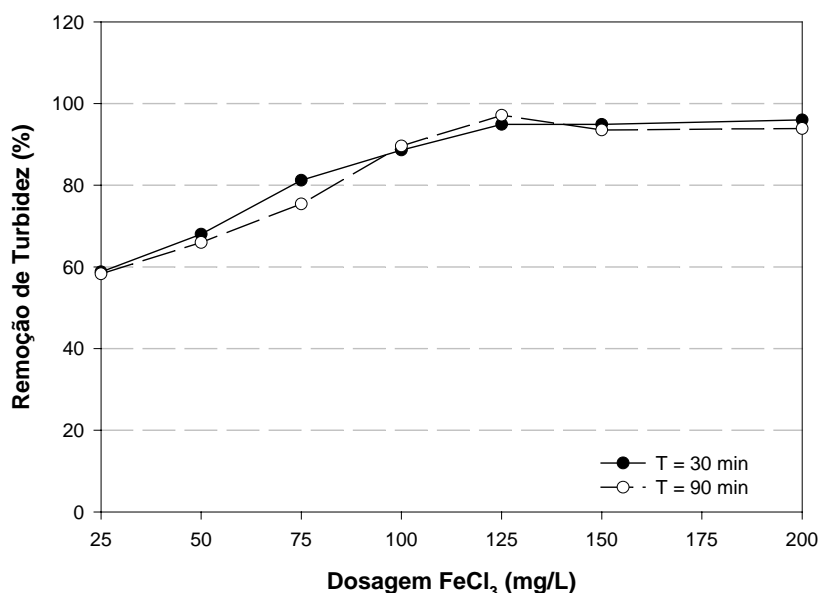


Figura 8: Efeito de um gradiente de concentração da solução de cloreto férrico na remoção de turbidez do esgoto bruto, para tempos de sedimentação de 30 e 90 minutos.

A partir da Figura 8, observa-se um aumento na remoção de turbidez pelo aumento da concentração de cloreto férrico, atingindo uma remoção de até 96% para a concentração de 200mg/L, comparado com um controle em que nenhum coagulante era adicionado, para o tempo de sedimentação de 30 minutos.

Comparando-se as eficiências de remoção de turbidez para os coagulantes testados, percebe-se que a máxima remoção de turbidez obtida com a MO, utilizando a concentração de 200mg/L, foi praticamente igual ao valor encontrado para o cloreto férrico na concentração de 25 mg/L.

3.2 Estudo da adição do polímero catiônico

Com o intuito de verificar se as propriedades coagulantes da MO poderiam ser melhoradas com a introdução de polímero, testes de jarro foram conduzidos com a melhor concentração de MO obtida anteriormente e com o polímero catiônico FO 4140. A Figura 9 mostra o efeito da adição do polímero catiônico na performance da MO.

Verifica-se que, em relação ao controle, a solução de MO com a adição do polímero apresentou uma remoção de turbidez expressiva de 83%, com uma turbidez residual de 15 UNT. Entretanto, observou-se um fato estranho: a solução de MO (200 mg/L) apresentou uma eficiência negativa, ou seja, houve um aumento no valor da turbidez quando comparado com o controle. Pensou-se, inicialmente, que tal fato tenha sido causado por algum composto presente no esgoto testado. Fez-se, então, nova coleta de esgoto bruto e novo ensaio foi realizado, contudo verificou-se novamente a ineficiência da MO.

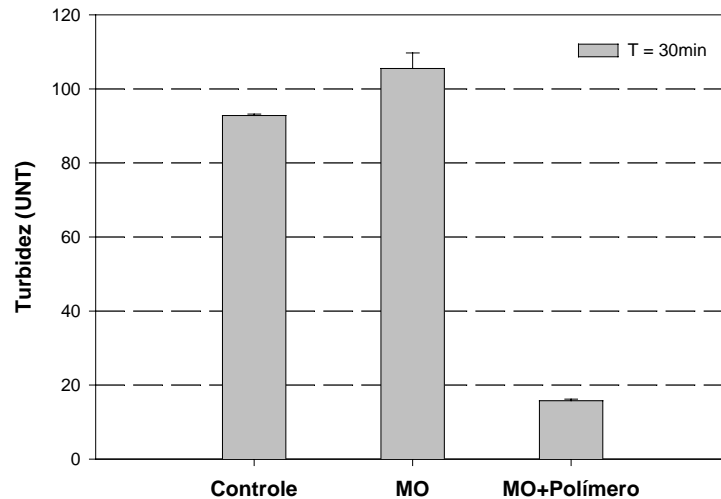


Figura 9: Efeito da adição do Polímero FO 4140 (10mg/L) na eficiência da solução de moringa (200 mg/L) na remoção de turbidez do esgoto bruto doméstico. T – Tempo de sedimentação.

