

ESTUDO E AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE FILTRAÇÃO E ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS UTILIZANDO MORINGA OLEIFERA LAM

FERNANDA S. FERNANDES^{1*}, GABRIEL FRANCISCO DA SILVA², DAIANE F. P. SUFFREDINI¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia; ²Universidade Federal de Sergipe

*e-mail: nandafsf24@gmail.com

RESUMO - Os processos de filtração e adsorção são amplamente utilizados em tratamentos de efluentes devido sua eficiência e custo, principalmente quando utilizados adsorventes e meios filtrantes ecológicos. A Moringa Oleifera Lam tem atraído grande interesse por ser biodegradável, de baixo custo e reduzir os impactos ambientais decorrentes dos processos tradicionais de tratamento desses efluentes. A legislação ambiental brasileira é bastante abrangente com os resíduos industriais, trazendo diversas resoluções para a regulamentação do descarte, tratamento ou reaproveitamento apropriado desses materiais, como por exemplo a Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente e a Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Assim, este trabalho visa realizar um estudo teórico sobre os processos de separação para tratamento de efluentes industriais utilizando a moringa como adsorvente e meio filtrante e desenvolver um desenho esquemático, em escala de bancada, de um filtro lento para o tratamento de efluentes industriais estimando o custo para sua montagem posterior, visando realizar experimentos para otimizar o processo.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes industriais possui uma base de dados significativamente mais restrita do que o estudo do tratamento de efluentes domésticos, por exemplo. Isso se deve ao recente interesse em se estudar esse tipo de efluente e, somado a isso, os efluentes industriais não são iguais, cada tipo de efluente industrial possui características específicas, sendo desta forma, importante avaliar tecnologias específicas para a remoção de contaminantes selecionados. Dificilmente apenas um tipo de tratamento será capaz de alcançar a qualidade da água desejada (CHERYAN & RAJAGOPALAN, 1998 apud WAEKENS, 2010).

Dada a necessidade de adequação dos efluentes industriais às determinações da legislação ambiental, há uma série de

tecnologias no tratamento de efluentes já consagradas. Pertinente à efluentes oleosos. WAEKENS (2010) afirma que os tratamentos se baseiam na separação física (Separador Água Óleo - SAO, membranas), adsorção (carvão ativado, argila organofílica), oxidação química (ozonização) e tratamentos biológicos típicos (lodos ativados convencionais, lodos ativados de aeração prolongada, filtros biológicos, etc).

A adsorção é um fenômeno físico-químico em que uma espécie química (o adsorbato) presente em uma fase fluida (líquida ou gasosa) se fixa na superfície de outra espécie química (sólido) denominada adsorvente. É geralmente utilizada na remoção de compostos orgânicos, como pesticidas, herbicidas e metais pesados, entre outros compostos presentes em diversos tipos de efluentes, cuja remoção se torna difícil ou impossível por processos de tratamentos convencionais (PEREIRA, 2010).

De acordo com OLIVEIRA et al. (2008), vem crescendo a procura por materiais de baixo custo para serem utilizados como adsorventes de corantes em meio aquoso. Esta procura tem se tornado cada vez mais evidente já que diferentes indústrias (têxtil, papel, plástico, couro, dentre outras) geram uma grande quantidade de efluentes contendo resíduos de corantes que, se não forem tratados adequadamente, geram um grande problema de contaminação ambiental, mesmo quando presentes em pequenas quantidades, pois é resistente à biodegradação, fotodegradação e à ação de agentes oxidantes.

Muitos adsorventes naturais vêm sendo estudados no tratamento de efluentes industriais, seja como alternativa ambiental, pelo seu baixo custo ou alta eficiência.

Segundo Coulson e Richardson (1991), a filtração é uma operação unitária para separação de misturas sólido-fluido extensivamente utilizada na indústria, que consiste na separação dos sólidos suspensos num fluido, por um meio filtrante contendo material poroso. De acordo com McCabe et al. (2003), quando se força a suspensão através do leito, o sólido da suspensão fica retido sobre o meio filtrante, formando a denominada torta. O líquido que se desloca permeando o leito é o filtrado. Para Massarani (1985) as propriedades da torta dependem de inúmeros fatores de difícil quantificação, como da físico-química da suspensão sólido-fluido, da colmatagem causada pela migração das partículas de pequenas dimensões através da torta e da história do processo deformatório imposta pelo escoamento do fluido sobre a matriz sólida, o que significa que a configuração e as condições de operação do filtro afetam as características da torta nele produzida.

A Moringa oleifera Lamarck é uma espécie perene, da família Moringaceae, originária do nordeste indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Paquistão, Singapura, Jamaica e Nigéria (PIO CÔRREA, 1984; DUKE, 1987). Ela cresce em regiões desde as subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas. É tolerante à seca, florescendo e produzindo frutos (DUKE, 1978). Adapta-se à uma ampla faixa de solos, porém se desenvolve melhor em terra preta bem

drenada ou em terra preta argilosa, preferindo um solo neutro a levemente ácido (DALLA ROSA, 1993). Essa planta é de múltiplo uso, desde produção de biodiesel, tratamento de efluentes industriais, produção de cosméticos, tratamento de água para consumo humano, entre outros.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo estudar os processos de adsorção utilizando a moringa como adsorvente natural e esquematizar um protótipo de um filtro de baixo custo utilizando brita, areia e moringa como meios filtrantes no tratamento de efluentes industriais.

