

## ***Eletrofloculação seguido pela adição de moringa oleífera para o tratamento de efluentes de lagoa de vinhaça***

O setor sucroalcooleiro é responsável pela geração de uma grande quantidade do efluente líquido denominado de vinhaça, que possui alto poder polidor. Diante disso, o objetivo geral desse trabalho consiste em utilizar a técnica de eletrofloculação em conjunto com a utilização das sementes de Moringa oleífera no tratamento de efluentes proveniente de lagoas de vinhaça. Foram utilizados como parâmetros para avaliação da eficiência do processo os valores de turbidez, COT e DBO5. A etapa de eletrofloculação apresentou uma redução de 72% de COT, 36% de DBO5 e 92% de turbidez. Na etapa onde foram adicionadas diferentes quantidades de pó das sementes de M. oleífera, a melhor condição de operação foi com a adição de 0,5 g.L-1 do pó das sementes de M. oleífera desengordurada, com eficiência de redução de 70 % DBO5 e 81% na turbidez. No entanto para o parâmetro COT nenhuma amostra apresentou resultados satisfatórios, devido ao incremento de matéria orgânica pela adição das sementes de M. oleífera no efluente. Ao avaliar a eficiência geral do processo (eletrofloculação aliada com a utilização das sementes) verificou-se para os parâmetros avaliados COT, DBO5 e turbidez uma redução significativa de 38%, 80% e 90% respectivamente. Conclui-se que a utilização da técnica de eletrofloculação aliada à utilização das sementes de M. oleífera desengordurada é uma alternativa limpa e com grande potencial para o tratamento de efluentes de vinhaça.

**Palavras-chave:** Eletrofloculação; Biopolímeros; Moringa oleífera; Vinhaça.

## ***Electroflocculation followed by the addition of moringa oleifera for the treatment of vinasse pond effluents***

The sugar and alcohol sector is responsible for generating a large amount of liquid effluent called vinasse, which has a high polishing power. Therefore, the general objective of this work is to use the electroflocculation technique in conjunction with the use of Moringa oleifera seeds in the treatment of effluents from vinasse ponds. As parameters to evaluate the efficiency of the process, the values of turbidity, TOC and DBO5 were used. The electroflocculation step showed a 72% reduction in TOC, 36% in BOD5 and 92% in turbidity. In the stage where different amounts of powder of M. oleifera seeds were added, the best operating condition was with the addition of 0.5 g.L-1 of the defatted M. oleifera seed powder, with a 70% reduction efficiency DBO5 and 81% in turbidity. However, for the COT parameter, no sample presented satisfactory results, due to the increase in organic matter by adding M. oleifera seeds in the effluent. When evaluating the overall efficiency of the process (electroflocculation combined with the use of seeds), a significant reduction of 38%, 80% and 90%, respectively, was observed for the parameters evaluated COT, DBO5 and turbidity. It is concluded that the use of the electroflocculation technique combined with the use of defatted M. oleifera seeds is a clean alternative with great potential for the treatment of vinasse effluents.


**Keywords:** Electroflocculation; Biopolymers; Oil moringa; Stillage.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Received: **05/10/2020**

Approved: **26/11/2020**

**Jean Paulo Silva Natal**   
Universidade Cesumar, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6465645151522534>  
<http://orcid.org/0000-0001-6021-6442>  
[jeanpsnatal@gmail.com](mailto:jeanpsnatal@gmail.com)

**Adriano Valim Reis**  
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8346176816805759>  
[avreis77@gmail.com](mailto:avreis77@gmail.com)

**Marcelo Teixeira Silva**   
Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3090845425253198>  
<http://orcid.org/0000-0002-6771-3254>  
[teixeirasilvamarcelo82@gmail.com](mailto:teixeirasilvamarcelo82@gmail.com)

**Luiz Felipe Machado Velho**   
Universidade Cesumar, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3900847104121482>  
<http://orcid.org/0000-0001-8111-4955>  
[luiz.velho@unicesumar.edu.br](mailto:luiz.velho@unicesumar.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0047

### **Referencing this:**

NATAL, J. P. S.; REIS, A. V.; SILVA, M. T.; VELHO, L. F. M.  
Eletrofloculação seguido pela adição de moringa oleífera para o tratamento de efluentes de lagoa de vinhaça. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.6, p.583-599, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0047>

## INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais decorrentes do processo industrial de etanol e açúcar são significativos em virtude do grande consumo de água utilizada no processo e elevado volume de efluentes produzidos. Silva et al. (2006), classificam a vinhaça como o líquido residual do processo da produção de etanol e açúcar, rico em íons (principalmente sódio e potássio) os quais podem ser nocivos ao meio ambiente. Para cada litro de etanol produzido são gerados aproximadamente treze litros de vinhaça (EMBRAPA, 2015). Ramjeawon (2000), aponta o setor de alimentos como líder no consumo de água e geração de efluentes por unidade de produção.

A utilização da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes industriais tem se mostrando eficaz e promissora, resultados positivos têm sido alcançados na clarificação de biodiesel, remoção de corantes da indústria têxtil, remoção de metais pesados entre outros. Cerqueira et al. (2009), descrevem que a técnica de eletrofloculação pode contribuir para o tratamento de efluentes líquidos uma vez que está remove materiais tóxicos e possibilita que o efluente tratado retorne ao meio ambiente dentro das especificações da legislação ambiental vigente.

Os biopolímeros são materiais biodegradáveis que tem apresentado resultados promissores na remoção de matéria orgânica natural de águas contaminadas. Além disso, consiste num material abundante e de fácil aplicação (CARVALHO, 2006). Dentre os biopolímeros disponíveis comercialmente destacam-se a pectina, quitina, quitosana, celulose, goma arábica e outros. São materiais obtidos a partir de certas frutas, legumes, madeira, casca de crustáceos, casulo de bicho da seda, dentre outros (HORN, 2008; HENNIG, 2009).

As sementes da *M. oleífera* apresentam em sua composição biopolímeros e têm sido empregadas no tratamento de água e efluentes. Os biopolímeros presentes nas sementes de *M. oleífera* possuem capacidade de coagular e flocular resíduos presentes em água, sendo assim muito utilizada no tratamento e clarificação de efluentes líquidos industriais (POZZOBON et al., 2015).

