

## UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA TRATADA POR FLOCULAÇÃO IÔNICA NA GERMINAÇÃO DO LACTUCA SATIVA

João Miller de Melo Henrique<sup>1</sup>, Eduardo Lins de Barros Neto, Márcio Dias Pereira<sup>2</sup>, Giovanni Silva de Oliveira<sup>1</sup>, Leandro Silva Ferreira Junior<sup>1</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica de Engenharia Química  
[joamiller@ufersa.edu.br](mailto:joamiller@ufersa.edu.br); [eduardo@eq.ufrn.br](mailto:eduardo@eq.ufrn.br); [giosilva.07@hotmail.com](mailto:giosilva.07@hotmail.com); [leandroferreirajunior@hotmail.com](mailto:leandroferreirajunior@hotmail.com)  
<sup>1,3,4,5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Escola Agrícola de Jundiá  
[marcioagron@yahoo.com.br](mailto:marcioagron@yahoo.com.br)

### RESUMO

A produção de petróleo é associada à produção de água, e esta água contém compostos orgânicos e inorgânicos que a tornam um efluente que deve ser tratado para poder ser descartado. As alternativas usualmente adotadas para esse tratamento são a decantação, flotação, adsorção, biodegradação, fitorremediação, dentre outros. Estudos recentes mostraram que a floculação iônica surge como uma alternativa ambientalmente compatível, resultado da interação entre tensoativos com metais alcalinos terrosos. Os flocos gerados no meio aquoso são capazes de interagir com compostos orgânicos e remover o contaminante por simples filtração. Para tanto, cinco concentrações do tensoativo sabão base foram utilizadas para promover a floculação em um efluente sintético que contém óleo, sal e metais, simulando assim uma água de produção. A eficiência do tratamento e os efeitos do reuso da água foram avaliados ao aplicar tal efluente na germinação de sementes da espécie *Lactuca sativa*. Os parâmetros estudados durante o tratamento foram os percentuais de remoção de óleo e metais. Em relação à germinação, os parâmetros foram: teste de germinação, primeira contagem do teste de germinação e índice de velocidade de germinação. Os resultados mostraram que a eficiência de remoção do óleo é cerca de 100%. Além disso, a remoção de cálcio na água é superior a 30% ao se utilizar 500 ppm de tensoativo. As concentrações de potássio e o magnésio permanecem praticamente constantes. A germinação e a primeira contagem não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, comportamento contrário ao observar o índice de velocidade de germinação.

Palavras-chave: Água produzida; floculação iônica; germinação; *Lactuca sativa*

### 1. INTRODUÇÃO

A procura global por energia continua a crescer [CHU & MAJUMDAR, 2012; DAVIDSON *et al.*, 2014] e, com ela, a produção de petróleo e gás, de forma a atender o aumento desse crescente consumo. Entretanto, semelhante a muitas outras atividades de exploração e produção, a indústria do petróleo produz grandes

quantidades de resíduos e efluentes. Segundo Thomas [2004], o maior volume de efluente gerado nesse tipo de atividade é a água produzida, sendo esta uma mistura de água de formação, água reijentada e produtos químicos durante as etapas de perfuração, estimulação, produção e processos de separação óleo-água.

A quantidade de água gerada com óleo associado varia muito durante o tempo em um



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

campo produtor. No início, um campo produz pouca água, em torno de 5 a 15% da corrente produzida. Entretanto, à medida que a vida econômica dos poços vai se esgotando, o volume de água pode aumentar significativamente, numa faixa de 75 a 90%. Além disso, esse efluente normalmente contém vários poluentes, tais como hidrocarbonetos de petróleo, metais pesados, compostos químicos e sólidos de produção, que podem resultar em questões ambientais inesperados [FAKHURU'L-RAZI *et al.*, 2009].

Diariamente, são estimados uma produção de cerca de 250 milhões de barris de água produzida em todo mundo, oriundos das atividades onshore e offshore [FAKHURU'L-RAZI *et al.*, 2009].

Por outro lado, mesmo com esse grande volume de água gerado, diversos países que detém atividades ligadas a exploração e produção de petróleo também sofrem com a escassez de água. Logo, os esforços estão cada vez mais concentrados para encontrar métodos de tratamento eficientes e de baixo custo para remoção de poluentes, como forma de complementar seus recursos de água bastante limitados. As principais estratégias para gestão desse efluente consiste em sua minimização, reuso e eliminação, em caso final [VEIL, 2011].

