

UTILIZAÇÃO DE BIOMASSAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO E O SEU USO PARA A IRRIGAÇÃO DE CULTURAS NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Lucas Alves Batista Pequeno ¹

Deoclecio Francisco do Nascimento Filho ²

Thyago Nóbrega Silveira ³

Amanda Laurentino Torquato ⁴

Divanira Ferreira Maia ⁵

RESUMO

A água produzida é aquela que chega até a superfície em conjunto com o petróleo e o gás natural, e destaca-se como uma potencial fonte poluidora, pois apresenta em sua composição substâncias nocivas, como metais pesados, alto nível de salinidade, gases dissolvidos, óleo emulsionado, entre outros contaminantes. Por esse motivo, essa água passa por tratamentos que visam a remoção dessas impurezas, principalmente o óleo emulsionado. Nos últimos tempos, desenvolveram-se novas tecnologias para se utilizar nesse processo, dentre elas, evidência a utilização de biomassas como material adsorvente, tornando este método mais atrativo, já que a biomassa aparece como um adsorvente de baixo custo industrial. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é explicitar a utilização de biomassas no tratamento da água produzida, a fim de avaliar suas possibilidades de uso para a irrigação na região do Semiárido Brasileiro, empregando como ferramenta metodológica um levantamento bibliográfico criterioso em estudos disponíveis em forma física e digital, publicados entre os anos de 2009 até 2019. Verificou-se que o bagaço de cana, o mesocarpo de coco e a *Moringa oleifera* Lam, foram as biomassas que apresentaram a maior eficiência de separação água/óleo. Por fim, concluiu-se que o uso de biomassas neste tratamento, é uma técnica muito promissora em produção de petróleo em terra e pesquisas recentes mostram que com processos típicos de dessalinização de água após a mesma está livre do óleo, como a osmose reversa, pode deixar a água em condições de ser utilizada sem comprometer as características do solo ou a qualidade do cultivo.

Palavras-chave: Petróleo, Água produzida, Biomassas, Irrigação, Semiárido.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, lucaspequeno_alves@hotmail.com;

² Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, deocleciofh@gmail.com;

³ Mestrando em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, thyagonobrega1996@gmail.com

⁴ Doutoranda em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, amanda.torquato02@gmail.com;

⁵ Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, divanira.maia@ifpb.edu.br

INTRODUÇÃO

A água produzida é aquela que chega à superfície juntamente com o óleo e o gás. A origem dessa água pode ser do aquífero presente no reservatório (que fica abaixo na zona de óleo devido a diferença de densidade), ou pode ser oriunda da água de injeção que é colocada no reservatório durante a execução de métodos de recuperação de petróleo (GOMES, 2014).

Esta água pode representar grandes riscos ao meio ambiente, pois nela estão dissolvidos contaminantes como sais, produtos químicos e óleo emulsionado. Essa situação se agrava devido principalmente ao grande volume dessa água que chega a superfície, tornando-se assim, um poluente de difícil descarte. Por esse motivo, ao chegar a superfície, esta água passa por tratamentos que visam a remoção destas impurezas, principalmente a remoção do óleo emulsionado (CARVALHO, 2011).

Na indústria de petróleo os métodos mais usados para a separação água/óleo são os hidrociclones e os métodos de flotação. No entanto, nos últimos tempos, desenvolveram-se novas tecnologias para se utilizar neste processo, dentre elas, se destaca a utilização de biomassas como material adsorvente, tornando o método de adsorção mais atrativo, uma vez que, a biomassa aparece como um adsorvente com baixo custo industrial. Além disso, a utilização dessas biomassas no tratamento da água produzida, principalmente em poços *on shore*, soluciona outro problema, que é a reutilização da biomassa ao invés do descarte (SANTOS, 2002; GOMES, 2014). As biomassas compreendem todo tipo de matéria orgânica como, por exemplo, os subprodutos da indústria de fruticultura.

Muitos destes poços *on shore* estão localizados na região do Semiárido Brasileiro que apresenta como características meteorológicas clima seco, baixa precipitação pluviométrica anual e elevada evapotranspiração, contribuindo para que a maioria dos rios dessa região seja de caráter intermitente, dificultando assim a oferta de água. Dessa forma, a água produzida quando tratada, pode ser utilizada para suprir a escassez hídrica que assola a região, principalmente, disponibilizando água para a produção agrícola que é um dos segmentos mais importantes para a sobrevivência de uma parcela da população que vive nessa região e está diretamente ligada a atividades agropastoris (SILVA et al., 2010).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é explicitar através de um criterioso levantamento bibliográfico, a utilização de biomassas no tratamento da água produzida, e as posteriores possibilidades de seu uso na irrigação.