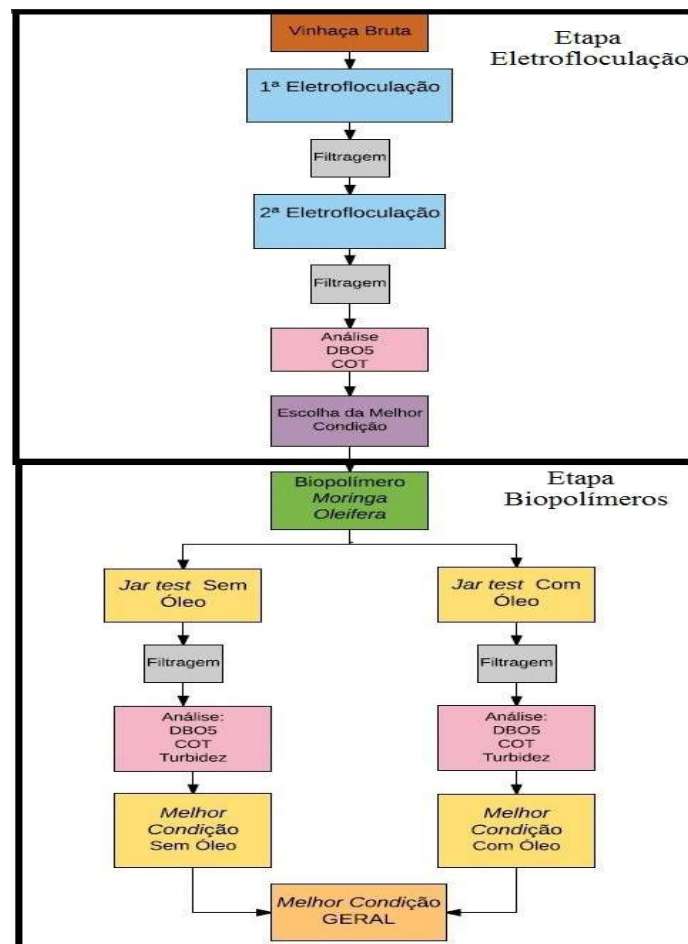
Este trabalho consiste em tratar efluentes líquidos de lagoas de vinhaça por meio da técnica de eletrofloculação seguida de adições de sementes de *M. oleífera*. Por ser um efluente gerado em quantidade significativa no Noroeste do Estado do Paraná a vinhaça foi o efluente escolhido para ser tratado e analisado neste estudo. As novas fontes de energias, tecnologias limpas e o consumo consciente, têm sido as principais ferramentas utilizadas na conciliação do desenvolvimento econômico e social aliadas com a preservação de recursos proveniente do meio ambiente (MELETI et al., 2012).

A vinhaça é um efluente líquido que é disposto diretamente, quase que diariamente, no solo e causa uma série de impactos negativos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2015). Diante disso, o desenvolvimento de técnicas ou 'processo limpos' de tratamento de efluentes líquidos são atrativos e necessários dentro do atual cenário sócio-econômico-ambiental. A técnica de eletrofloculação aliada com a utilização de materiais ricos em biopolímeros (catiônicos e aniônicos) surge como uma técnica promissora e com alto potencial de aplicação se comparada aos processos convencionais de tratamentos de efluentes. Considerando o alto volume da vinhaça produzida atualmente pelo setor sucroalcooleiro e o impacto ambiental causado por este

efluente torna-se justificável este estudo o qual propõe o emprego de técnicas limpas visando melhorar a qualidade do efluente.

## METODOLOGIA

Para facilitar a compreensão da sequência dos processos estudados a Figura 5 apresenta as etapas do processo de eletrofloculação seguida pela aplicação da utilização dos biopolímeros obtidos através das sementes de *M. oleifera*.



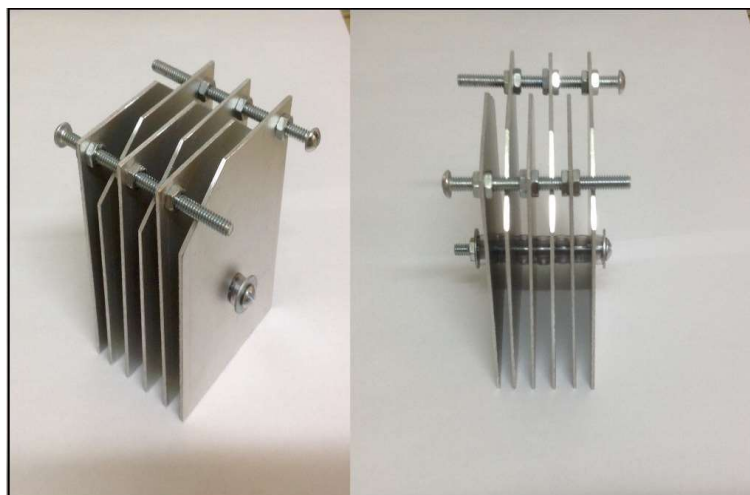
**Figura 1:** Organograma geral utilizado para o desenvolvimento do trabalho experimental.

O efluente estudado foi coletado no ponto de saída de uma lagoa de tratamento de vinhaça em uma unidade de produção sucroalcooleira, localizada na cidade de Maringá/PR. O efluente coletado foi conservado a uma temperatura de aproximadamente 10°C para não afetar as características físico-químicas e biológicas do mesmo.

A eletrofloculação foi realizada em ensaios de batelada no laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária da Unicesumar. Com o auxílio de uma fonte de energia modelo PHYWE *Power Supply Universal* com variação de voltagem (0 a 15 V) e amperagem (0 a 6A). O reator utilizado foi um béquer de vidro com capacidade máxima de 1L, no qual foi inserido o sistema de eletrodos.

O conjunto de eletrodos foi construído com seis placas de alumínio cada uma medindo 10 cm de altura, 7 cm de largura e 0,3 cm de espessura, agrupadas paralelamente com uma distância de 0,5 cm entre

si e presas por um parafuso passante medindo 8 cm de comprimento e 0,4 cm de diâmetro com arruelas de borracha medindo 0,5 cm de espessura com a função de isolar as placas. Conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2:** Eletrodo experimental em alumínio.

Com o intuito de otimizar o número de ensaios foi realizado um planejamento fatorial que tem a finalidade de obter as melhores condições operacionais do sistema (BRASIL et al., 2007). Button (2016), afirma que a metodologia de planejamento experimental se torna essencial no aprimoramento e desenvolvimento de processos, pois reduz o tempo de pesquisa, os custos envolvidos no processo e a variabilidade dos resultados.

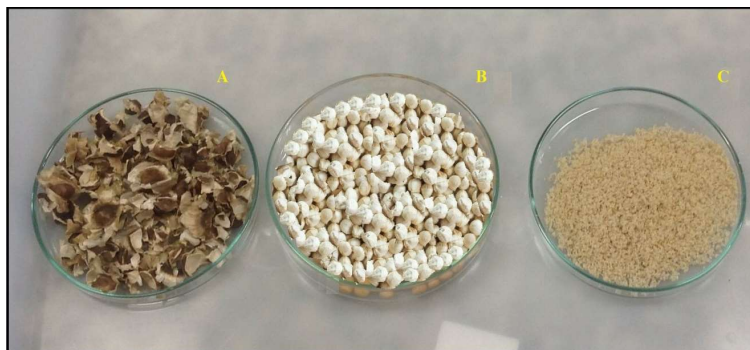
Para o estudo foi determinado uma matriz de planejamento fatorial do tipo  $3^2$  com os três níveis e dois fatores, sendo eles: intensidade de corrente elétrica (níveis 1, 3 e 5A) e o tempo de reação (30, 60 e 90 minutos). Desta forma foram utilizados 9 béqueres com 800 mL de vinhaça *in natura* cada. Na realização de cada ensaio foi mantida a temperatura ambiente e agitação constante com o auxílio de um agitador magnético. Após a realização de cada experimento as amostras foram filtradas em papel qualitativo e a polaridade do sistema invertida a fim de evitar o desgaste excessivo das placas e a formação de filmes de passivação que pudessem influenciar o desempenho do sistema.

Foram analisadas as concentrações de carbono orgânico total (COT) seguindo a metodologia e demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sup>5</sup>) através da metodologia (Standard Method 5210 B) de cada amostra após o tratamento e comparadas com a vinhaça *in natura*. Com os dados obtidos construiu-se as superfícies de respostas para os parâmetros Amperagem e tempo de reação com o auxílio do programa *Statistica* <sup>R</sup> 6.0. Desta forma escolheu-se a melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação para então iniciar a etapa de utilização dos biopolímeros da *M. oleífera*.