Processos de separação

Os processos de separação são usados há mais de dois mil anos, a destilação de bebidas fermentadas, por exemplo, a evaporação da água do mar para obter sal, filtração quando se faz café com o coador e a extração de metais de minérios, etc (AZEVEDO e ALVES, 2009).

Do início até o auge da revolução industrial, pensava-se que os diversos processos industriais da química seguiam princípios diferentes, ou seja, cada linha de produção iria precisar de métodos, aparelhos e procedimentos específicos, mas em 1915 o engenheiro Arthur Dehon Little, determinou o conceito de “operações unitárias”, onde um processo químico seria dividido em várias etapas básicas, como: transferência de massa, transporte de sólidos e líquidos, destilação, filtração, cristalização, evaporação, secagem etc (FOUST *et al.*, 1982).

“Cada processo de separação baseia-se num princípio de separação específico. Absorção, desabsorção, evaporação, condensação, destilação envolvem uma fase líquida e uma fase gasosa; a extração por solvente envolve duas fases líquidas. A adsorção, cristalização, secagem e lixiviação usam uma fase fluida e uma fase sólida. Todas estas operações têm como base fenômenos de transporte de massa e de equilíbrio de fases (líquido-líquido, líquido-vapor, etc). Por exemplo, a destilação envolve aplicações destes

fenômenos a sistemas líquido-vapor com comportamento termodinâmico (de qualquer das fases) ideal ou não ideal (AZEVEDO e ALVES, 2009).”

De acordo com Foust *et al.* (1982) o conceito de processo de separação inclui as operações unitárias que envolvem a separação dos componentes graças à transferência de massa entre as fases. A separação completa de fases, como na filtração, também pode ser incluída no conceito. As exigências de energia, o custo e a disponibilidade dos materiais de processo e de construção, a integração das etapas no processo químico global, são fatores que contribuem para determinar o processo de separação que é economicamente mais atrativo.

Dentro da indústria química, o processamento tem por base a conversão química (ou reação), como na manufatura do ácido sulfúrico a partir do enxofre, bem como o processamento baseado não somente na modificação física, como é o caso da destilação para separar e purificar frações de petróleo. Seja qual for a natureza da transformação (química ou física) da matéria-prima, pode-se entender o processamento químico segundo elementos industriais a ele relacionados (SHEREVE, BRINK, 1977, *apud* CREMASCO, 2014).

Creмасco (2014) descreve alguns dos tipos de operações unitárias, a centrifugação como: separação de líquidos usando a força centrífuga, com a qual a fase mais pesada deste líquido segue para a periferia do compartimento enquanto a fase mais leve é concentrada no meio do compartimento da centrífuga. Sedimentação é o processo de separação de particulados por meio da deposição de material; absorção: separação preferencial de molécula (s) presente (s) em uma mistura gasosa, por meio da sua retenção em um líquido e adsorção é a separação de molécula (s) presente (s) em um fluido (gás ou líquido), por meio da sua fixação em sólido adsorvente.

Cristalização é classificado como a separação de um componente presente em uma solução, por meio da sua dissolução em um solvente e a separação de líquidos por aquecimento, baseada na diferença de seus pontos de ebulição (ou pressão de vapor) é uma destilação. E por fim, filtração como: disjunção

de particulados por diferença no tamanho entre as partículas e os poros ou interstícios do meio filtrante. Neste trabalho será estudado e em específico os processos de filtração e adsorção.

Adsorção

“A adsorção envolve a transferência de um constituinte de um fluido para a superfície de uma fase sólida. Para completar a separação, o constituinte adsorvido deve então ser removido do sólido. A fase fluida pode ser ou um gás ou um líquido. Se diversos constituintes são adsorvidos em graus diferentes, é possível, muitas vezes, separá-los em estados relativamente puros. O conceito de adsorvente aplica-se usualmente a um sólido que mantém o soluto na sua superfície pela ação de forças físicas” (FOUST *et al.*, 1982).

Segundo Isenmann (2018), os métodos de adsorção se aplicam somente em casos onde um grande volume de produto não adsorvível contém pequenas quantidades de uma impureza que pode ser adsorvida. Essas impurezas podem ser gases ou líquidos. Novamente, temos que exigir ao material adsorvente que sua regeneração seja fácil, econômica e isenta de perigos para o operador e o ambiente.

A espécie que se acumula na interface do material é normalmente denominada de *adsorvato* ou *adsorbato*; e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula, de *adsorvente* ou *adsorbente* (RUTHVEN, 1984).

“ Os processos de separação por adsorção estão baseados em três mecanismos distintos: o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. Para o mecanismo estérico, os poros do material adsorvente possuem dimensões características, as quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos

de equilíbrio, têm-se as habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorvatos, que são adsorvidos, preferencialmente, a outros compostos. O mecanismo cinético está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes (NASCIMENTO, RONALDO *et al.*, 2014)".