METODOLOGIA

O referido estudo trata-se de uma pesquisa de natureza bibliográfica exploratória, utilizando-se de informação científica através de teorias publicadas em obras do mesmo gênero disponíveis em forma física ou digital, a respeito do desempenho das técnicas de tratamento de água produzida utilizando biomassas e a posterior utilização dessa água para a irrigação de culturas não alimentares do Semiárido Brasileiro. Desta forma, os dados de diversos trabalhos foram coletados, a fim, de comparar os resultados obtidos nos processos estudados. No criterioso levantamento bibliográfico da literatura científica, foram priorizados trabalhos publicados nos últimos dez anos (2009-2019).

DESENVOLVIMENTO

Na exploração e produção de petróleo e gás natural são produzidos grandes volumes de água em conjunto com estes fluidos. Entre os aspectos da água produzida que merecem atenção, estão os seus elevados volumes e a complexidade da sua composição. Desta forma o seu gerenciamento requer cuidados específicos, não apenas relacionados com aspectos técnicos e operacionais, mas, também, os ambientais (AMINI et al., 2012).

A água produzida é um dos contaminantes mais indesejáveis. Os maiores inconvenientes estão associados à necessidade do superdimensionamento das instalações de coleta, armazenamento e transferência, ao maior consumo de energia e à segurança operacional, isto porque, da composição da água, fazem parte substâncias que podem causar corrosão e/ou incrustações nos equipamentos e máquinas, além de representar grandes riscos ao meio ambiente, visto que nela estão dissolvidos contaminantes como sais, produtos químicos e óleo emulsionado (THOMAS et al., 2001).

As técnicas para remoção do óleo presente na água produzida podem variar bastante em função das características do óleo produzido. De forma geral, os tratamentos dados ao óleo para separação de água e gás, são separadores bifásicos e trifásicos, e tratamentos eletrostáticos. O gás é condensado através de compressão, podendo haver outros tratamentos para remoção de gases e ácidos, se assim for o caso. Vale salientar que por mais avançado que seja o sistema de tratamento, a separação água/óleo dificilmente será 100% eficiente (GOMES, 2014).

Neste processo de separação, o método por adsorção apresenta-se como uma opção eficaz para a separação desses efluentes e, apesar de apresentar um elevado custo industrial, devido ao valor dos adsorventes empregados, pesquisas recentes vêm apresentando materiais adsorventes com baixo valor para a aquisição, deixando assim, esse processo mais atrativo. Dentre estes materiais destacam-se as biomassas (SANTOS, 2002).

Biomassa é um termo utilizado para representar uma gama de materiais orgânicos, como os resíduos das indústrias de polpas e sucos. Após o processamento das frutas para elaboração dos produtos, aproximadamente 50% da massa da fruta torna-se resíduo industrial que é descartado. No entanto, por serem ricos em nutrientes, esses resíduos, quando processados de maneira adequada, podem gerar produtos com importante valor de mercado (VIEIRA, 2014).

Esses descartes de toneladas de resíduos se não forem feitos de maneira correta acarretam em poluição ambiental. Dessa forma, esses subprodutos geram custos operacionais às empresas, em razão da necessidade de tratamento para o descarte. Dentre os resíduos agroindustriais mais comumente encontrados destacam-se as cascas, sementes e bagaço. Outro desafio encontrado na fruticultura é a perecibilidade desses produtos, configurando-se como um dos maiores desafios para sua comercialização, principalmente no que se refere à exportação para longas distâncias (INFANTE et al., 2013; AMORIM, 2016).

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo, representando um dos mais importantes segmentos da economia brasileira. Segundo a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2018), estima-se que a produção nacional seja de 44 milhões de toneladas ao longo do ano. A fruticultura emprega cerca de 5 milhões de pessoas, 16% do total de vagas do agronegócio.