Seja para descarte ou reuso, ambos requerem processos rigorosos de tratamento

que visam atender certas normas regulamentares ou requisitos técnicos. Como exemplos de reutilização da água produzida, tem-se: reinjeção, usos industriais (água de reposição em usinas, controle de incêndios), irrigação em áreas de escassez, pecuária, entre outros [VEIL *et al.*, 2004].

A irrigação agrícola consiste na principal atividade consumidora de recursos hídricos, sendo a insuficiência e o uso sustentável de tais recursos um problema crescente no mundo todo, principalmente em regiões de clima árido e semiárido. Dessa maneira, utilizar águas residuais para irrigação agrícola apresenta uma potencial aplicação, equacionando tanto o problema do descarte desses efluentes como o uso sustentável e minimização da escassez de água.

Em relação à utilização de água produzida para este fim [PINHEIRO, 2014; FIGUEIREIDO *et al.*, 2014], os níveis de nutrientes são benéficos à produtividade agrícola, suprimindo a necessidade nutricional das culturas. Porém, as concentrações elevadas da salinidade e metais pesados podem causar danos ao meio ambiente, devendo receber o tratamento adequado para atender aos parâmetros estabelecidos por órgãos regulamentadores.

As alternativas usualmente adotadas para esse tratamento são a decantação,

**[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)**

**br**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

flotação, adsorção, biodegradação, fitorremediação, dentre outros [FAKHRU’L-RAZI *et al.*, 2009]. Estudos recentes mostraram que a floculação iônica surge como uma alternativa ambientalmente compatível, uma vez que os flocos gerados no meio aquoso são capazes de interagir com compostos orgânicos e remover o contaminante por simples filtração.

Atualmente, as Unidades de Produção e Exploração no RN enviam água produzida para Estações de Tratamento que objetivam descarte no mar via emissário, envolvendo riscos operacionais e de limite de capacidade das ETE’s. Tendo em vista essa possível aplicação, visto a carência de trabalhos envolvendo o emprego de água produzida nesse tipo de atividade, essa pesquisa visa o reuso de água produzida para germinação de sementes a partir do tratamento prévio com floculação iônica. A eficiência do tratamento e os efeitos do reuso da água foram avaliados ao aplicar tal efluente na germinação de sementes da espécie *Lactuca sativa*, uma vez que essa cultura é bioacumuladora, apresenta porte baixo e precoce, além de ciclos rápidos de germinação (7 dias após a semeadura) [BRASIL, 2009].

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Preparação do efluente sintético

Visto a complexidade e variedade das caracterizações da água produzida existentes, priorizou-se as análises desse efluente pertencentes a uma Unidade Operacional de Exploração e Produção da PETROBRAS/UO-RNCE, de forma a contextualizar a pesquisa na região onde realizou-se os experimentos.

Para constituição do efluente sintético que simule a água produzida, priorizou-se três variáveis principais: óleo, sal e metais. Os parâmetros escolhidos foram baseados nas análises do efluente obtidas da Estação de Tratamento de Água Produzida (ETAP), cuja amostra foi coletada após o separador O/A (SAO). Os parâmetros escolhidos e seus respectivos valores estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros escolhidos para consecução do efluente sintético

Parâmetro	Unidade	Valores
pH	-	7,40
Teor de Óleo e Graxa (TOG)	mg/L	106,50
Salinidade (NaCl)	mg/L	2000
Potássio	mg/L	28,77
Cálcio	mg/L	121,24
Magnésio	mg/L	34,79

Preliminarmente, solubilizam-se os sais, que contém os metais presentes na água produzida, por ordem de solubilidade, de

acordo com as concentrações definidas na Tabela 1. A adição de cloreto de sódio (NaCl) irá representar a salinidade. Depois adiciona-se o óleo por meio do agitador homogeneizador Turratec – TE 102 da TECNAL, com rotação de 27.000 rpm, durante 20 min, obtendo assim uma emulsão O/A com uma concentração também definida pela Tabela 1.

Em relação ao tratamento do efluente sintético, utilizou-se como tensoativo o sabão base em 5 concentrações diferentes: 300, 350, 400, 450 e 500 ppm. De antemão, macerou-se o sabão base até ele virar pó. Em seguida, adicionou-se aos poucos a massa correspondente do surfactante, de acordo com a concentração proposta, no efluente sob agitação durante 15 min. Após a estabilização dos flocos, submeteu-se então a solução com os flocos formados a um processo de filtração a vácuo, de forma a obter o filtrado para as próximas etapas.