Passou-se a suspeitar de que o problema estivesse na solução da MO. Preparou-se uma nova solução e o ensaio foi repetido e os resultados mostraram que, em relação ao controle, praticamente não houve qualquer redução de turbidez do esgoto com a solução de MO. Dessa forma, exclui-se qualquer possibilidade de falha devido a problemas de estocagem da solução.

Passou-se então a investigar a possibilidade das sementes não estarem em perfeitas condições e, então, preparam-se soluções com sementes novas. Contudo os valores obtidos foram bem inferiores aos encontrados nos ensaios mostrados na Figura 7. Portanto, percebe-se uma grande instabilidade das propriedades coagulantes da MO no que tange à remoção de turbidez de esgotos brutos domésticos, provavelmente sendo dependente da composição destes.

Fatores intervenientes no desempenho da *Moringa oleifera*

Devido aos insucessos observados, os quais eram totalmente contrários à literatura existente sobre o assunto relacionado ao tratamento de águas brutas, passou-se, então, a estudar mais detalhadamente quais fatores poderiam estar relacionados à mudança no comportamento da eficácia da moringa como coagulante. A primeira hipótese traçada era de que o pH não estivesse com o pH ótimo de floculação, e, portanto, o efeito da moringa pudesse estar sendo mascarado. Os valores de remoção de turbidez com a variação do pH são mostrados na Tab. (1).

Tabela 1 – Influência do pH na remoção de turbidez do esgoto bruto por semente da moringa.

Moringa (mg/L)	pH inicial	pH 30min	pH 90 min	Turbidez (UNT) 30 min	Turbidez (UNT) 90 min
0	6,9	6,9	6,9	107,0	84,0
100	6,9	7,1	7,1	96,0	82,5
100	5,5	5,7	5,7	118,0	96,0
100	6,0	6,3	6,4	100,5	87,0
100	6,5	6,7	6,8	97,5	86,5
100	7,0	7,2	7,1	95,5	83,0
100	8,0	7,8	7,8	100,5	84,5

Pode-se observar que a correção do pH não interviu de forma significativa na eficiência de remoção de turbidez usando a semente da moringa. Logo, o fato de não ter sido feito qualquer correção de pH no esgoto bruto não foi o causador da perda de propriedade coagulante da moringa. Atenta-se que o pH ótimo de floculação da moringa foi em torno de 7,0.

Um outro ponto de investigação foi de se verificar em ensaios de jarro com esgoto bruto, o efeito da velocidade de mistura rápida na eficiência de remoção de turbidez (Fig. 10).

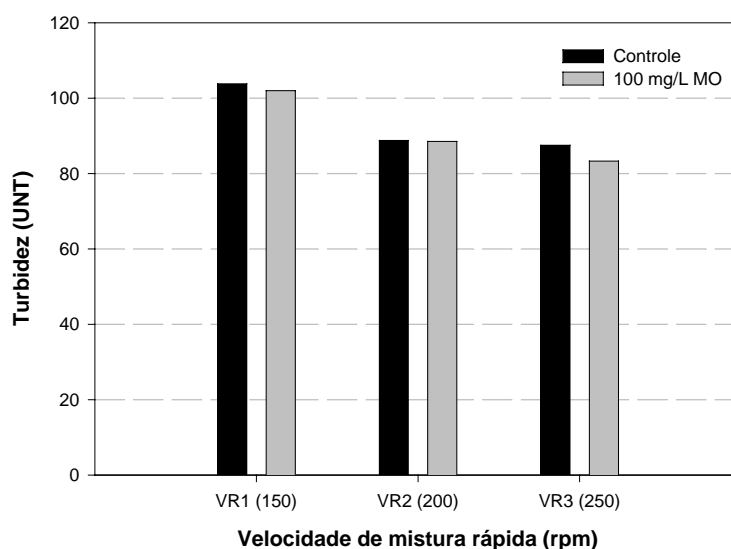


Figura 10: Efeito do gradiente de velocidade de mistura rápida na remoção de turbidez pela MO.

Neste experimento, foram obtidos valores próximos de turbidez final, para as diferentes velocidades de rotação testadas de 150, 200 e 250 rpm, o que indicava que a velocidade de mistura rápida, ou, em outras palavras, o gradiente de velocidade não era o limitante do processo. É importante mencionar que não foram testadas velocidades de rotação menores, pois o Jar-test utilizado estava no seu limite de rotação.