Dessa forma, a utilização desses resíduos como material adsorvente na separação água/óleo na indústria petrolífera se torna uma alternativa viável para reduzir os impactos sociais, econômicos e ambientais gerados pela indústria de fruticultura, além de diminuir os custos de tratamento da água produzida de petróleo, que ao final do processo, as opções potenciais para o destino da água produzida são a reinjeção, o descarte e/ou a reutilização.

A reutilização da água produzida tem se configurado uma prática estudada e aplicada nos últimos tempos. Segundo Carvalho (2011), o reuso de água para fins agrícolas necessita de regulamentações ditadas por órgãos fiscalizadores e a Organização Mundial da Saúde - OMS. As águas oriundas da extração de petróleo (águas residuais) que serão destinadas ao reuso

agrícola, devem ser analisadas levando em consideração aspectos como salinidade, excesso de nutrientes, presença de metais pesados e ainda, sob os aspectos sanitários.

Após tratamento adequado, o uso da água produzida para irrigação pode suplementar as reservas de água de regiões de baixo índice pluviométrico (PINHEIRO, 2014). Na Região Semiárida Nordestina a produtividade agrícola é muito afetada pela falta d'água devido aos ciclos de secas acentuados, gerando problemas sociais e forte degradação ambiental (SILVA et al., 2010).

Assim, o uso da água produzida tratada com biomassas na irrigação, poderia diminuir o impacto ambiental ocasionado pelo descarte da água produzida e da biomassa proveniente do processamento de frutas, além de proporcionar uma fonte hídrica alternativa para a agricultura do semiárido frente à escassez de água constante nesta região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados escolhidos para comparação e discussão tiveram origens dos trabalhos de Santos (2002), Santana (2009), Pinheiro et al. (2014), Costa et al. (2015), Lima (2015) e Miranda et al. (2016). Tais escolhas deveram-se ao fato de nestes estudos serem apontados resultados de capacidade de adsorção de poluentes orgânicos oriundos dos processos de extração e produção de petróleo com a utilização de variadas biomassas. Ademais, alguns desses trabalhos, discorrem sobre a posterior utilização da água produzida na agricultura, após a mesma está livre do óleo.

Santos (2002) estudou o uso de quatro biomassas: mesocarpo de coco, sabugo de milho, serragem de madeira e bagaço de cana no tratamento de água produzida da indústria de petróleo. As biomassas agem adsorvendo óleo e graxas da água produzida, a fim de condicioná-la para reinjeção e descarte. A autora montou uma estrutura tubular, denominada coluna de leito fixo, com recheio de biomassas trituradas. O fluxo de água produzida provinha da parte superior do leito, atravessando a camada de biomassa. A água tratada era recolhida na parte inferior. A quantidade de óleo adsorvida na água tratada foi medida por um espectrofotômetro e foi calculada a quantidade de óleo adsorvido pela biomassa. As condições de operação das variáveis de entrada eram 20% de concentração inicial de hidrocarbonetos na dispersão e 5 g de biomassa. Na Tabela 1 estão relacionados os resultados alcançados para cada biomassa.

Biomassa	Valores de Adsorção
Sabugo de Milho	8,0 mL/g
Serragem de Madeira	8,3 mL/g
Mesocarpo de Coco	12,0 mL/g
Bagaço de Cana	11,0 mL/g

Tabela 1: Valores de adsorção obtidos para cada biomassa

Como se observa, o melhor resultado obtido pela autora de capacidade de adsorção de poluentes orgânicos oriundos foi com a biomassa mesocarpo do coco (12,0 mL/g), ou seja, a maior quantidade de compostos orgânicos (hidrocarbonetos leves) removidos da emulsão por grama de biomassa utilizada.

No entanto, o bagaço de cana também apresentou valores elevados de capacidade de adsorção e, devido à possibilidade do bagaço de cana ser encontrado em grande quantidade na região sucroalcooleira do Brasil, a utilização deste material como bioadsorvente em coluna de leito fixo torna-se bastante vantajoso devido a grande disponibilidade de resíduo.

Santana (2009) estudou a utilização da *Moringa oleifera* Lam como agente coagulante no tratamento de água produzida, através do processo de floculação por ar dissolvido e constatou um percentual de remoção de quase 95% de óleo em emulsões preparadas sem adição de NaCl, com uma concentração de moringa de 0,1g/L e de cerca de 92% em emulsões preparadas com adição de NaCl, para uma concentração de moringa de 2,5 g/L.