Quanto ao tratamento, parâmetros importantes foram mensurados de forma a identificar sua eficiência. O percentual de remoção dos metais foi realizado no Espectrofotômetro de Absorção Atômica SpectrAA-20 plus, da VARIAN, e o percentual de remoção de óleo no Infracal – TOG/TPH HATR-T, da Wilks Enterprise Corporation.

## 2.2 Seleção da cultura

A cultura escolhida para desenvolvimento deste trabalho foi o alface (*Lactuca sativa*). Essa escolha baseia-se no fato de que ela representa uma cultura bioacumuladora, apresentando porte baixo e precoce, além de ciclos rápidos de germinação. As sementes de alface são da variedade Grand Rapids TBR, da marca Feltrim Sementes, obtidas comercialmente.

## 2.3 Germinação

Para os testes de germinação de ambas as culturas, seguiu-se as recomendações de Brasil [2009]. Os tratamentos, organizados em esquema fatorial 1x8, consistiram na combinação de uma espécie (*Lactuca sativa*) e sete efluentes utilizados na irrigação (água destilada, efluente sintético e efluente sintético tratado a concentrações de 300, 350, 400, 450, 500).

Utilizou-se 200 sementes por lote, divididas em 4 repetições de 50, sendo utilizados 7 lotes. Foram usadas, como unidades experimentais, caixas de acrílico transparente tipo gerbox (11x11x3,5 cm), lavadas e borrifadas com álcool 70% (v/v) e secas ao ar sobre bancada, em temperatura ambiente. Papel germitest foi utilizado como substrato, sendo envolvidos em folhas de alumínio flexível e acondicionados em estufa a 105 °C durante 24 horas antes do início das germinações.

Para consecução de cada repetição, cada parcela foi constituída de uma caixa gerbox contendo 50 sementes. As sementes foram distribuídas uniformemente dentro das caixas gerbox, dispendo-as sobre duas folhas de papel germitest umedecidas com o efluente equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Após a distribuição das sementes, a caixa foi fechada e envolvida por um saco para reter a umidade. Todas as parcelas foram mantidas dentro de germinadores tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand), como mostrado na Figura 1, regulados para regime de temperatura constante de 20 °C.



Figura 1: Incubadora refrigerada B.O.D.  
(Biochemical Oxygen Demand)

Os parâmetros avaliados nessa etapa da pesquisa foram: Contagem das sementes germinadas, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação.

A contagem das sementes germinadas foi realizada diariamente, cujo critério de germinação adotado foi a protusão da radícula. Já o teste de primeira contagem de germinação, também obtida no teste de germinação, ocorreu no quarto dia após a instalação do teste [BRASIL, 2009]. O índice de velocidade de germinação (IVG) foi obtido segundo a Equação 1 proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad [1]$$

Onde:  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_n$  representam o número de plântulas germinadas na primeira, segunda, até a última contagem e  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_n$  denotam o número de dias desde a primeira, segunda, até a última contagem. Por se tratar de um índice, não se usa nenhuma unidade.

#### 2.4 Planejamento e procedimento estatístico

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, realizando-se a análise de



## **II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

variância, além da comparação das médias  
pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**[www.conepetro.com.](http://www.conepetro.com.br)**

**br**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Remoção do óleo e metais

A Figura 2 mostra as curvas de calibração obtidas para análise de cálcio e magnésio no Espectrofotômetro de Absorção

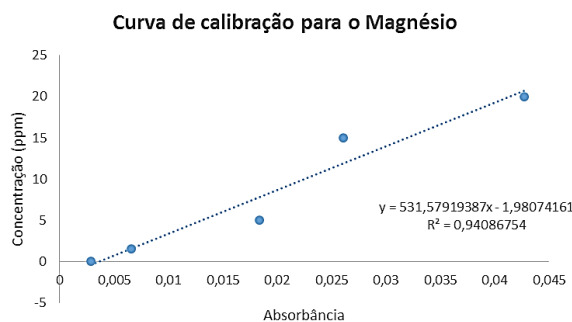
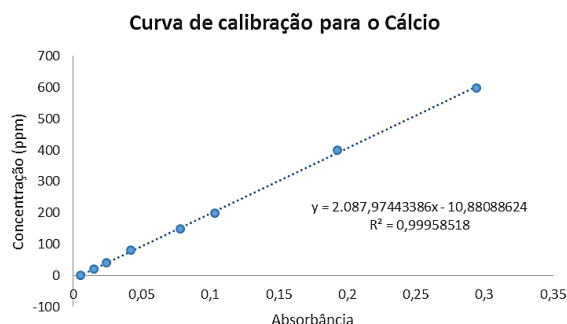