"É uma das técnicas mais promissoras para o tratamento e remoção de poluentes e produtos químicos perigosos, pelo seu custo benefício, alta eficiência, compatibilidade ambiental e fácil operação (RECK *et al.*, 2017 *apud* SANTOS *et al.*, 2019)".

Adsorção é um processo que depende de vários fatores tais como: natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais. As características do adsorvente incluem: área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Por outro lado, a natureza do adsorvato depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente (COONEY, 1999).

É um processo exotérmico e a dessorção é endotérmica. Para a última significa que temos que forçar em forma de energia externa para que ocorra a regeneração do adsorvente carregado. Diante disso, aparelhos de adsorção sempre são equipados com um sistema de aquecimento e resfriamento (ISENMANN, 2018).

Fisissorção: No caso de adsorção física, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares às forças de coesão molecular (NASCIMENTO, RONALDO *et al.*, 2014).

Outra maneira de se interpretar a adsorção física sugere que ela ocorre quando forças intermoleculares de atração das

moléculas na fase fluida e da superfície sólida são maiores que as forças atrativas entre as moléculas do próprio fluido (CLAUDINO, 2003, *apud* NASCIMENTO, RONALDO *et al.*, 2014).

Quimissorção:

"A adsorção química é altamente específica e nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorvato. Deve-se ressaltar que nem todas as moléculas presentes no fluido podem ser adsorvidas quimicamente, somente aquelas capazes de se ligar ao sítio ativo (NASCIMENTO, RONALDO *et al.*, 2014)".

Vários estudos estão sendo produzidos a respeito do uso de adsorventes naturais para tratamento de diversos efluentes e muitas são as vantagens observadas nesse processo, entre elas, o baixo custo, eficiência superior aos materiais tradicionalmente usados, além de ser uma alternativa sustentável.

Rezende *et al.* (2014) estudaram o potencial de utilização de sementes de acerola (*Malpighia emarginata*) na remoção de Cr(VI) de soluções aquosas, o biossorvente produzido apresentou uma remoção média de Cr(VI) de 66%. Sendo um material de baixo custo, resíduo da agroindústria, a semente da acerola é uma opção a ser estudada no tratamento de efluentes que contém metais pesados.

Bazzo (2015) mostrou que a remoção do corante violeta cristal de soluções aquosas usando o pó do caroço do abacate é satisfatória, tornando assim um tratamento de águas residuárias eficiente. Neste estudo foram adotados os parâmetros de isoterma de Liu como base e foi observado que a capacidade máxima de adsorção foi de 95.98 mg g⁻¹ a 328 K. O caroço do abacate, biossorvente usado, removeu 92,9% e 84,4% respectivamente, dos efluentes A e B.

Bernardo *et al.* (2012) avaliaram o tratamento de água bruta proveniente de um reservatório de água, utilizando instalação piloto de dupla filtração composta por filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido descendente de areia, seguida de uma unidade

de pós-tratamento com carvão ativado granular. O processo de tratamento por adsorção em carvão ativado granular, utilizado como pós-tratamento, mostrou-se eficiente para assegurar a qualidade dos efluentes finais nos ensaios realizados, especialmente, em relação à remoção de matéria orgânica, cianobactérias e cor.

“A capacidade de adsorção de *Moringa oleifera* é altamente favorecida pela presença de compostos como lignina, proteína, carboidratos, que contêm grupos funcionais capazes de ligar metais pesados para formar complexos com os íons metálicos em solução (TAVARES *et al.*, 2016 *apud* ARAGÃO *et al.*, 2018)”.

O potencial filtrante da moringa, combinada a sua habilidade de crescer em condições extremas de clima e solo, incentiva o desenvolvimento do seu uso como meio adsorvente de água produzida em campo de extração de petróleo (ARAGÃO *et al.*, 2018).

Filtração

“ Filtrar consiste em separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com o auxílio de um leito poroso. Quando se força a suspensão através do leito, o sólido da suspensão fica retido sobre o meio filtrante, formando um depósito que se denomina *torta* cuja espessura vai aumentando no decurso da operação. O líquido que passa através do leito é o filtrado. Observa-se uma diferença fundamental entre a filtração e os métodos de separação sólido-líquido anteriormente estudados no que se refere ao movimento das fases. Na filtração é a fase líquida que se movimenta através do sólido estacionário, enquanto na decantação era o sólido que se movimentava através do líquido” (GOMIDE,1980).

Na filtração técnica se diferenciam dois objetivos: em um dos processos se aproveita do filtrado e a torta é o rejeito. Exemplo deste seja a remoção de resíduos sólidos, numa reação bifásica sólido/líquido. O outro objetivo da filtração é o isolamento da torta que contém o produto com valor, enquanto o filtrado é rejeitado. Exemplos são processos onde o produto se obtém por cristalização ou por precipitação. Nestes casos temos que separar a mistura reacional, ainda líquida, do nosso produto sólido. Muitas vezes se aproveita da posição da torta dentro do meio de filtragem, para ainda lavar e/ou secar o produto cristalino (ISENMANN, 2018).