Para o preparo do coagulante natural foram utilizadas sementes de *M. oleífera*, obtidas em uma propriedade rural localizada no Município de Mandaguçu - PR. Foi avaliada a eficiência de coagulação da *M. oleífera* com e sem óleo como tratamento secundário ao processo de eletrofloculação do efluente de vinhaça. As sementes foram descascadas e secas em estufa durante 6 horas à 65°C. Concluída a secagem as sementes foram colocadas em um dissecador a vácuo por um período de duas horas. Finalizada essa etapa as sementes foram trituradas em um moinho de facas até formar um pó fino onde foi utilizado um conjunto

de peneiras para obtenção de grânulos com diâmetro inferior a 0,5mm. Na Figura 3, tem-se da esquerda para direita as sementes de *M. oleifera* com cascas, descascadas e moídas.

Finalizada essa etapa as sementes foram trituradas em um moinho de facas até formar um pó fino onde foi utilizado um conjunto de peneiras para obtenção de grânulos com diâmetro inferior a 0,5mm. Na Figura 3, tem-se da esquerda para direita as sementes de *M. oleifera* com cascas, descascadas e moídas.



**Figura 3:** Sementes de *Moringa oleifera* (A) com cascas, (B) descascadas e (C) moídas.

Para o estudo foi estabelecido a análise dos efeitos coagulantes do pó das sementes de *M. oleifera* *in natura* sob as concentrações (0,5 g.L<sup>-1</sup>, 1 g.L<sup>-1</sup>, 2 g.L<sup>-1</sup>, 4 g.L<sup>-1</sup>, 8g.L<sup>-1</sup>). E, também, os efeitos coagulantes do pó das sementes após a extração do óleo presente nas mesmas, respeitando as mesmas concentrações (0,5 g.L<sup>-1</sup>, 1 g.L<sup>-1</sup>, 2 g.L<sup>-1</sup>, 4 g.L<sup>-1</sup>, 8g.L<sup>-1</sup>).

Para a extração do óleo das sementes de *M. oleifera* foi utilizada a técnica de extração por *Soxhlet* que é comumente empregada na determinação de óleos, graxas e gorduras. Após o processo de extração do óleo as sementes foram secas em uma estufa (De Leo 665) durante um período de 6 horas à 65°C. No final desta etapa obteve-se o pó da *Moringa* sem o óleo.

Após o preparo do pó da *Moringa* e a separação das amostras (com e sem óleo), ocorreram os ensaios de coagulação, utilizando o equipamento *Jar Test* modelo (QUIMIS Q305F). Para os ensaios utilizou-se 10 béquers contendo cada um 900 mL de efluente no qual foram adicionadas as quantidades preestabelecidas do coagulante *M. oleifera*. A velocidade utilizada no *Jar Test* tanto para mistura rápida quanto para mistura lenta foram fixadas em respectivamente: 95 rpm e 35 rpm.

Em relação aos valores do tempo de mistura rápida, mistura lenta e de sedimentação foram baseados no estudo desenvolvido por Ströher et al. (2012), onde padronizaram os tempos de mistura rápida, mistura lenta e sedimentação em 3, 30 e 20 minutos.

Ao final de cada ensaio as amostras foram filtradas em papel qualitativo a fim de retirar o material coagulado e em seguida encaminhadas para realização das análises de COT, DBO<sup>5</sup> e turbidez a fim de avaliar a eficiência do tratamento com a utilização de *M. oleifera*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Redução COT no processo de Eletrofloculação

Foram avaliados os fatores intensidade de corrente elétrica (níveis 1, 3 e 5A) e o tempo de

eletrofloculação (30, 60 e 90 min) na redução do COT e da DBO<sub>5</sub>. Na Tabela 1 tem-se a matriz planejamento do planejamento fatorial 3<sup>2</sup> e os resultados obtidos relativos à redução do COT obtido da vinhaça *in natura*.

**Tabela 1:** Matriz do planejamento fatorial 3<sup>2</sup> e os percentuais de redução do COT obtidos da vinhaça *in natura*.

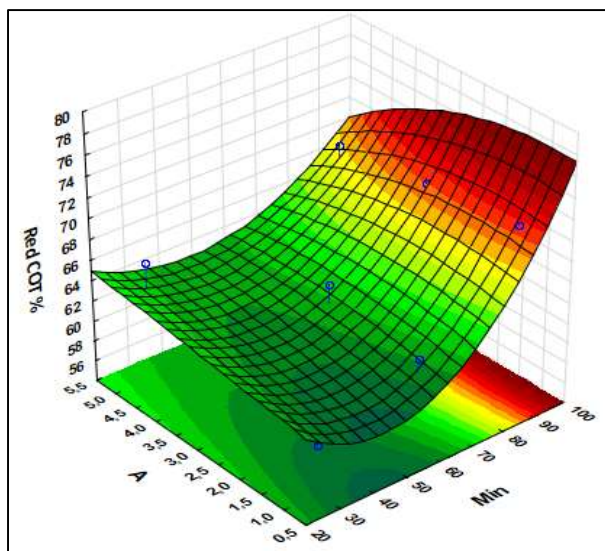
Análises	Fatores		Respostas
	Tempo (min)	Amperes (A)	Red COT %
01	30	1	58,82
02	30	3	61,76
03	30	5	65,69
04	60	1	62,75
05	60	3	64,71
06	60	5	59,80
07	90	1	71,57
08	90	3	70,60
09	90	5	69,61

Foram realizadas análises estatísticas para avaliar as influências variáveis independentes tempo de eletrofloculação (Min) e intensidade de corrente elétrica (A) na redução do COT%. Admitiu-se um nível de significância de 5%, sendo significativos os fatores e suas interações cuja o p-valor < 0,05. Na Tabela 2 tem-se os dados da análise de variância (ANOVA). Ficou evidente, com base no p-valor, que o tempo de eletrofloculação é o parâmetro mais significativo para a redução do COT% da vinhaça. Já a amperagem aplicada foi significância somente quando associada ao tempo de eletrofloculação.

**Tabela 2:** Resultados da ANOVA referentes às análises de Redução COT%. Os termos t e A referem-se aos fatores tempo de eletrofloculação e amperagem no eletrodo imerso na vinhaça *in natura*.

Parâmetros	SQ	GL	MQ	Valor de F	Valor de P
T	108,3445	1	108,3445	122,8396	0,0015
t <sup>2</sup>	30,7295	1	30,7295	34,8407	0,0097
t x A	19,4970	1	19,4970	22,1055	0,0182
t <sup>2</sup> x A	9,7068	1	9,7068	11,0054	0,0451
t <sup>2</sup> x A <sup>2</sup>	6,0154	1	6,0154	6,8202	0,0795
Erro puro	2,6460	3	0,8820		
Totais	176,9394	8			

O ajuste da superfície aos dados experimentais foi enfatizado pelos valores dos coeficientes de determinação R<sup>2</sup> e determinação ajustada R<sup>2</sup><sub>adj</sub> cujos valores foram de 0,9850 e 0,9601 respectivamente. Na Figura 4 observou-se uma redução significativa no COT% da vinhaça nos maiores tempos de eletrofloculação. Reduções do COT próximos à 70% foram alcançadas nas eletrofloculações de 90min.



**Figura 4:** Superfície de resposta referente à variação da Red COT % em função da intensidade de corrente elétrica (A) e do tempo de eletrofloculação (min).

