



Área: Engenharia de Alimentos

REMOÇÃO DE AGROTÓXICOS DA ÁGUA POR OSMOSE INVERSA

Daniel Reges Rossetto, Guilherme Otávio Moraes Giubel, Jéssica Stefanello Cadore*, Vandrê Barbosa Brião

*Laboratório de Operações Unitárias, Cursos de Engenharia Química e Engenharia Ambiental,
Departamento de Engenharia Química, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
E-mail: jescadore@gmail.com

RESUMO – Os agrotóxicos são produtos químicos vastamente utilizados no setor agrícola, dividindo-se em três categorias: pesticidas, inseticidas e fungicidas. O Brasil está entre os primeiros colocados no uso de agrotóxicos e, o seu manejo inadequado, bem como o seu uso intensivo, podem ocasionar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Os agrotóxicos estão classificados dentre os poluentes emergentes, que são compostos químicos persistentes e tóxicos. O presente trabalho avaliou a remoção, por membrana de osmose inversa, de três soluções diferentes de agrotóxicos utilizados no processamento de lavagem de sementes. Estudou-se o efeito da pressão de operação no fluxo do permeado e na rejeição da membrana. As variáveis de resposta foram: pH, turbidez e rejeição dos agrotóxicos pela membrana. A quantificação e a identificação dos agrotóxicos presentes nas soluções foram realizadas através de cromatografia gasosa de alta eficiência acoplada a detector de massa. O sistema apresentou bons resultados quanto a rejeição dos agrotóxicos, variando de 98,78% a 99% em condições de pressões de 580 kPa e temperatura de 25°C. O efeito da pressão, em relação ao pH e a turbidez, não obteve variação significativa. Em relação ao fluxo do permeado obteve-se variação significativa, desta forma a elevação da pressão exerceu um efeito sobre o aumento da rejeição e do fluxo. Com a obtenção de altos valores de remoção dos agrotóxicos, o sistema de separação com osmose inversa pode ser considerado uma alternativa de tratamento complementar para as companhias de tratamento de água e efluentes.

Palavras-chave: Processos de Separação por Membranas; Tratamento de sementes; Poluentes emergentes; Tratamento de efluentes.

1 INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos começaram a ser utilizados como arma química na Segunda Guerra Mundial e, posteriormente, adotou-os como defensivos agrícolas, devido à necessidade de aumentar a produção de alimentos. No Brasil iniciou o uso de agrotóxicos na década de 60, com a Revolução Verde, que visava a implementação de novas tecnologias na agricultura, elevando o potencial de produção das culturas e afastando os predadores naturais (BARROS, 2010).

O tratamento de sementes consiste na aplicação de substâncias químicas, e/ou organismos biológicos, garantindo o controle ou o afastamento de patógenos. Para diminuir os prejuízos causados na cultura, o tratamento com fungicidas e inseticidas age na redução do efeito nocivo das pragas (PEREIRA et al., 2011). Os principais fungicidas utilizados para o tratamento de sementes são Derosal Plus® e Maxim xl®, e os principais inseticidas de ação sistêmica são do grupo dos neonicotinóides, representados pelo Cruiser®, Standak® e Gaucho® (CASTRO et al., 2008; GOULART, 2010).

O Brasil esteve em primeiro lugar no ranking mundial de uso de agrotóxico, em 2018. Estima-se que 79% dos agrotóxicos utilizados no Brasil estão presentes em quatro tipos de plantas, tais como: soja (52%), milho e cana de açúcar (10%) e algodão (7%) (BOMBARDI, 2017; DM.JOR.BR 2018). Entre os anos de 2014 a 2017 ocorreu uma investigação, realizado pela Repórter Brasil, Public Eye e Agência Pública, em parceria do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) e do Ministério da Saúde, avaliando a concentração de cada agrotóxico encontrado nos mananciais brasileiros. O Sisagua demonstrou que 27 tipos de agrotóxicos estavam presentes nas águas que abastecem a população, em mais de 1.300 cidades. Entre eles, 16 são classificados como extremamente ou altamente tóxicos, sendo 11 associados ao desenvolvimento de doenças crônicas como o câncer, má-formação fetal, disfunções hormonais e reprodutivas, de acordo com Anvisa (REPÓRTER BRASIL, 2019).