Meio filtrante: Existe uma variedade de meios filtrantes utilizados industrialmente que seu tipo é usado como critério de classificação dos filtros: leitos granulares soltos, leitos rígidos, telas metálicas, tecidos e membranas (GOMIDE, 1980). A escolha correta do elemento filtrante é importante para a eficiência de remoção do filtro (TESTEZLAF, 2008).

Cremasco (2014) menciona que, independente do tipo de filtração, a escolha do meio filtrante é essencial, pois a qualidade do produto depende da escolha do material. Uma eleição correta do meio filtrante deve ser baseada na sua capacidade de produzir filtrado límpido; possibilitar retirada fácil da torta; resistência para não sofrer fissuras, romper-se ou para não apresentar ataque químico dos constituintes presentes na suspensão a ser tratada; ter boa e adequada distribuição de poros de modo a não comprometer o curso da filtração e que tenha baixo custo e uma limpeza fácil.

Brandão *et al.* (2000) observaram que as águas residuárias da suinocultura podem ser tratadas através da filtração, para isto, tornou-se pertinente o estudo de materiais alternativos a serem usados como meio filtrante e, com esse intuito, foram usados na pesquisa o bagaço da cana-de-açúcar, a casca de arroz a casca de café, o fino de carvão vegetal, o sabugo de milho e a serragem de madeira, acondicionados em tubos de PVC de diâmetro de 100 mm, constituindo colunas de 500 mm de altura. O sistema de filtragem desenvolvido foi mantido sob escoamento permanente, com fluxo em

meio saturado, e pequena ou nenhuma alteração foi detectada na concentração de N-total, Ca, Mg e Zn no efluente do filtro, enquanto que as concentrações de P-total, Na e K aumentaram no efluente obtido em filtros de casca de arroz, casca de café e sabugo de milho. Significativa redução na concentração de Cu foi constatada para todos os materiais utilizados como filtro, atingindo-se eficiência de remoção de até 43,6%. Eficiências de remoção superiores a 90% foram obtidas para sólidos sedimentáveis enquanto a remoção de sólidos totais ficou abaixo de 33,0%.

Junior *et al.* (2010) estudaram o pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta e ascendente, seguida de filtração em coluna de carvão ativado. Obteve-se reduções de até 74% para DQO, 47% para DBO, 93% para cor, 90% para amônia e um aumento de 0,3 para 0,9 na relação DBO₅/DQO, tornando-se uma alternativa que favorece o posterior tratamento biológico.

Torta: Segundo Gomide (1980), as características da torta variam de uma operação para outra, os sólidos cristalinos originam tortas abertas que tornam mais fácil o escoamento do filtrado. Os precipitados gelatinosos produzem tortas que são pouco permeáveis. De modo geral, o tipo da torta vai depender da natureza de seu sólido, da granulometria, forma das partículas, como a filtração é conduzida e do grau de heterogeneidade do sólido.

Protótipo

De acordo com Zier e Hills (1987) a escolha de um filtro deve ser baseada na busca por uma boa eficiência energética para a vazão de projeto e características de perda de carga, proporcionando uma operação adequada de sistemas de irrigação localizada. O projeto de um filtro envolve a determinação das seguintes características: superfície filtrante ou diâmetro do filtro, tipo de areia ou meio poroso e espessura da camada (PIZARRO CABELO, 1996, *apud* TESTEZLAF, 2008).

Moruzzi *et al.* (2017) desenvolveram e avaliaram um protótipo de filtro lento para o tratamento de água em domicílios rurais. Para concepção do protótipo, foram realizados experimentos em escala piloto a fim de avaliar

o comportamento de duas colunas de filtração lenta operadas com duas taxas de filtração (2,4 m/d ou 4,8 m/d) na Etapa I e duas espessuras da camada filtrante (40 cm ou 35 cm) na Etapa II, sendo que em cada coluna havia uma camada de pedregulho de 6,5 cm sobreposta por uma camada filtrante de areia. Na Etapa I, os filtros apresentaram valores de remoção semelhantes, sendo a porcentagem de remoção máxima atingida igual a 96% para coliformes totais, 90% para E. coli, e 47% para turbidez. Na Etapa II, alcançou-se 97% de remoção para turbidez e 99,9% para coliformes totais para ambos os filtros. Os resultados mostraram que a espessura de 40 cm foi a opção mais segura a ser adotada no protótipo, concluindo-se que ele pode ser implementado mediante políticas públicas para o tratamento de água para áreas rurais isoladas.

A Figura 1 apresenta o protótipo do filtro utilizado por Moruzzi *et al.* (2017).