A Equação 01 refere-se o modelo matemático gerado a partir do planejamento fatorial  $3^2$  sendo este capaz de estimar (com  $R^2_{adj} = 96,01\%$ ) a redução do COT% para a vinhaça.

$$Red\ COT\% = 69,6 - 0,4901t + 0,0056t^2 + 0,0363tA - 0,00029t^2A - 0,000037t^2A^2 \quad (01)$$

Pode-se observar a partir da Tabela 2 e Figura 4 que no Ensaio 07 (1A e 90 min) houve uma maior eficiência na redução de COT atingindo 71,57%. Na Tabela 3 tem-se comparativos da redução COT% da vinhaça deste estudo e de estudos desenvolvidos pelos autores Davila et al. (2011), Yavuz (2007) e Cardona et al. (2013).

**Tabela 3:** Comparativo sobre a redução do COT% da vinhaça através da técnica de eletrofloculação desenvolvidas por diferentes pesquisadores.

Autores	Tratamento	Distância entre eletrodos (mm)	Redução COT (%)
Presente Trabalho (1 A. e 90 Minutos)	Vinhaça	5 mm	71,9%
Davila et al. (2011)	Vinhaça	10 mm	25%
Yavuz (2007)	Vinhaça	3mm	88,7%
Cardona et al. (2013)	Vinhaça	3mm	88%

Na Tabela 3 os resultados de Yavuz (2007) e Cardona et al. (2013) foram próximos dos apresentados neste trabalho. Porém, o resultado de Davila et al. (2011) encontrou-se distante dos demais e está discrepância de valor teve relação com a distância dos eletrodos empregado durante a eletrofloculação. De acordo com Crespilho et al. (2004) em seus estudos, a distância entre os eletrodos influencia no desempenho do sistema, quanto maior a distância entre os eletrodos maior a carga necessária para eficiência do processo.

### Redução DBO<sub>5</sub> no processo de Eletrofloculação

Na Tabela 4 têm-se os dados referentes à redução da DBO<sub>5</sub>, através dos ensaios realizados a partir do planejamento fatorial  $3^2$ .

**Tabela 4:** Matriz do planejamento fatorial  $3^2$  e os percentuais de redução DBO<sub>5</sub> obtidos a partir da vinhaça in natura.

Análises	Fatores		Respostas
	Tempo (min)	Amperes (A)	Red DBO <sub>5</sub> %
01	30	1	30,30



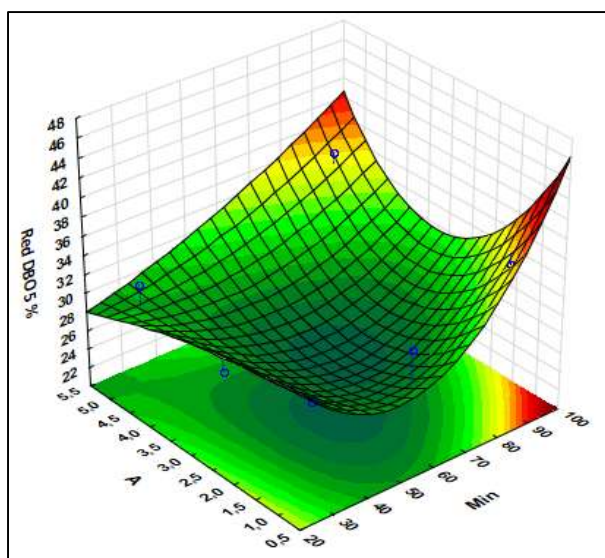
02	30	3	27,38
03	30	5	30,92
04	60	1	30,93
05	60	3	24,48
06	60	5	28,20
07	90	1	35,40
08	90	3	27,76
09	90	5	36,69

Foram realizadas as análises estatísticas relativas aos valores da redução da DBO<sub>5</sub> com um nível de significância de 5%, sendo significativos os fatores e as interações cujo p-valor < 0,05. Os dados da análise de variância (ANOVA) foram expressos na Tabela 5.

**Tabela 5:** Resultados da ANOVA relativos às análises de Red DBO<sub>5</sub>%. Os termos t e A referem-se aos fatores tempo de eletrofloculação e amperagem no eletrodo imerso na vinhaça in natura

Parâmetros	SQ	GL	MQ	Valor de F	Valor de P
T	21,0678	1	21,0678	147,9864	0,0012
t <sup>2</sup>	24,9970	1	24,9970	175,5858	0,0009
A <sup>2</sup>	61,1621	1	61,1621	429,6196	0,0002
t x A <sup>2</sup>	8,5241	1	8,5241	59,8760	0,0044
t <sup>2</sup> x A	4,5427	1	4,5427	31,9095	0,0109
Erro puro	0,4270	3	0,1423		
Totais	120,7210	8			

O ajuste da superfície aos dados experimentais foi enfatizado por meio dos valores dos coeficientes de determinação R<sup>2</sup> e determinação ajustada R<sup>2</sup><sub>adj</sub> cujos valores foram de 0,9964 e 0,9905 respectivamente. Verificou-se por base p-valor que os parâmetros t, t<sup>2</sup> e A<sup>2</sup> foram os termos mais significativos para a redução da DBO<sub>5</sub>. Na Figura 5 as maiores reduções da DBO<sub>5</sub> ocorreram com eletrofloculação de 90 min e nas amperagens de 1A e 5A. Neste caso, os ensaios 07 e 09 apresentaram os melhores resultados com 35,3 % e 36,6 % de remoção de DBO<sub>5</sub> respectivamente.



**Figura 5:** Superfície de resposta referente à variação da Red DBO<sub>5</sub> em função da intensidade de corrente elétrica (A) e do tempo de eletrofloculação (Min).

Considerou-se o Ensaio 07 o mais eficiente visto que este envolve um menor consumo energético uma vez que operou com uma amperagem menor do que o Ensaio 09. A Equação 02 refere-se o modelo matemático gerado a partir do planejamento fatorial 3<sup>2</sup> sendo este capaz de estimar (com R<sup>2</sup><sub>adj</sub> = 99,05%) a



redução do DBO<sub>5</sub> % para a vinhaça.

$$\text{Red DBO}_5\% = 45,64 - 0,7021t + 0,0076t^2 - 0,632A^2 + 0,02519tA^2 - 0,001240t^2A \quad (02)$$

Na Tabela 6 tem-se os resultados dos percentuais de redução da DBO<sub>5</sub> deste estudo e os relatados por Paz-Pino et al. (2014) e Guerreiro et al. (2016) para o tratamento de vinhaça via eletrofloculação.

**Tabela 6:** Comparativo relativo à redução da DBO<sub>5</sub> da vinhaça pela técnica de eletrofloculação.

Autores	Tratamento	Redução DBO <sub>5</sub> (%)
Presente Trabalho (1 A. e 90 Minutos)	Vinhaça	35
Paz-Pino et al. (2014)	Vinhaça	16
Guerreiro et al. (2016)	Vinhaça	27,9

Os valores de redução de DBO<sub>5</sub>% não foram muito expressivos, contudo como afirmam Paz-Pino et al. (2014) e Guerreiro et al. (2016), o tratamento por eletrofloculação quando combinado com outras formas de tratamento tendem a aumentar significativamente a eficiência de remoção. Paz-Pino et al. (2014) descrevem que o efluente de vinhaça após a etapa de eletrofloculação, se submetido a um processo de digestão anaeróbica a aumentar significativamente a redução de DBO<sub>5</sub>. Verificaram que a redução de 16 % (tratamento de eletrofloculação) passou para 83 % com a digestão anaeróbica.