Assim, de uma forma geral, nenhum dos possíveis fatores hipotetizados interferiram na eficácia da moringa como coagulante. Como a eficiência do uso da moringa já é comprovada em experimentos com água de abastecimento Ndabigengesere ; Narasiah (1998) e com o composto modelo Caolin Muyibi ; Evison (1995), assume-se que a ineficiência encontrada na presente investigação é devida às próprias características do esgoto. A verdadeira razão é ainda desconhecida e, portanto, investigações adicionais devem ser conduzidas.

3.3 Ensaios de jar test com o efluente do UASB

A seguir são apresentados, nas tabelas 2 e 3, os resumos das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas com o efluente do reator UASB, após os ensaios de jar- test com os coagulantes, MO e cloreto férrico, e o auxiliar de coagulação.

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos após o teste de jarros da solução de moringa com efluente do reator UASB.

Parâmetro	Amostras		
	Controle	Moringa (200mg/L)	Moringa (200mg/L) + auxiliar de coagulação (10mg/L)
pH	8,1	8,0	8,0
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	311,0	306,6	302,2
Turbidez (UNT)	13,7	17,1	8,1
DQO (mgO ₂ /L)	91,3	136,3	144,7
Sólidos Totais (mg ST/L)	980,0	782,0	835,0
Sólidos Suspensos Totais (mg SST/L)	10,0	14,5	21,5
Sólidos Dissolvidos Totais (mg SDT/L)	969,5	767,5	813,5
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,9E+05	5,3E+05	2,5E+05
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	8,6E+04	3,0E+05	9,6E+04

Tabela 3: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos após o teste de jarros do cloreto férrico com efluente do reator UASB.

Parâmetro	Amostras		
	Controle	FeCl ₃ (200mg/L)	FeCl ₃ (200mg/L) + auxiliar de coagulação (10mg/L)
pH	7,8	6,9	6,8
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	341,1	160,4	157,4
Turbidez (UNT)	23,3	3,3	1,8
DQO (mgO ₂ /L)	114,7	46,3	50,2
Sólidos Totais (mg ST/L)	949,3	761,7	811,0
Sólidos Suspensos Totais (mg SST/L)	28,8	4,8	3,8
Sólidos Dissolvidos Totais (mg SDT/L)	920,5	756,8	807,2
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3,3E+06	6,1E+04	1,1E+05
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	1,6E+06	3,7E+04	2,5E+04

Efeito dos coagulantes na Turbidez do esgoto tratado

Observa-se, através da Tabela 2, que a turbidez aumentou consideravelmente, quando utilizada somente a MO como coagulante, chegando a um acréscimo de 26%, quando comparado ao controle. Vale lembrar que tal ineficiência também foi verificada nos ensaios realizados com o esgoto bruto doméstico e no trabalho realizado por Paulo et al. (2005). Neste último trabalho, os autores verificaram que a adição da solução de *Moringa oleifera* não exerceu nenhum efeito na turbidez do esgoto proveniente de um reator anaeróbio.

Com a adição do auxiliar de coagulação, no entanto, verificou-se uma turbidez residual de 8,1 UNT, representando uma remoção de aproximadamente 41%. Fica claro que tal remoção de turbidez pode ser atribuída somente ao polímero catiônico.

De acordo com a Tabela 3, percebe-se que tanto em relação ao cloreto férrico como ao auxiliar de coagulação, os resultados de turbidez do efluente do reator UASB foram bastante satisfatórios. Foram obtidos valores de eficiência de remoção da ordem de 85,8% (coagulante) e 92,2% (coagulante com polímero),

comparados com a amostra controle. Se a turbidez da amostra com adição do polímero é comparada à amostra com apenas o coagulante cloreto férrico, observa-se um aumento na remoção de turbidez de aproximadamente 45%, o que confirma o potencial de uso do auxiliar de coagulação. De acordo com Nunes (2004), em determinadas situações, o uso de polímeros como auxiliar reduz em até 20% a dosagem do coagulante primário.

Diante dos resultados apresentados, verifica-se uma grande discrepância das eficiências de remoção entre os coagulantes, já que, enquanto o cloreto férrico removeu cerca de 85% da turbidez do esgoto tratado, a MO foi responsável pelo aumento da turbidez em cerca de 26%.