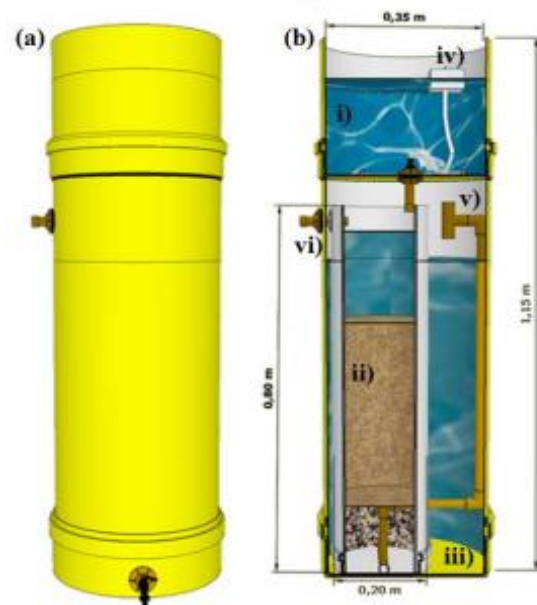


Figura 1: Estrutura do Filtro. (a) Vista externa. (b) Corte vertical: i) Reservatório de água bruta; ii) Unidade filtrante; iii) Reservatório de água filtrada; iv) Sistema de alimentação v) Sistema de drenagem; vi) Extravasor.

Pode - se observar na Figura 1:

- Unidade filtrante: Tubo de PVC de 200 mm de diâmetro e 0,8 m de altura, com extremidade inferior fechada por cap de PVC de 200mm; camada suporte de pedregulho de 15 cm; camada de areia

de 40 cm; sistema de drenagem (tubo de PVC de 20 mm de diâmetro e conexões); sistema extravasor para excesso de água bruta (adaptador com flange livre);

- Reservatório água bruta: Tubo de PVC de 350 mm e 0,3 m de altura com extremidade fechado por cap de PVC de 350 mm, sistema de alimentação do filtro;
- Reservatório água filtrada: Tubo de PVC de 350 mm e 0,85 m de altura com extremidade fechada por cap de PVC de 350 mm, sistema de saída da água tratada;

Ainda de acordo com os autores, optou-se pelo PVC como material principal por ter peso reduzido, alta durabilidade se protegido de intempéries, custo reduzido e ser largamente disponível no mercado. A produção em escala reduzirá significativamente o custo do filtro. Outro material adotado relativamente difícil de ser obtido e que encarece o sistema de tratamento é a areia fina utilizada, de forma que estudos adotando materiais alternativos são de grande importância.

Satani e Arantes (2018) produziram um estudo sobre o tratamento de água por filtração lenta utilizando extratos de sementes de *Moringa Oleifera*, aderido ao material filtrante. Utilizaram três filtros com diferentes composições de material filtrante: filtro de areia (FA), filtro de areia com extrato de *Moringa oleifera* filtrado (FA+EMOF) e filtro de areia com extrato de *Moringa oleifera* peneirado (FA+EMOP) operando com taxa de filtração média de 5,8 m³/m² dia. Os filtros foram construídos com PVC de 50 mm de diâmetro e 1 m de altura, de camada suporte usaram uma camada de manta não tecido sob uma grelha plástica entre um CAP soldável e o tubo de PVC (Figura 8). Depois de analisarem os resultados, constataram que a utilização do extrato de *Moringa oleifera* aderido à areia se mostra mais eficaz na redução de turbidez e cor aparente quando comparado ao meio filtrante composto somente por areia. Apesar disso, a durabilidade das carreiras com extrato, principalmente o peneirado, duram menos. Sendo necessário mais estudos na área.

Na figura 2 podemos ver o protótipo realizado por Satani e Arantes.

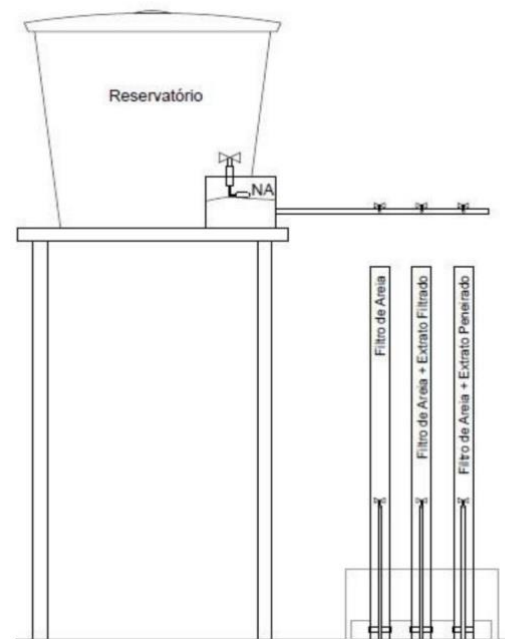


Figura 2: Protótipo esquematizado por Satani e Arantes.

“É notório que a qualidade da água é uma das grandes preocupações atuais e, certamente, será o maior problema a ser enfrentado nos próximos anos. Por esta razão, seria de grande valia buscar e estimular o uso de tecnologias de recuperação de águas, que envolvam um baixo custo financeiro e uma oferta de tecnologias apropriadas, simples e acessíveis, principalmente, quando se objetiva implementá-las em regiões mais carentes (GUPTA; CHAUDHURI, 1992; POLLARD et al., 1992 *apud* FRIGHETTO *et al.*, 2007)”.