Guerreiro et al. (2016) também apontam que o tratamento de eletrofloculação por si só não alcança grandes resultados na redução da DBO<sub>5</sub>, contudo, quando a eletrofloculação foi combinada com a técnica de oxidação *Fenton* ocorreu uma elevação na redução da DBO<sub>5</sub> de 16 % para 45,7%.

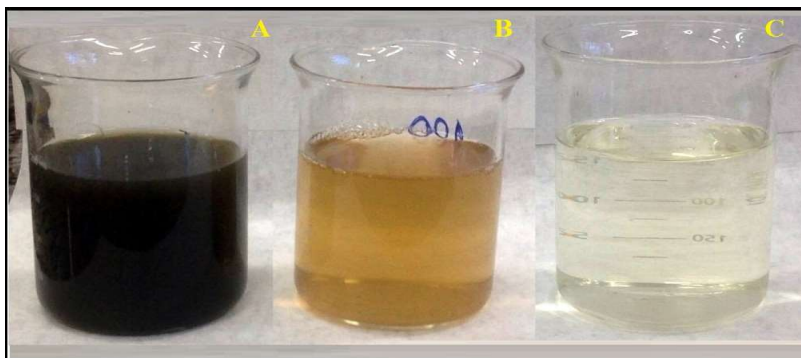
### Redução da turbidez no processo de eletrofloculação

Após a escolha da melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação (1 A. e 90 Min.), foi analisado a eficiência da redução de turbidez. A Tabela 7 demonstra esses valores, juntamente com os resultados relatados pelos autores Paz-Pino et al. (2014), Davila et al. (2016) e Zayas et al. (2007).

**Tabela 7:** Comparativo sobre a redução da turbidez da vinhaça através da técnica de eletrofloculação.

Autores	Tratamento	Redução Turbidez (%)
Presente Trabalho (1 A. e 90 Minutos)	Vinhaça	92,6
Paz-Pino et al (2014)	Vinhaça	99
Davila et al. (2016)	Vinhaça	89
Zayas et al. (2007)	Vinhaça	100

Verifica-se na Tabela 7 que os valores de redução de turbidez encontram-se todos acima de 89% de redução, isso indica que o processo de eletrofloculação da vinhaça é extremamente eficiente em relação ao parâmetro turbidez. A Figura 6 apresenta um comparativo visual entre a vinhaça *in natura* e a submetida a melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação (90 min. e 1 A). Onde apresentou uma redução de turbidez de 92,6%.



**Figura 6:** Comparativo: (A) vinhaça *in natura*, (B) primeira etapa eletrofloculação e (C) Segunda etapa eletrofloculação.

A Tabela 8 indica o percentual de redução de DBO<sub>5</sub>, COT e turbidez através da técnica de eletrofloculação. Comparando a vinhaça *in natura* e a melhor condição de operação (90 min. e 1 A) determinadas com base nas superfícies de respostas.

**Tabela 8:** Eficiência de redução de DBO<sub>5</sub>, COT e turbidez entre a vinhaça *in natura* e a melhor condição determinada no processo (90 min. e 1 A).

Parâmetro Avaliado	Vinhaça <i>in natura</i>	Melhor Condição (90 min. e 1 A)	Redução %
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	6.428 mg.L <sup>-1</sup>	4.187 mg.L <sup>-1</sup>	35%
COT (mg.L <sup>-1</sup> )	248,78 mg.L <sup>-1</sup>	70,73 mg.L <sup>-1</sup>	72%
Turbidez (NTU)	35,6 NTU	2,63NTU	92,6%

Como se pode observar na Tabela 8, na etapa de eletrofloculação com a escolha da melhor condição de operação do sistema (90 min. e 1 A) a redução de DBO<sub>5</sub>, COT e turbidez alcançaram respectivamente 35%, 72% e 92,6%.

#### Análise do COT com a adição de *M. oleifera*

Após a determinação da melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação (90 min e 1 A) foram realizadas as análises referentes à redução do carbono orgânico total com a adição de diferentes concentrações *M. oleifera* com e sem óleo. A tabela 9 apresenta um comparativo da concentração do COT com a adição do pó das sementes de *M. oleifera* com e sem óleo.

**Tabela 9:** Percentual de acréscimo do COT turbidez com o incremento de diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

Amostras	Concentração de sementes <i>M. oleifera</i> (g.L <sup>-1</sup> )	Concentração COT (mg.L <sup>-1</sup> )	Acréscimo COT (%)
Efluente ( 90 min 1 A).	_____	70,73	-----
Amostra. 01 (A)	0,5	112,2	+ 58,5%
Amostra. 02 (A)	1	129,3	+84%
Amostra. 03 (A)	2	187,8	+165,5%
Amostra. 04 (A)	4	229,3	+ 224 %
Amostra. 05 (A)	8	278,1	+293%
Amostra. 06 (B)	0,5	153,66	+112%
Amostra. 07 (B)	1	170,73	+140%
Amostra. 08 (B)	2	229,30	+224%
Amostra. 09 (B)	4	287,80	+305%
Amostra. 10 (B)	8	580,48	+720%

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo

A Figura 7 exemplifica melhor a concentração do carbono orgânico total com a adição de diferentes concentrações de *M. oleifera*.

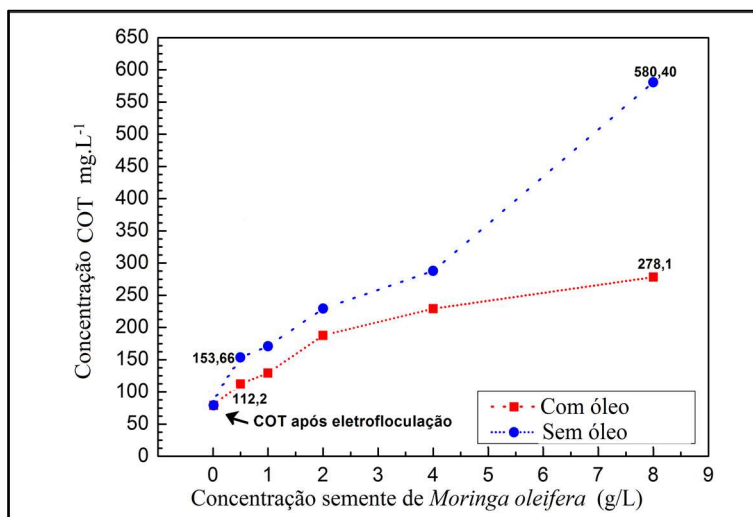


Figura 7: Comparativo da concentração do COT com o pó da Moringa com e sem óleo

Ao analisar a Tabela 8 nota-se que a quantidade de COT sofre uma redução com o processo de eletrofloculação, partindo de 248,78 mg.L<sup>-1</sup> com a *vinhaça in natura* e atingindo 70,73 mg.L<sup>-1</sup> com o processo de eletrofloculação. No entanto percebe-se na Figura 7 que a quantidade de COT aumenta com a adição do pó de *M. oleifera*, este aumento acompanha o incremento das diferentes concentrações do pó das sementes, este aumento na concentração de COT está intimamente ligado ao fato de que a *M. oleifera* é um coagulante natural e possui em sua composição elevadas concentrações de lipídios, proteínas, açúcares dentre outros elementos orgânicos que proporcionam uma maior concentração do carbono orgânico total (GALLÃO et al., 2006).