Efeito dos coagulantes na Alcalinidade e pH do esgoto tratado

Quanto ao efeito da MO na alcalinidade do efluente do reator anaeróbio, observa-se que tanto a adição da MO quanto a ação conjunta com o polieletrólito não causou qualquer mudança significativa na alcalinidade do meio. É importante salientar que a maioria dos coagulantes químicos utilizados nas estações de tratamento de água requer a adição de alcalinidade na forma de bicarbonatos ou cal, os quais provocam aumento no volume do lodo, assim como nos custos do tratamento. Contudo, o uso da MO não requer a adição de produtos químicos, assim como produz um volume de lodo cerca de cinco vezes menor quando comparado com o sulfato de alumínio (Ndabigengesere ; Narasiah,1998).

Para o cloreto férrico, percebe-se que houve um consumo muito elevado da alcalinidade do meio, chegando a reduzir em cerca de 53% para a amostra com apenas o coagulante. No entanto, a adição do polímero pouco influenciou na alcalinidade total, apresentando uma concentração bem próxima da encontrada para a amostra que continha apenas o cloreto férrico.

Ressalta-se que esse elevado consumo da alcalinidade do meio reflete-se em uma das desvantagens dos coagulantes não-naturais quanto à sua aplicação no tratamento físico-químico de águas brutas, visto que esses coagulantes não possuem alcalinidade disponível em grandes concentrações. Contudo, verifica-se que as altas concentrações de alcalinidade, presentes no esgoto tratado, permitem que pequenas variações de pH sejam observadas, necessitando, portanto, da adição de quantidades mínimas de produtos químicos para correção do pH, quando comparada às águas brutas.

Atenta-se que as reduções de pH obtidas, tanto para o cloreto férrico como para o coagulante acrescido do polímero, quando comparadas com o controle, foram praticamente semelhantes. Portanto, verifica-se que o polímero catiônico, assim como verificado para a alcalinidade, não interferiu no pH do esgoto tratado.

Santos (2001) verificou que, para a dosagem de 200mg/L de FeCl₃, a alcalinidade total do esgoto bruto variou de 145 para 3 mgCaCO₃/L; com relação ao pH, o mesmo reduziu de 6,7 para 4,4.

Verifica-se também que, de um modo geral, a adição do polímero não afetou os parâmetros alcalinidade e pH do esgoto tratado, resultados que estão perfeitamente de acordo com os obtidos por Santos (2001), quando realizou vários ensaios de jarros utilizando um polímero catiônico (W341), em concentrações variando entre 2 e 12mg/L, como um coagulante primário.

Efeito dos coagulantes na DQO do esgoto tratado

Na Tabela 2, é mostrado o efeito da solução da moringa na DQO do efluente do reator UASB. Verifica-se que a concentração de matéria orgânica aumentou, consideravelmente, com a utilização da moringa como coagulante natural. Com apenas a MO, a DQO foi de 136 mgO₂/L, correspondendo a um aumento de aproximadamente 46%. Com a adição do polímero catiônico, a DQO chegou a 145 mgO₂/L, um aumento percentual, em relação ao controle, de 55%.

Os resultados apresentados para a DQO mostraram-se condizentes com o esperado, já que a adição da moringa representa matéria orgânica sendo adicionada à amostra, causando problemas de cor, odor e sabor, além de agir como um precursor dos trihalometanos em estações de tratamento durante o processo de desinfecção (NDABIGENGESERE; NARASIAH,1998). Para Ghebremichael (2004), o fato de a moringa provocar o acréscimo de matéria orgânica destaca-se como a grande desvantagem quanto a sua utilização como coagulante.

Ndabigengesere ; Narasiah (1998) sugerem que a moringa seja usada no tratamento de águas e esgotos somente se, em seguida, houver uma adequada purificação da proteína catiônica ativa.

Através da Tabela 3, pode-se observar que, para a amostra com apenas o cloreto férrico, foi obtida uma redução na concentração de DQO de aproximadamente 60%, resultando em uma DQO residual próxima a 46mg/L. Já com a adição do polímero ao coagulante, foi encontrada uma remoção de 56%, com DQO residual de 50mg/L.

Santos (2001) encontrou para a mesma dosagem (200mg/L) de cloreto férrico uma remoção na DQO total do esgoto bruto de aproximadamente 71%.

Efeito dos coagulantes nos parâmetros microbiológicos do esgoto tratado

Diante dos valores encontrados para os parâmetros microbiológicos, não foi verificada qualquer redução de coliformes com a adição da solução de moringa ao esgoto tratado.