Costa et al. (2015), avaliou o potencial do uso da casca de banana como bioadsorvente em leito diferencial, visando a purificação de corpos aquáticos contaminados por derivados de petróleo. Os resultados de adsorção em leito diferencial comprovaram a eficiência da biomassa oriunda da casca da banana como bioadsorvente. Para concentrações baixas (1% e 3%) houve uma extração de 100% de contaminante e com o aumento da concentração de contaminante para 5%, para a menor espessura estudada (2 mm), houve a adsorção de 75% do contaminante e com o aumento da espessura (3 mm), observou-se que 95% do contaminante havia sido adsorvido no mesmo intervalo de tempo que a camada anterior.

De acordo com Gomes (2014), no ano de 2013 produziu-se um total de 94.924.065 m³ de água produzida no Brasil. Não há uma produção de biomassa suficiente para suprir toda a necessidade neste processo de separação água/óleo, porém, há de se levar em consideração que em algumas localizações geográficas como as regiões com escassez hídrica e para produção de petróleo *on shore*, o uso de biomassas apresenta-se como uma alternativa promissora, porque

além de fazer um uso adequado do que seria resíduo da indústria de fruticultura, possibilita a oferta de água para essas regiões, como o Semiárido Brasileiro.

Deve-se considerar que a água após ser separada do óleo pelo processo de adsorção ainda terá os sais como contaminantes, sendo necessária assim, a quantificação desses sais, em virtude das culturas apresentarem diferentes graus de tolerância à salinidade do solo. No geral, valores elevados de sais reduz a absorção de água pela planta, inibindo assim a germinação, ocasionando desuniformidade do crescimento, declínio na capacidade produtiva e na qualidade dos produtos obtidos das plantas cultivadas (MIRANDA et al., 2016).

Segundo Miranda et al. (2016), a irrigação com águas com elevada razão de adsorção de sódio pode acarretar na dispersão das partículas de argila, causando compactação do solo e, conseqüentemente, à redução de sua permeabilidade. Com relação à toxicidade para as plantas, os íons específicos mais tóxicos são Na^+ e Cl^- .

Apesar do número limitado de estudos e experiências de campo utilizando água produzida na irrigação, águas de irrigação salinas e/ou sódicas são comumente utilizadas em regiões agrícolas e podem representar um recurso valioso se forem adotadas práticas de gestão adequadas (ALL CONSULTING, 2003 apud MIRANDA et al., 2016). Em virtude dos possíveis riscos de contaminação envolvidos, geralmente são utilizadas culturas não alimentares (MIRANDA et al., 2016). No entanto, os Estados Unidos já possuem algumas empresas de produção e exploração de gás que utilizam a água produzida no processo de extração do petróleo em irrigações de culturas comestíveis como frutas, cereais e hortaliças, além das não comestíveis como a forrageira (SOARES, 2013).

Pinheiro et al. (2014), desenvolveram um projeto piloto de reuso de água produzida para fins de irrigação de culturas destinadas à produção de biodiesel implantado no Campo de Fazenda Belém da Unidade de Produção do Rio Grande do Norte e Ceará. Em seu projeto, a qualidade da água produzida após os tratamentos testados, dentre eles, a dessalinização por processo de separação de membranas, indicou um bom potencial de reuso para a irrigação de oleaginosas. Com os dados físico-químicos da análise do solo não se observou evidências consistentes de modificação do solo que possam estar associadas ao uso da água produzida. Dessa forma, não houve registros de qualquer contaminação por substâncias de petróleo.

A salinidade da água produzida, por vezes, pode superar a da água do mar, dependendo do poço produtor. Os teores de sais dissolvidos encontrados na água de produção são extremamente variáveis, sendo em média de três a quatro vezes maiores aos normalmente

existentes na água do mar (33.500 mg/L). A salinidade pode impactar mananciais de água doce que se destinam à agricultura e ao consumo humano. Em ambientes *off shore* a salinidade apresenta-se mais elevada do que em ambientes *on shore* (THOMAS, 2001; CARVALHO, 2011).

Sendo assim, após a água passar por um processo de dessalinização ela deverá apresentar salinidade entre 0,5% até 30%, sendo enquadrada como água salobra, segundo a resolução CONAMA n° 357/2005. Essas águas salobras podem ser destinadas, de acordo com a referida resolução, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas sem remoção de película ou de frutas que se desenvolvam rentes ao solo. Em relação ao descarte do efluente tratado, este é regulado pela Resolução CONAMA n° 393/2007.