Desta forma, possivelmente se ocorresse uma nova etapa de eletrofloculação do efluente após a etapa de coagulação com *Moringa* o carbono orgânico total presente no efluente poderia ser retirado. Como o ocorrido na etapa de eletrofloculação onde os percentuais de remoção do COT atingiram 70% de eficiência.

### Análise da turbidez com a adição de *M. oleifera*

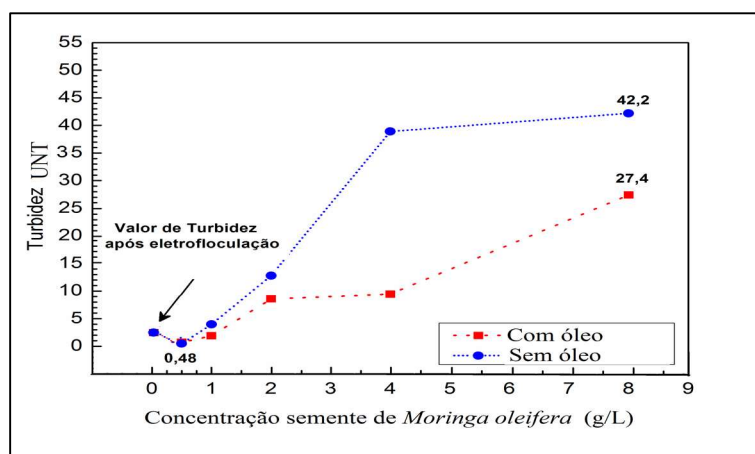
Na Tabela 10 tem-se os valores referentes a redução da turbidez avaliando a *vinhaça in natura*, após passar pela etapa de eletrofloculação e depois de receber as diferentes concentrações do pó da semente de *M. oleifera*.

Tabela 10: Percentual de remoção e acréscimo da turbidez com o incremento de diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

Amostras	Concentração de sementes <i>M. oleifera</i> (g.L <sup>-1</sup> )	Concentração Turbidez (NTU)	Acréscimo ou redução de Turbidez (%)
Efluente (90 min 1 A).	—	2,63	-----
Amostra. 01 (A)	0,5	0,72	-72,5
Amostra. 02 (A)	1	1,89	-28
Amostra. 03 (A)	2	8,58	+226
Amostra. 04 (A)	4	9,43	+ 299
Amostra. 05 (A)	8	27,4	+1061
Amostra. 06 (B)	0,5	0,48	-81
Amostra. 07 (B)	1	3,97	+50
Amostra. 08 (B)	2	12,8	+381
Amostra. 09 (B)	4	38,9	+1380
Amostra. 10 (B)	8	42,2	+1500

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo

A Figura 8 apresenta um comparativo visual sobre a influência da adição de diferentes concentrações de *M. oleifera* sobre o efluente, comparado com os valores iniciais e após a etapa de eletrofloculação.



**Figura 8:** Comparativo da concentração de turbidez com o pó da semente de *Moringa* com e sem óleo.

Analisando a Tabela 10 e a Figura 8 vê-se que os valores referentes à turbidez sofrem uma ligeira queda com a adição de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  do pó das sementes com e sem óleo. Contudo com a adição das demais concentrações do pó das sementes de *M. oleifera* a concentração de turbidez se eleva gradativamente.

Desta forma, tem-se uma noção de que apenas as amostras 01, 02 e 06 tiveram efeito na redução da turbidez, sendo que somente as amostras 01 e 06 reduziram a turbidez de maneira significativa com respectivamente 72,5 % e 81 % de redução. O aumento na turbidez está ligado ao fato de ter sido adicionado uma grande quantidade de material orgânico (Pó da semente de *Moringa*) no tratamento da vinhaça. Von Sperling (2014) afirma que a presença de material sólido em suspensão em efluentes leva ao aumento da turbidez diminuindo a passagem da luz.

Os resultados obtidos na redução de turbidez de efluentes de vinhaça com a utilização de *M. oleifera* são semelhantes aos desenvolvidos por Ströher et al. (2012) onde os autores estudaram os efeitos da aplicação de *M. oleifera* na redução de turbidez de efluentes de lavagem de jeans, os autores conseguiram uma eficiência de remoção de 91,1%. Santos et al. (2010) conseguiram atingir uma eficiência de remoção de 97 % com a aplicação de sementes de *Moringa* em efluentes de curtume.

Santiago et al. (2009) em seus estudos avaliaram diferentes coagulantes naturais, dentre eles a *M. oleifera*. Os autores obtiveram uma eficiência de 90% na remoção da turbidez presente no efluente de vinhaça.

Desta forma a aplicação do pó da semente de *M. oleifera* no tratamento de vinhaça mostrou-se uma alternativa eficiente na remoção de turbidez. Nota-se também que a amostra 01 com concentração de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  de *Moringa* com óleo e a amostra 06 com concentração de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  de *Moringa* sem óleo apresentaram índices elevados na redução de turbidez 72% e 81 %, respectivamente.

Sendo assim, a utilização do pó das sementes de *Moringa* após o processo de extração do óleo é uma alternativa viável no tratamento de efluentes de vinhaça.

## Análise da DBO<sub>5</sub> com a adição de *M. oleifera*

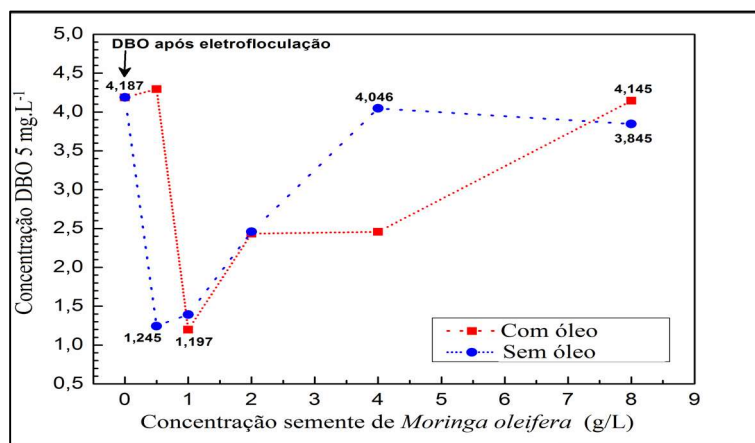
Como era esperado o pó das sementes de *M. oleifera* influenciou positivamente na redução da DBO<sub>5</sub> na maioria das amostras, tanto nas concentrações com óleo quanto nas concentrações de *Moringa* sem óleo. A Tabela 11 retrata a quantidade de DBO<sub>5</sub> presente na vinhaça *in natura*, na vinhaça submetida a melhor condição de eletrofloculação (90 min e 1 A) e na vinhaça após receber as diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

**Tabela 11:** Porcentagem de redução da DBO<sub>5</sub> com o incremento de diferentes concentrações de *Moringa oleifera* com e sem óleo.

Amostras	Concentração de sementes <i>M. oleifera</i> (g.L <sup>-1</sup> )	Concentração DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Acréscimo ou redução da DBO <sub>5</sub> (%)
Efluente (90 min 1 A).		4187	-----
Amostra. 01 (A)	0,5	4293	+2,5
Amostra. 02 (A)	1	1197	-71,5
Amostra. 03 (A)	2	2432	-42
Amostra. 04 (A)	4	2457	- 41,5
Amostra. 05 (A)	8	4145	-1
Amostra. 06 (B)	0,5	1245	-70
Amostra. 07 (B)	1	1394	-66,7
Amostra. 08 (B)	2	2458	-41
Amostra. 09 (B)	4	4046	-3,4
Amostra. 10 (B)	8	3845	-8

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo

A Figura 9 demonstra de maneira mais clara a redução da DBO<sub>5</sub> partindo da vinhaça *in natura*, sendo submetida a melhor condição de eletrofloculação e, posteriormente, com a utilização do pó de *M. oleifera* com e sem óleo.