Figura 2: Curvas de calibração para o Cálcio e Magnésio

A partir das curvas de calibração, foi possível obter as concentrações finais de cálcio e magnésio após os tratamentos com 5 concentrações diferentes de sabão base (300, 350, 400, 450 e 500 ppm). Os resultados podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2: Concentração de Cálcio e Magnésio após os tratamentos

Sabão base	Concentração (ppm)	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
0	143,21	32,50
300	121,50	28,46
350	115,23	32,19
400	108,55	29,85
450	100,20	29,32
500	98,53	32,50

Analisando a Tabela 2, é possível perceber que à medida em que se aumenta a quantidade de tensoativo na solução, maior

Atômica. O potássio não foi analisado pelo fato do mesmo não possuir afinidade com o tensoativo escolhido, uma vez que este tem uma afinidade maior por metais bivalentes. Logo, a concentração de potássio é a mesma antes e depois do tratamento.

será a remoção de cálcio, podendo alcançar um percentual de remoção superior a 30%. Entretanto, tal comportamento não pode ser observado no magnésio, uma vez que a concentração desse metal é praticamente constante para quaisquer concentrações de tensoativo utilizadas. Isso pode ser justificado pela disponibilidade do cálcio ser maior em solução que o magnésio (121,24 ppm de Cálcio e 34,79 ppm de Magnésio).

O percentual de remoção de óleo do efluente proposto, após submetido aos tratamentos com sabão base a diferentes concentrações, apresentou valores máximos de 99%.

### 3.2 Germinação

No teste de germinação, foram avaliados três parâmetros: Teste de germinação, primeira contagem do teste de germinação e índice de velocidade de

germinação. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), como mostrado na Tabela 3 e a média dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3: Análise de Variância

FV	GL	QM		
		G	PCG	IVG
Concentração	6	8	6,24	54,26*
Resíduo	21	4,95	5,47	12,18
Média		98	97,64	38,22
Coef. de variação (%)		2,22	2,34	3,49

\* Significativo a 5% pelo teste F

Por meio da análise de variância (Tabela 3), observou-se que a médias das germinações e primeira contagem do teste de germinação foram de, respectivamente, 98% e 97,64%. Não houve diferença significativa para os 7 lotes testados nesses dois parâmetros estudados. Porém observou-se diferença entre os lotes em relação ao índice de velocidade de germinação, cuja média entre os lotes foi de 38,22. Verifica-se ainda que os coeficientes de variação apresentaram valores abaixo de 10%, implicando assim numa baixa dispersão dos dados.

Os resultados do teste de germinação podem ser observados na Figura 3. Todos os lotes obtiveram valores semelhantes, variando de 96% a 99,5%. Médias sem letras, representada como rótulo de dados acima de cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

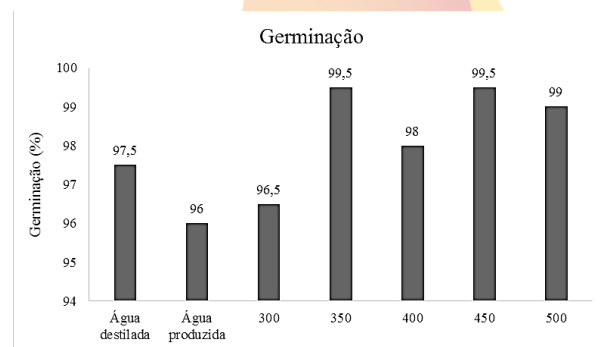


Figura 3: Médias do teste de germinação submetidos ao teste de Tukey a 5%.

Na primeira contagem do teste de germinação (Figura 4), os melhores resultados foram alcançados para os lotes que utilizaram o efluente sintético tratado com 350 ppm e 450 ppm de sabão base, respectivamente, 99,5% e 99%, não diferindo significativamente entre si. O pior resultado foi observado para o lote que usou o efluente sintético sem nenhum tratamento durante a germinação.