Como o custo de aquisição é fator limitante para a expansão do uso dos filtros de meios porosos por irrigantes brasileiros, é necessário que se desenvolvam pesquisas que avaliem o uso de novos materiais com o objetivo de tornar esses dispositivos mais econômicos e energeticamente mais eficientes.

“Ainda que se reconheça a eficiência, a disponibilidade e a praticidade de uso dos insumos químicos tradicionais, vários estudos recentes associam diversas doenças humanas à presença de alumínio na água,

incluindo-se a doença de Alzheimer (AWWS, 1990; MILLER et al., 1984; LETTERMAN; DRISCOLL, 1988; QURESHI; MALMBERG, 1985 *apud* FRIGHETTO *et al.*, 2007)".

Moringa

“A *Moringa oleifera* é uma planta originária do nordeste da Índia muito utilizada pelas áreas da nutrição e da farmácia devido ao alto teor vitamínico das folhas e flores. A literatura mostra que as sementes de moringa apresenta uma proteína de baixo peso molecular que funciona como um biocoagulante capaz de reduzir os níveis de turbidez e a quantidade de microrganismos presentes na água. As sementes de moringa apresentam melhores resultados em sistemas com alta ou média turbidez sendo a capacidade de remoção turbidez variando entre 70% e 90% (PATERNIANI *et al.*, 2009 *apud* MOREIRA *et al.*, 2018)".

Tem fomentado pesquisas exploratórias desde o século XX até os dias atuais, confirma seu potencial poder de tratamento de água e efluentes, porém mesmo assim não esgota novas contribuições e novas descobertas científicas (BRANDÃO; BORGES; NEVES, 2018). Ainda de acordo com Frighetto et al. (2007), as proteínas que são obtidas da casca dessa planta, desde que sejam purificadas, são mais eficientes que os compostos de alumínio no tratamento de água, apresentando ainda mais vantagens como a atoxicidade e biodegradabilidade do precipitado protéico, e diferente dos compostos químicos, largamente utilizados, não afeta o pH e a condutividade da água pós-tratamento.

Na Figura 3 mostra como são as sementes da moringa.

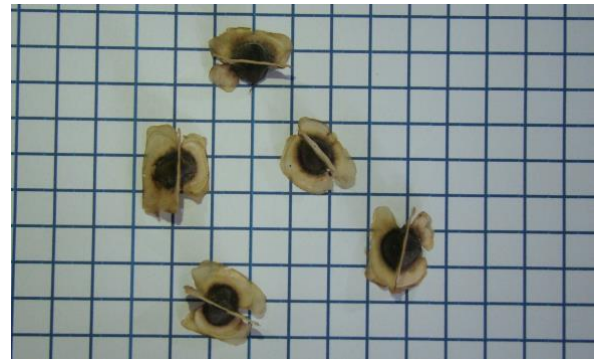


Figura 3: sementes com casca

Pode-se extrair o óleo da semente e depois utilizá-la para o tratamento de água, sem diminuir sua eficiência coagulante.

De acordo com Frighetto et al. (2007), é uma planta tropical dotada de excelentes propriedades de coagulação para o tratamento de água e água residuária. Suas sementes possuem uma proteína flocculante, responsável pela eficiência como flocculante natural, sendo comparada ao sulfato de alumínio. Além do seu potencial com o tratamento de efluentes, com a adsorção de compostos orgânicos em solução aquosa, bem como no pré-tratamento de efluentes na Usina de destilação de óleo de palmeira.

METODOLOGIA

Obtenção da torta da moringa: A torta de moringa foi cedida, gentilmente, pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). O processo de extração do óleo da biomassa foi realizado na UFS através de uma prensa mecânica. O óleo, foi direcionado para produção de produtos alimentícios e a torta estudada no presente trabalho. A Figura 4 apresenta a torta da moringa.



Figura 4: torta da moringa.

Caracterização da moringa através de Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX): O FRX foi realizado com 300 mg do material no equipamento com tubo de ródio operando a 4 kW sendo utilizado o método de varredura semi-quantitativo. A análise foi realizada no IFBA-campus Salvador.

Desenho esquemático: Foi desenvolvido um desenho esquemático de um filtro lento para o tratamento de efluentes industriais, com base no trabalho de Satani e Arantes (2018) e o trabalho de Moruzzi *et al.*, visando projetá-lo para avaliação futura da sua eficiência. Unidade filtrante: tubo de PVC com altura de 60 cm, diâmetro interno de 15 cm, com extremidade inferior fechada por CAP de PVC de 15 cm. Camada suporte de brita de 15 cm; camada de torta de moringa de 15 cm, camada de areia de 15 cm. Após o desenho esquemático, foi realizada uma estimativa de custo para montagem do filtro em escala de bancada, visando testes experimentais futuros para tratamento de efluentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fluorescência de Raios X (FRX): O emprego da técnica de FRX representa uma importante contribuição para o conhecimento da presença de elementos químicos das sementes da Moringa oleífera. De acordo com os resultados expostos na Tabela 1, os óxidos de enxofre e sódio participam da composição química da semente da moringa em maiores proporções frente aos demais óxidos.

Tabela 1: Percentual de óxidos na composição química das sementes de moringa.