**Figura 9:** Comparativo da concentração de DBO<sub>5</sub> com a adição do pó da semente de *Moringa* com e sem óleo.

Analisando a Tabela 11 e a Figura 9 nota-se que a concentração de DBO<sub>5</sub> presente no efluente de vinhaça *in natura* reduz de 6428 mg.L<sup>-1</sup> para 4187 mg.L<sup>-1</sup> através do emprego da técnica de eletrofloculação. No entanto, foi com a utilização do pó das sementes de *M. oleifera* que a redução se demonstrou eficiente.

Percebe-se que a utilização de sementes de *M. oleifera* na redução da DBO<sub>5</sub> obtivera resultados significativos, exceto para a amostra 01 que apresentou uma DBO<sub>5</sub> de 4293 mg.L<sup>-1</sup> após a adição de 0,5 g.L<sup>-1</sup> de *Moringa* com óleo, valor esse superior ao inicial. Contudo as demais amostras reduziram a concentração de DBO<sub>5</sub> com a adição do pó das sementes de *M. Oleifera*.

Verifica-se na Tabela 11 que a amostra 01 foi a única que aumentou a concentração de  $DBO_5$  atingindo  $4293 \text{ mg.L}^{-1}$  um acréscimo de 3,5 %, já as amostras que atingiram melhores resultados de remoção foram as amostras: 02, 06 e 07 todas com índices de remoção acima dos 60 %.

Alguns autores utilizaram sementes de *M. oleifera* no tratamento de vinhaça in natura e obtiveram uma redução de 28 % na DQO sob uma concentração de 250 ml de coagulante por litro de vinhaça. Em alguns estudos com efluentes sanitários apontou que com a utilização de  $7000 \text{ mg.L}^{-1}$  de sementes de *M. oleifera* aliado a  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  de um composto a base de pó de quiabo foi possível reduzir em 84,5 % a  $DBO_5$  do efluente.

As amostras 02 e 06 foram as que produziram os melhores resultados, sendo que na amostra 02 foi utilizado uma concentração de  $1 \text{ g.L}^{-1}$  de pó de *Moringa* com óleo, já a amostra 06 foi utilizado  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  de *Moringa* sem óleo.

Logo, a amostra 06 foi a que apresentou melhor condição de operação, dado que se utilizou uma menor concentração de *M. oleifera*  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  e o óleo já havia sido extraído anteriormente. Desta maneira, torna-se viável após a extração do óleo para produção de biodiesel a utilização das sementes de *M. oleifera* (sem óleo) no tratamento de efluente de vinhaça.

Para Rangel (1999) o óleo extraído das sementes de *M. oleifera* pode ser utilizado na fabricação de cosméticos, preparo de alimentos, alimentação animal e preparo de biodiesel. Almeida (2012) aponta que através do método *Soxhlet* é possível extrair 42% de óleo das sementes de *M. oleifera*, desta forma o autor afirma que o óleo extraído das sementes possui características propícias para produção de biodiesel.

### Melhor Concentração Do Pó De Sementes De *Moringa Oleifera*

A Tabela 13 apresenta a uma comparação da remoção de COT,  $DBO_5$  e Turbidez entre as 10 amostras distribuídas nas diferentes concentrações do pó das sementes de *M. oleifera* com e sem óleo comparada com a amostra de efluente após a etapa de eletro floculação.

**Tabela 12:** Melhor concentração do pó se sementes de *Moringa oleifera*.

Amostra	Concentração de <i>M. oleifera</i>	Redução ou Acréscimo COT (%)	Redução ou Acréscimo $DBO_5$ (%)	Redução ou Acréscimo Turbidez (%)
Am.01	0,5 <sup>(A)</sup>	+ 58,5%	+2,5%	-72,5%
Am.02	1 <sup>(A)</sup>	+84%	-71,5%	-28%
Am.03	2 <sup>(A)</sup>	+165,5%	-42%	+226%
Am.04	4 <sup>(A)</sup>	+ 224 %	- 41,5 %	+ 299 %
Am.05	8 <sup>(A)</sup>	+293%	-1%	+1061%
Am.06	0,5 <sup>(B)</sup>	+116%	-70%	-81%
Am.07	1 <sup>(B)</sup>	+140%	-66,7%	+50%
Am.08	2 <sup>(B)</sup>	+224%	-41%	+381%
Am.09	4 <sup>(B)</sup>	+305%	-3,4%	+1380%
Am.10	8 <sup>(B)</sup>	+720%	-8%	+1500%

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo. (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo.

Na Tabela 13 é possível traçar a eficiência conjunta das amostras com base nos parâmetros COT,  $DBO_5$  e turbidez. Nota-se que a amostra 06 apresentou a melhor eficiência, mesmo com um acréscimo nos valores de COT de 116 %, houve uma redução significativa na  $DBO_5$  e Turbidez 70% e 81 % respectivamente.

## Eficiência geral do tratamento

Foram estabelecidas as melhores condições de operação do sistema de tratamento da efluente vinhaça sendo elas: Etapa de eletrofloculação: Tempo 90 Min. e Intensidade de corrente elétrica 1 A; Etapa do biopolímero de semente de *M. oleifera*: 0,5 g.L<sup>-1</sup> de semente sem óleo.

Desta forma a Tabela 14 apresenta eficiência geral do sistema de eletrofloculação combinado com a utilização do biopolímero natural obtido através do pó das sementes de *M. oleifera*.

**Tabela 13:** Eficiência geral do sistema de eletrofloculação combinado com a utilização do biopolímero natural obtido através do pó das sementes de *Moringa oleifera*.

Efluente de vinhaça	COT (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UNT)
Vinhaça <i>in natura</i>	248,78	6.428	35,6
Sistema de tratamento (E.F + M.O)*	153,66	1.245	0,48
Redução	38,23%	80,6%	98,5%

\* (E.F+ M.O) =Melhor condição etapa eletrofloculação + melhor condição biopolímero *M. oleifera*.

A Tabela 14 apresenta uma comparação entre a redução de COT, DBO<sub>5</sub> e turbidez obtidos neste trabalho comparados aos relatados na literatura por: Paz-Pino et al. (2014), Yavuz (2007), Cardona et al. (2013), Davila et al. (2011) e Santiago et al. (2009) no tratamento de vinhaça.

**Tabela 14:** Comparação da redução do COT, DBO<sub>5</sub> e turbidez com relatos da literatura

Análises	Paz-Pino et al. (2014)	Yavuz (2007)	Cardona et al. (2013)	Davila et al. (2011)	Santiago et al. (2009)	Presente trabalho
DBO <sub>5</sub>	93%	----	----	----	----	80,6%
COT	----	88,7%	88%	25%	----	38,23%
Turbidez	99%	----	----	89%	90%	98%
Método utilizado	EDF. DA.	EF. EC.	EDF. FQ.	EF. EC.	M.O.	EF. MO.