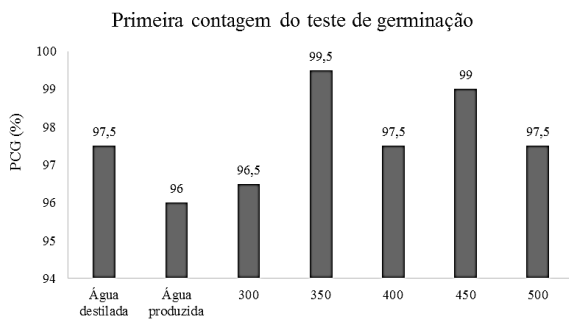


Figura 4: Médias da primeira contagem do teste de germinação submetidos ao teste de Tukey a 5%.

Para o índice de velocidade de germinação, de acordo com a Figura 5, o melhor resultado obtido foi do lote que utilizou água destilada durante as germinações, alcançando um valor de 45,52. Em relação aos outros lotes, o IVG médio obtido foi de 37. Dessa forma, houve diferenças significativas entre as médias a 5% pelo teste de Tukey.

Tal comportamento ser justificado pelo aumento da concentração de macronutrientes (cálcio, magnésio e potássio) no efluente proposto, causando assim um estresse salino no início das germinações e, assim, retardando o desenvolvimento inicial das sementes.

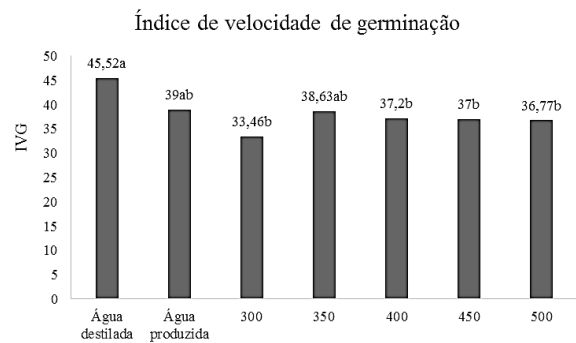


Figura 5: Médias do índice de velocidade de germinação submetidos ao teste de Tukey a 5%.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram concluir que não houve diferenças significativas na germinação da *Lactuca sativa* ao utilizar um efluente sintético (que simula uma água de produção), sendo o mesmo resultado alcançado para a primeira contagem do teste de germinação. As principais diferenças encontradas ocorreram no índice de velocidade de germinação, podendo ser justificado pelo aumento da salinidade na água.

Dessa maneira, o efluente sintético proposto pode ser utilizado na germinação de sementes de alface. Assim, estudos futuros são necessários para descobrir a influência da água produzida *in natura* tratada na fase da germinação e posterior desenvolvimento da planta.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHU, S.; MAJUMDAR, A. **Opportunities and challenges for a sustainable energy future.** Nature, v. 488, p. 294–303, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

DAVIDSON, D. J.; ANDREWS, J.; PAULY, D., 2014. **The effort factor: evaluating the increasing marginal impact of resource extraction over time.** Glob. Environ. Chang., v. 25, p. 63–68, 2014.

FAKHRU'L-RAZI, A.; ALIREZA, P.; LUQMAN, C. A.; DAYANG, R. A. B.; SAYED, S. M.; ZURINA, Z. A. **Review of technologies for oil and gas produced water treatment.** J. Hazard. Mater. V. 170, p. 530–551, 2009.

FIGUEIREDO, K. S. L.; OLIVEIRA, N. B. G.; LUZ, M. S. L. **Avaliação da água produzida em um campo de petróleo da**

**Bacia Potiguar para fins de irrigação.** In: 37º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2014.

MAGUIRE, J. D. **Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** Crop Science, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

PINHEIRO, R.; TRAVALLONI, A. M.; MELO JÚNIOR, G.; CRISÓSTOMO, L. A.; AQUINO, O.; ORLANDO, A. E. **IBP 1010\_14 Projeto piloto de irrigação com água produzida no Campo de Fazenda Belém.** In: Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2014.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 2004.

VEIL, J.; PUDER, M. G.; ELCOCK, D.; REDWEIK, R. J. J. **A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas and Coal Bed Methane,** [http://www.netl.doe.gov/publications/oil\\_pubs/prodwaterpaper.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/oil_pubs/prodwaterpaper.pdf), 2004

VEIL, J. A. **Produced water management options and technologies.** Produced Water, Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies, p. 537–572, 2011.