No que diz respeito à aplicação do coagulante não-natural, observou-se uma redução de coliformes totais e termotolerantes em duas unidades logarítmicas nas amostras que continham o cloreto férrico, fato que pode estar diretamente relacionado à remoção de turbidez, pressupondo que alguns patogênicos sedimentaram juntamente com as partículas sólidas. De acordo com Tawfik (2002), a sedimentação representa um importante mecanismo de remoção de bactérias do grupo coliforme da fase líquida.

4 Conclusões

- A partir dos ensaios de jar-test, a semente de moringa se mostrou ineficiente na remoção de turbidez, tanto em esgotos brutos, como em efluentes provenientes de reator UASB, sendo extremamente dependente das características do esgoto.
- Comprovou-se que o desempenho do coagulante natural (*Moringa oleifera*, Lam) não estava relacionado ao pH inicial do efluente, alcalinidade ou mesmo à velocidade de mistura rápida, mas sim às próprias características do esgoto.
- Para o efluente proveniente do reator UASB, o uso da moringa prejudicou a qualidade final do efluente em termos dos parâmetros turbidez final e DQO que aumentaram, respectivamente, em 26 e 46%, para a dosagem de 200 mg/L, apresentou baixa redução de sólidos totais e não influenciou nos patógenos. Quando utilizado em conjunto com o auxiliar de coagulação, não apresentou qualquer mudança significativa na eficiência dos parâmetros citados anteriormente.
- Para o efluente do reator UASB, o uso do cloreto férrico de forma isolada ou associada ao polímero melhorou significativamente a qualidade final do efluente em termos de turbidez e DQO, com eficiências de remoção, respectivamente, de 85 e 60%, para a dosagem de 200 mg/L, e redução de coliformes em duas unidades logarítmicas. No que tange aos patógenos, ainda há a necessidade de um outro tratamento para o enquadramento nos limites de emissão em corpos de água ou para o reúso em irrigação ou piscicultura.
- Para o efluente do reator UASB, o uso do cloreto férrico de forma isolada ou em conjunto com o polímero consumiu cerca de 53% da alcalinidade presente.
- De um modo geral, percebeu-se que, para as condições estudadas, a aplicação do coagulante natural moringa, como pós-tratamento físico-químico de efluentes anaeróbios, não se apresenta como uma alternativa viável, tanto em relação à praticidade, quanto ao desempenho (eficiência), quando comparada a coagulantes não-naturais como, por exemplo, o cloreto férrico.

Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 19th ed. Washington, DC, 1995. 953 p.
- CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: Projeto PROSAB, 2001. 544 p.
- FOLKARD, G.; SUTHERLAND, J. *Moringa oleifera* a multipurpose tree. *Footsteps*, Boston. v. 20, n. 1, p. 14-15, 1994.
- GHEBREMICHAEL, K, A. *Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment*. 2004. 247 p. PhD thesis. Stockolm: Department of Land and Water Resources Engineering, 2004.
- KALOGO, Y. et al. Effect of a water of extract of *Moringa oleifera* seeds on the hydrolytic microbial species diversity of a UASB reactor treating domestic wastewater. *Letters in Applied Microbiology*, Cardiff, UK, v. 31, n. 9, p. 259-264, 2000.
- MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa Oleifera* seeds. *Water Resources*, Fenix, v. 29, n. 12, p. 2689-2695, 1995.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, Cardiff, UK, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*, Cardiff, UK v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.
- NUNES, J. A. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais. 4. ed. Aracaju: J. Andrade, 2004. 298 p.
- PAULO, P. L. et al. Preliminary studies on the use of moringa oleifera water extract as a coagulant for the post-treatment of anaerobically treated wastewater. In: TALLER Y SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE DIGESTION ANAEROBIA, 8., 2005. Punta Del Este. *Proceedings...* Punta Del Leste, 2005, p. 353-358. 1 CD-ROM.

SANTOS, H. R. *Aplicação de coagulantes no afluente do reator anaeróbio de leito expandido alimentado com esgoto sanitário*. 2001, 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

TAWFIK, A. I. *The biorotor system for post-treatment of anaerobically treated domestic sewage*. 2002, 247 f. Ph.D Thesis. Wageningen : Wageningen University & Research. Wageningen, 2002.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande: Eppgraf, 1994.

SOBRE OS AUTORES

Marcos Erick Rodrigues da Silva

É Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Saneamento Ambiental pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Marisete Dantas de Aquino

É Doutora em Meio Ambiente pela École des Hautes Études – Paris, França. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

André Bezerra dos Santos

É Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade de Wageningen (WUR), Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.