(EDF). Eletrodissolução de ferro, (EF) Eletrofloculação, (EC) Eletrocoagulação, (FQ) Floculação Química (MO) *M. oleifera*, (DA) Digestão Anaeróbica.

Os resultados obtidos em relação à redução do COT, DBO<sub>5</sub> e turbidez do presente trabalho são semelhantes com os relatados na literatura. Com exceção do COT que devido ao a adição do biopolímero de *M. oleifera* aumentou a concentração de matéria orgânica no efluente, desta forma seria interessante submeter o efluente após a adição do biopolímero uma nova etapa de eletrofloculação a fim de reduzir a concentração de COT.

## CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados e dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que: Quanto ao processo de eletrofloculação: Na etapa de eletrofloculação do efluente de vinhaça foi escolhido como condição padrão de operação o tempo de 90 minutos e a intensidade de corrente elétrica em 1 A, uma vez que esses valores apresentaram melhor eficiência na redução dos parâmetros: carbono orgânico total – COT, demanda bioquímica de oxigênio DBO<sub>5</sub> e turbidez respectivamente 72%, 35%, 92%, respectivamente.

Quanto ao processo do biopolímero *M. oleifera*: A utilização do pó das sementes de *M. oleifera* com e sem óleo no tratamento de vinhaça apresentaram resultados significativos na redução dos parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio DBO<sub>5</sub> e turbidez, sob as concentrações de 1 g.L<sup>-1</sup> com óleo e 0,5g.L<sup>-1</sup> sem



óleo.

Contudo foi estabelecido como concentração ideal o emprego de 0,5 g.L<sup>-1</sup> do pó da semente de *M. oleifera* sem óleo, uma vez que o óleo das sementes pode ser utilizado na produção de uma série de produtos, dentre eles a produção de biodiesel. Sendo assim a utilização das sementes após o processo de extração do óleo torna-se uma alternativa viável na utilização de *M. oleifera* no tratamento de efluentes de vinhaça.

A utilização do pó das sementes de *M. oleifera* na concentração de 0,5 g.L<sup>-1</sup> sem óleo apresentou-se eficiente na redução de DBO<sub>5</sub> e Turbidez apresentando uma redução de 70% e 81 %, respectivamente. O parâmetro COT não apresentou redução, pelo contrário todas as amostras apresentaram um aumento na concentração de COT durante a etapa de adição do biopolímero de *M. oleifera*. Este aumento está ligado à adição do pó das sementes de *M. oleifera*, que conseqüentemente aumenta a concentração de matéria orgânica no efluente.

Quanto a eficiência geral do processo (eletrofloculação e biopolímero de *M. oleifera*): Analisando a eficiência geral do processo de tratamento de efluentes de vinhaça através da técnica de eletrofloculação aliada com a utilização dos biopolímeros naturais obtidos através do pó das sementes de *M. oleifera* tem-se uma redução global de 38 % do COT, 80 % da DBO<sub>5</sub> e 98,5 % da turbidez.

Sendo assim a técnica de eletrofloculação aliada aos biopolímeros das sementes de *M. oleifera* no tratamento de vinhaça mostrou-se eficiente e viável frente às tecnologias e processos utilizados atualmente no tratamento de efluentes de vinhaça.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. N. C.. **Estudo do processo de extração do óleo da semente de *Moringa oleifera* lam. Visando a produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

BRASIL, J. L.; VAGHETTI, J. C. P.; ROYER, B.; SANTOS JUNIOR, A. A.; SIMON, N. M.; PAVAN, F. A.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C.. Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu (II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente. **Quim. Nova**, v.30, n.3, p.548-53, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300008>

BUTTON, S. T.. **Metodologia Para Planejamento Experimental E Análise De Resultados.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

CARDONA, C.; MACHUCA-MARTINEZ, F.; MARRIAGA-CABRALES, N.. Treatment of vinasse by using electro-dissolution and chemical flocculation. **Calí**, v.15, n.2, p.191-200, 2013.

CARVALHO, T. V.. **Biomateriais à base de quitosana de camarão e bactérias para remoção de metais traço e petróleo.** Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

CERQUEIRA, A. A.; ANDRADE, T. A. G.; MARQUES, M. R. C.; RUSSO, C.. Gestão das águas de produção: histórico, políticas

ambientais e alternativa. Tecnológica. **Revista Uniara**, v.12, n.2, 2009.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O.. **Eletroflotação: Princípios e Aplicações.** São Carlos: RIMA, 2004.

DAVILA, J.; MACHUCA, F.; MARRIAGA, N.. Treatment of vinasses by electrocoagulation- electroflotation using the Taguchi method. **Electrochimica Acta**, v.56, n.22, p.7433-7436, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.07.015>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cana-de-açúcar Adubação: resíduos alternativos.** EMBRAPA, 2015.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S.. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, p.106-109, 2006.

HENNIG, E. L.. **Utilização de quitosana obtida de resíduos de camarão para avaliar a capacidade de adsorção de íons Fe<sup>3+</sup>.** Rio Grande, 2009.

HORN, M. M.. **Obtenção e caracterização de hidrogéis de quitosana, xantana e colágeno aniônico.** São Carlos, 2008.

MELETI, M. V.; FADEL, B.; SMITH, M.. Perspectiva sistêmica da sustentabilidade nas organizações sob a ótica da cultura organizacional e sua repercussão no desenvolvimento

regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 8. **Anais. Poços de Caldas: Revista Gestão & Conhecimento**, 2012.

PAZ-PINO, O. L.; BARBA-HO, L. E.; MARRIAGA-CABRALES, N.. Vinasse treatment by coupling of electro-dissolution, hetero-coagulation and anaerobic digestion.

**Medellín**, v.81, n.187, p.102-107, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n187.38922>

POZZOBON, L.; KEMPKA, A. P.. **Sementes** de moringa oleifera na clarificação de efluente de indústria de ingredientes para alimentação animal: comparação com o coagulante convencional e estudo das condições operacionais. **Engevista**, v.17, n.2, p.196-206, 2015.

RAMJEAWON, T.. Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories. **Journal of Cleaner Production**, v.8, n.6, p.503-510, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00020-2)

RANGEL, M. S. A.. **Moringa oleifera**: uma planta de uso múltiplo. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999.

SANTOS, L. M.; REIS, E. M.; SILVA, E. M.; SILVA, F. F.; ZONETTI, P. C.. Tratamento de água residuária de curtume com utilização de sementes de Moringa (Moringa oleifera L.). **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v.4, n.2, p.96 -101, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.292>

SANTIAGO, R. M.; GIRARDI, F.; GIMENES, M. L.. Tratamento de vinhaça com os coagulantes naturais: quitosana, tanino e moringa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8. **Anais**. Uberlândia, 2009.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C.. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v.11, n.1, p.108-114, 2006.

STRÖHER, A. P.; COUTOR JUNIOR, O. M.; MENEZES, M. L.; BERGAMASCO, R.; PEREIRA, N. C.. Aplicação de Moringa oleifera lam no tratamento de efluente proveniente da lavagem de jeans Moringa oleifera lam application in the treatment of effluent from the wash jeans. **Revista E-xacta**, Belo Horizonte, v.5, n.1, p.61-66, 2012.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; BABIERO, T. A.; BERGAMASCO, R.. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclét. Quím.**, São Paulo, v.35, n.4, p.45-54, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

YAVUZ, Y.. EC and EF processes for the treatment of alcohol distillery wastewater. **Separation and Purification Technology**, v.53, n.1, p.135-140, 2007.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.