As estações de tratamento de água e efluentes atualmente não são projetados para a remoção efetiva de poluentes emergentes, tais como fármacos e agrotóxicos, com isso, deve-se buscar alternativas mais avançadas de tratamento, como os processos de separação por membranas. Há exemplo disso tem-se o processo por osmose inversa (OI), que apresenta alta eficiência de remoção destes constituintes (RODRIGUEZ et al., 2015; SILVA et al., 2016). Geralmente, os processos de separação por membrana apresentam vantagens no permeado: eliminam os produtos químicos, sua operação ocorre em baixas temperaturas, baixo consumo de energia e pode-se trabalhar em pressões variadas. Além disso, o processo possibilita a combinação com outros processos de separação complementares (BENÍTEZ, 2009).

A OI é um processo introduzido para o tratamento de água e efluentes industriais, com o intuito da redução sustentável dos custos, conservação dos recursos naturais, e remoção de poluentes (QDAIS et al., 2004). Além disso, a



OI está consolidada para processos de dessalinização e reuso de águas industriais, possuindo potencial para a remoção de agrotóxicos. Desta forma este estudo objetiva avaliar a remoção de agrotóxicos de amostras de efluentes proveniente da lavagem de equipamentos utilizados no tratamento de sementes, através do processo de separação por membrana de OI.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram preparadas duas amostras sintéticas através da diluição de agrotóxicos em água deionizada, corroborando com a diluição existente na indústria, para a aplicação tratamento de sementes (tratamento 1 e 2), a fim de estudar-se a separação dos agrotóxicos. Por fim, foi utilizada uma amostra real do efluente, pela mistura dos dois tratamentos, tal qual é realizada pelas empresas que tratam sementes. As amostras sintéticas são compostas pelos tratamentos 1 e 2. O tratamento 3 está relacionado a uma amostra real composta. Na tabela 1 é possível observar os princípios ativos de cada tratamento. Os produtos comercializados são: Amulet, Cruiser e Maxim Advanced (no tratamento 1), Cropstar, Derosal Plus e Terra Forte (no tratamento 2). Para os ensaios da OI foi utilizado uma unidade de filtração em bancada e a membrana comercial de modelo RT-2812-300, do fabricante FCS Membrane.

Tabela 1 - Princípios ativos dos tratamentos em estudo

Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
Fipronil	Fipronil	Fipronil
Tiametoxam	Imidacloprido	Imidacloprido
	Carbendazim	Carbendazim

As pressões utilizadas para a realização do processo foram fixadas em 380 e 580 kPa, há temperatura de 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Para cada tratamento também foi realizado a recirculação do permeado. Cada experimento teve duração de 1 hora. Os testes foram realizados em duplicatas. Os fluxos foram medidos com a pesagem da massa do permeado, fazendo medições no intervalo de 5 em 5 minutos. Para o teste de rejeição nas diferentes pressões, foi utilizada a concentração inicial, onde amostras do permeado foram coletadas ao final de 1 hora de recirculação, para posterior análise em LC-MS/MS.

Para medição do pH foi utilizado um medidor eletrônico. As medidas de turbidez foram realizadas através do turbidímetro digital de bancada. As análises de ambas foram realizadas nos permeados de cada tratamento, sendo a coleta realizada em intervalos de 15 minutos, até o tempo final da operação.

Para a detecção de agrotóxicos antes e após os processos de separação por membranas utilizou-se a análise cromatográfica. A amostra da alimentação passou pelo preparo prévio, ou seja, foi realizada nova filtração utilizando microfiltros analíticos, com porosidade de 0,22 μm , para a garantia da isenção total de possíveis partículas sólidas, para então serem injetadas junto com o padrão cromatográfico. Como a amostra inicial, foi necessário fazer uma diluição 600 mL/5 L em água deionizada, devido à sensibilidade da curva, para melhor ajuste. Os padrões dos agrotóxicos foram feitos a partir da matéria-prima utilizada para os ensaios da osmose, para fins de comparação e detecção.