ÓXIDO	CONCENTRAÇÃO (%)
SO ₃	22,11
MgO	11,40
Na ₂ O	15,20
K ₂ O	21,30
CaO	12,82

ÓXIDO	CONCENTRAÇÃO (%)
Cl	2,55
P ₂ O ₅	8,77
Al ₂ O ₃	1,22
SiO ₂	2,64
Fe ₂ O ₃	0,61
TiO ₂	0,90
ZnO	0,12
CuO	0,05

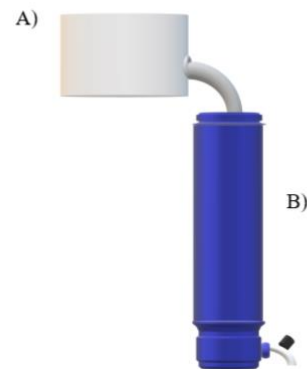


Figura 5: desenho esquemático do filtro
A) reservatório água bruta, B) filtro

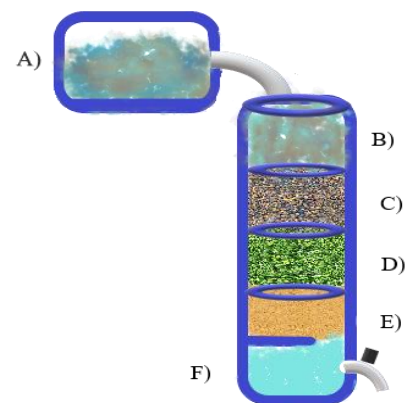


Figura 6: recorte do filtro
A) Reservatório água bruta; B) Unidade filtrante; C) Camada de brita; D) Camada da torta de Moringa; E) Camada de areia; F) Reservatório água filtrada.

A estimativa de custo foi realizada através de pesquisas dos materiais para montagem do filtro, em lojas de materiais de construção. Conforme pesquisas, a estimativa está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Estimativas de custos.

Tubo PVC 60 cm de altura e 15 de diâmetro	R\$ 9,24
CAP	R\$ 16,23
Mangueira	R\$ 19,99
Torneira	R\$ 11,63
Reservatório água bruta (acrílico)	R\$ 26,91
Béquer 1000 ml	R\$ 46,00

Sendo o custo um dos fatores analisados nesse trabalho, após a estimativa do valor para a montagem do filtro esquematizado na Tabela 6, podemos observar que o custo total de cento e trinta reais é baixo, nos estudos realizados foi enfatizado a importância de uma operação econômica, alvo de investimentos de indústrias, devido ao alto custo dos materiais filtrantes comumente usados como o carvão ativado e assim a necessidade de substitutos menos poluentes e baratos.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma revisão integrativa a partir da problemática escolhida e assim sendo possível concluir que os processos de separação são usados há mais de dois mil anos, cada processo baseia-se em um princípio de separação específico. A filtração e adsorção são amplamente usados em tratamento de efluentes por conta de sua eficiência e custo, a adsorção é geralmente utilizada na remoção de compostos orgânicos, como pesticidas, herbicidas e metais pesados, entre outros compostos presentes em diversos efluentes, cuja sua remoção se torna difícil ou impossível por processos de tratamentos convencionais. A *Moringa Oleifera Lam*, da

família Moringaceae, é de múltiplo uso, desde produção de biodiesel, tratamento de efluentes industriais, produção de cosméticos, tratamento de água para consumo humano, entre outros. A literatura mostra que as sementes de moringa apresentam uma proteína de baixo peso molecular que funciona como um biocoagulante capaz de reduzir os níveis de turbidez e a quantidade de microrganismos presentes na água. Estudos mostram que essa proteína da casca da moringa possui uma eficiência maior que compostos de alumínio no tratamento de água.

A caracterização do material filtrante e adsorvente, por FRX, foi importante na determinação dos componentes químicos presentes, concluindo-se que O, Ca, S, Na, K estão presentes em menores quantidades do que os demais elementos. O desenho esquemático do protótipo do filtro, assim como a estimativa de custo mostrou que este pode ser montado a baixo custo em escala de bancada para experimentos posteriores visando determinar a eficiência do material estudado no tratamento de efluentes industriais.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. J.; BARBOSA, R. A., Separação sólido- líquida: centrífugas e papéis de filtro. Scielo, Quím. Nova vol.38 no.5, São Paulo, 2015.
- ALVES, Marília Patrício *et al.*, Uso da tecnologia de filtração lenta no tratamento de águas de abastecimento. Anais IV CONAPESC. Campina Grande: Realize Editora, 2019
- ARAGÃO, B. G. M. *et al.*, Síntese de carvão ativado a partir da *Moringa Oleifera LAM* no tratamento de água produzida. Anais do VII Encontro Nacional de Moringa - ENAM 2018, Salvador. p. 279-286, 2018.
- AZEVEDO, E. G.; ALVES, A. M., Engenharia de Processos de Separação. Lisboa: IST Press, 2009.
- BAZZO, A., Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*persea americana mill*) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais) - Universidade

- Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Química. Porto Alegre, p. 83. 2015.
- BERNARDO, D. L. *et al.*, Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. *SciELO, Engenharia Sanitária Ambiental* v.17 n.1 p.71-80, 2012.
- BORBA, L. R. Viabilidade do Uso da Moringa oleifera Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades. 92 f. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Paraíba, Brasil, 2001.
- BOMAX DO BRASIL, Filtro prensa de placas e quadros. 2008.
- NASCIMENTO, L.D. (2015), Aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta Durante a Secagem de Sementes de Painço em Leito de Jorro, *Anais do XXXVII ENEMP 2015 - Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*, p.466-471, São Carlos - SP.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.
- BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; FONTES, M. P. P., Tratamento de Águas Residuárias da Suinocultura Utilizando-se Filtros Orgânicos. Campina Grande, PB, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4 n.3, p.327-333, 2000.
- BRANDÃO, M. M.; BORGES, P. E. L.; NEVES, B. S., Moringa Oleifera: Importantes constatações brasileiras nos últimos dez anos. *Anais do VII Encontro Nacional de Moringa - ENAM 2018*, Salvador. p. 287-292, 2018.
- BRISTOT, V. M., Introdução à engenharia de segurança do trabalho. Criciúma, SC: UNESC, p. 08-260, 2019.
- COONEY, D. O., Adsorption design for wastewater treatment. Boca Raton, Fl. : Lewis Publishers, 1999.
- COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F., *Chemical Engineering: Particle Technology and Separation Processes*. 4^oed., v.2., Pergamon Press, 1991.
- CREMASCO, M. A., Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos. 2^a edição, São Paulo: Blucher, 2014.
- DALLA ROSA, K. R., Moringa oleifera: a Perfect Tree for Home Gardens. Hawaii: NFTA, *Agroforestry Species Highlights*, v.1, 1993
- DUKE, J. A. Moringaceae: Horseradish-tree, Drumstick-tree, Sohnja, Moringa, Murunga-kai, Mulungay. In: BENGE, M. D. (Ed.) *Moringa a Multipurpose Tree that Purifies Water*, Boston, Science and Technology for Environment and Natural Resources, pág.19-28, 1987
- FOUST, Alan S. *et al.*, Princípio das operações unitárias. 2^a edição, Rio de Janeiro: LTC, 1982.
- Frighetto, R. T. S.; Frighetto, N.; Schneider, R. P.; Fernandes Lima, P. C., O Potencial da Espécie Moringa oleifera (Moringaceae). I. A Planta como Fonte de Coagulante Natural no Saneamento de Águas e como Suplemento Alimentar. *Revista Fitos*, v. 3 n. 02, p. 78-88, 2007.
- GOMIDE, R., Operações unitárias. V. 3, São Paulo: CBL, 1980.
- ISENMANN, A. F. Operações unitárias na indústria química. Minas Gerais: Timóteo, 2018.
- MASSARANI, G., Filtração, Número Especial da RBE, Rio de Janeiro, pág. 96, 1985.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. L.; HARRIOTT, P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 7^o.ed., New York: McGraw Hill, 2003.
- MORUZZI, R. M. C. M.; AMUI, C. R.; BRANDÃO, C. C. S., Desenvolvimento e avaliação de protótipo de filtro lento para tratamento de água em domicílios rurais. Congresso ANES/FENASAN 2017, São Paulo. *Anais do Congresso ANES/FENASAN 2017*, 2017.
- KIRCHHOFF, D.; MONTAÑO, M.; RANIERI, V.E.L.; OLIVEIRA, I.S.D.; DOBERSTEIN, B.; SOUZA, M.P., Limitations and drawbacks of using Preliminary Environmental Reports (PERs) as an input to Environmental Licensing in São Paulo State: a case study on natural gas pipeline routing.

- Environmental Impact Assessment Review, v. 27, p. 301-318, 2007.
- NASCIMENTO, R. F. *et al.*, Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2014.
- PEREIRA, F. D., Potencialidades da *Moringa Oleifera Lam* na produção de biodiesel e no tratamento de água produzida na extração de petróleo. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. São Cristóvão - SE, p.151. 2011.
- PIO CÔRREA, M., Dicionário das Plantas Úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas. Rio de Janeiro: IBDF, v.5, pág. 276-283, 1984.
- RUTHVEN, Douglas M., Principles of Adsorption and Adsorption Processes. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1984.
- SATANI, T. S. K.; ARANTES C. C., Tratamento de água por filtração lenta utilizando extratos de sementes de *Moringa Oleifera* aderido ao material filtrante. Anais do VII Encontro Nacional de *Moringa* - ENAM 2018, Salvador. p. 273-278, 2018.
- SIQUEIRA, P. D. e PEREIRA, Y., *Moringa* - Árvores da UENF.
- TESTEZLAF, R., Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. Jaboticabal: Engenharia Agrícola, v.28, n.3, p.604-613, 2008.
- WAEKENS, B. E., Tratamento de efluentes industriais mediante a aplicação de argila organofílica e Carvão ativado granular. Curso em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo. 116 f. (Dissertação), 2010.
- ZIER, K.R.; HILLS, J.D., Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.30, n.3, p.735-9, 1987.