Segundo Lima (2015), uma das produções agrícolas para o semiárido mais rentável é o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.), pois a sua cultura apresenta boa adaptação às condições climáticas do Nordeste brasileiro. Além disso, ela destaca-se como alternativa para a produção de biodiesel e de óleo com excelentes características industriais, possibilitando assim, geração de emprego e renda na agricultura familiar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível encontrar em material publicado, informações relevantes quanto ao uso de biomassas como material adsorvente na separação água/óleo, em pesquisas de escala laboratorial. Entre os dados coletados, observou-se, que o bagaço de cana, o mesocarpo de coco e a *Moringa oleifera* Lam, foram as biomassas que apresentaram a maior eficiência de separação água/óleo em relação às quantidades utilizadas, ou seja, para se obter o resultado esperado, é imprescindível que existam proporções adequadas óleo/biomassa, para que assim, possa se eliminar praticamente todo o contaminante.

Dessa forma, o uso de biomassas neste tratamento, é uma técnica muito promissora em produção terrestre, porém em produção de petróleo no mar, tem-se o inconveniente da necessidade de grandes quantidades destes materiais (biomassa), em virtude da elevada quantidade de água produzida, requisitando para tanto, espaços de estocagens inviáveis.

Por fim, a viabilidade da posterior utilização dessa água tratada para a irrigação de culturas não alimentícias na região Semiárida Brasileira revela-se uma solução para diminuir o problema da escassez hídrica que prejudica a agricultura, sem que esta água oriunda da

produção de petróleo contamine o solo e não traga prejuízos aos cultivos, proporcionando assim, o contínuo desenvolvimento econômico da região. Ademais, a utilização dessa fonte de água para a irrigação reduz a necessidade de utilização da água de mananciais, sendo esta, destinada apenas para outros usos.

REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Anuário Brasileiro da Fruticultura. Santa Cruz do Sul, 2018

AMINI, S. et al. Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS). *Chemical Engineering Research and Design*, v. 90, p. 2186-2195, 2012.

AMORIM, Q. S. Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. Dissertação de Mestrado. Itapetinga: Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2016.

CARVALHO, P. C. D. A. P. de. Caracterização de água produzida na indústria de petróleo para fins de descarte e otimização do processo de separação óleo/água. Dissertação de Mestrado. Natal: Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

CONAMA 357, RESOLUÇÃO CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2019.

CONAMA 393, RESOLUÇÃO CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n° 393, de 08 de agosto de 2007. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res07/res39307.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2019.

COSTA, F. O. et al. Uso da casca da banana como bioadsorvente em leito diferencial na adsorção de compostos orgânicos. Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia da UEPB, 2015.

GOMES, A. P. P. Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

INFANTE, J. et al. Antioxidante de Resíduos Agroindustriais de Frutas Tropicais. *Revista Alimentação e Nutrição Araraquara*, v. 24, n. 1, p. 87-91, jan/mar, 2013.

LIMA, G. S. de. et al. Produção da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 1, p. 1-10, jan/mar, 2015.

MIRANDA, F. R. de. et al. Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo: Efeitos sobre a Salinidade do Solo e a Produtividade da Mamoneira. Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 118, Ceará, 2016.

PINHEIRO, R. et al. IBP 1010_14 Projeto piloto de irrigação com água produzida no Campo de Fazenda Belém. Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro – RJ, 2014.

SANTANA, C. R. Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a *Moringa oleifera* Lam como coagulante natural. Dissertação de Mestrado. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, 2009.

SANTOS, E. G. dos. Estudo da adsorção de contaminantes orgânicos, provenientes da água de extração do petróleo em coluna de leito fixo, utilizando biomassa como adsorvente. Tese de Doutorado. Campina Grande: Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.

SILVA, P. C. G. da. et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 1, p. 18-48.

SOARES, L. L. Projeto conceitual de um sistema de tratamento e reaproveitamento da água produzida de petróleo disposta em um aterro industrial real. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Petróleo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

VIEIRA, A. S. Secagem de resíduo de goiaba em secador convectivo de bandejas: modelagem matemática e análise do processo. Tese de Doutorado. Natal: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

THOMAS, J. P. et al. Fundamentos de Engenharia do Petróleo, Ed. Interciência: Petrobrás, Rio de Janeiro, 2001.