As variáveis obtidas na membrana, rejeição e o fluxo do permeado, foram submetidas à análise de variância e ao teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. As respostas do sistema foram calculadas através do fluxo do permeado (Equação 1) e índice de rejeição (Equação 2).

$$J = \frac{Q_f}{A} \quad (1)$$

Sendo J o fluxo do permeado (L/h.m²), Q_f a vazão de filtrado (L/h) e A a área da membrana (m²).

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r}\right) * 100 \quad (2)$$

Sendo, R o índice de rejeição, C_p a concentração do permeado e C_r a concentração do retido.

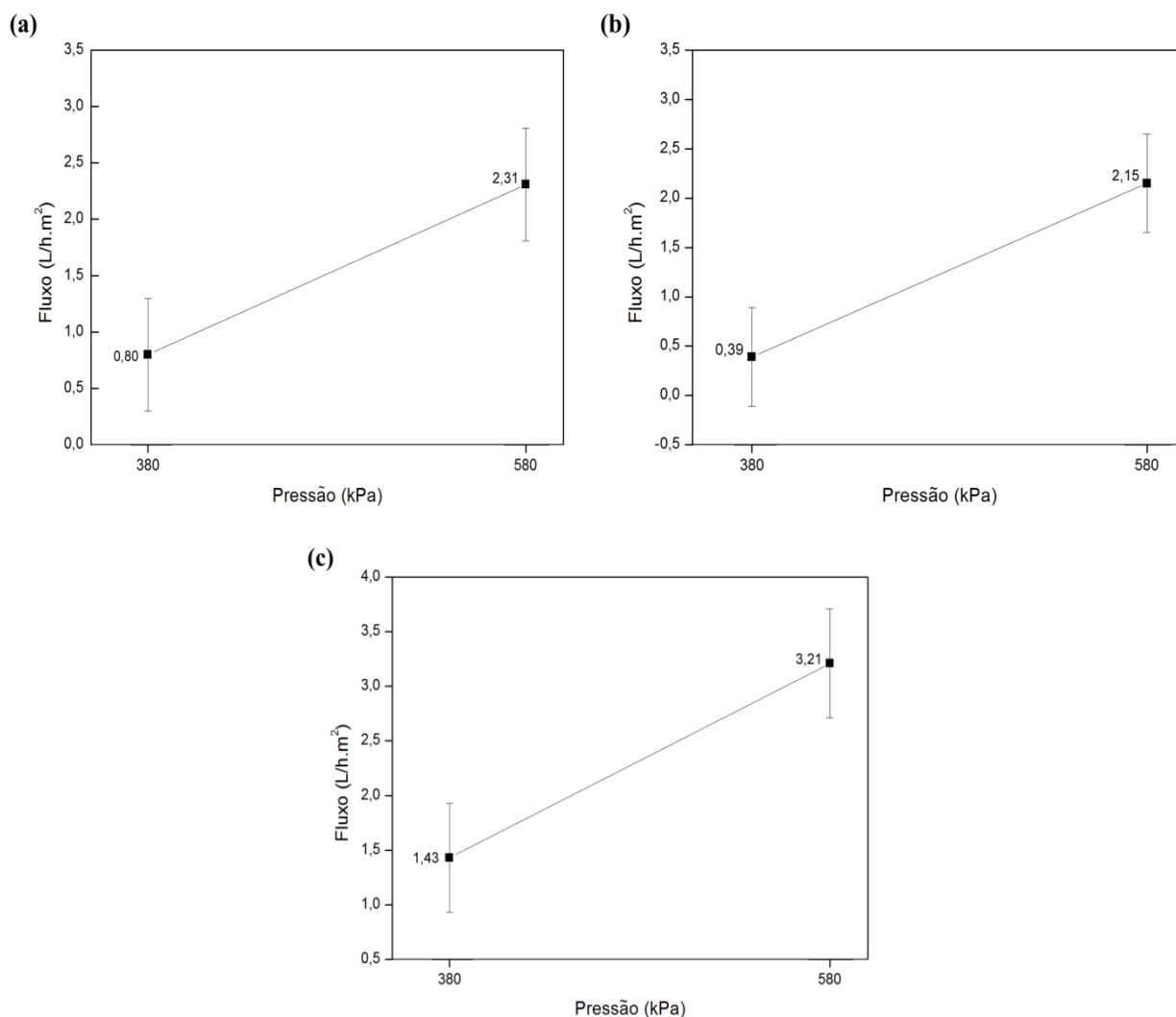
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da pressão x fluxo do permeado

A Figura 1 (a) representa o fluxo do tratamento 1, a Figura 1 (b) refere-se ao tratamento 2 e a Figura 1 (c) refere-se ao tratamento 3, nas respectivas pressões 380 e 580 kPa.



Figura 1 - Fluxos de permeado (a) Tratamento 1, (b) Tratamento 2, (c) Tratamento 3



Saitúa et al. (2012) avaliaram a remoção de glifosato em uma solução com água destilada por nanofiltração. Os resultados foram que a rejeição de glifosato não sofreu alteração quando houve aumento da pressão do sistema de 400 para 1000 kPa, quanto o fluxo do permeado aumentou devido ao aumento de pressão, o fluxo do rejeito pela membrana também aumentou o que surtiu como efeito de compensação.

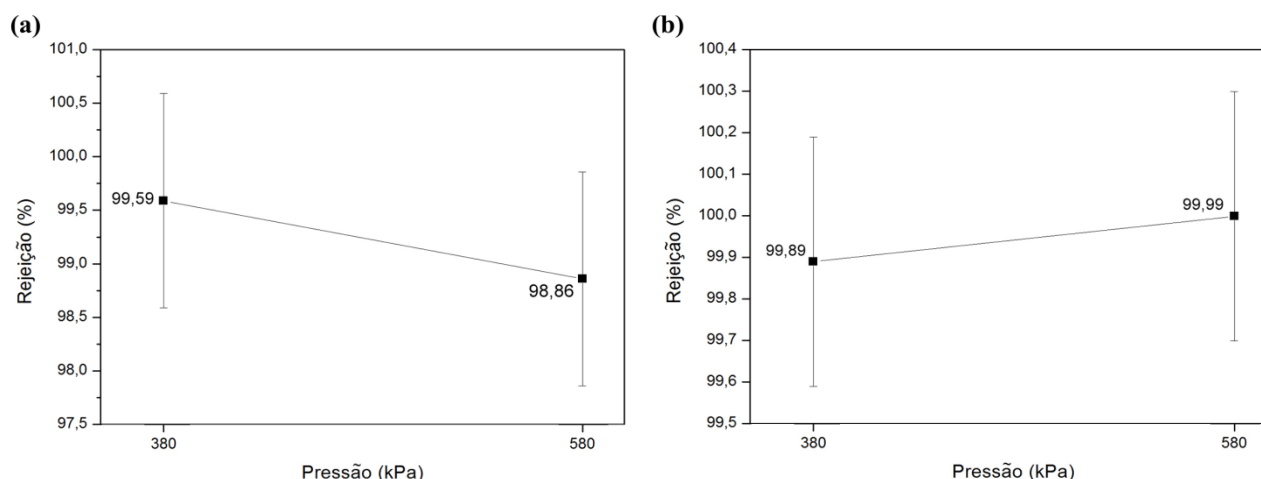
De acordo com Merdaw et al. (2010) foram realizados testes empregando duas membranas diferentes, com propriedades estruturais similares. As temperaturas e pressões testadas foram 20°C, 25 °C e 30°C, e 700 e 1400 kPa, respectivamente, e a vazão foi constante de 440 L/h. O fluxo de alimentação, tal que os efeitos da polarização por concentração não foram considerados. Da mesma forma, Ahmad et al. (2008) avaliaram a retenção de dimetoato e atrazina nas pressões de 600 para 1200 kPa, por nanofiltração, obtendo maior fluxo do permeado em maior pressão, corroborando com o apresentado na Figura 1.

3.2 Efeito da pressão na rejeição do permeado

A rejeição obtida no tratamento 1 está representada na Figuras 2 (a) agrotóxico fipronil e Figura 2 (b) agrotóxico tiametoxam. Não obteve-se nenhuma variância significativa entre as duas pressões.



Figura 2 – Rejeições obtidas no tratamento 1 (a) fipronil e (b) tiametoxam



O nível de significância dos resultados encontrados foi avaliado. Segundo Field (2013), quando um teste de hipótese é realizado, o nível de confiança é o complemento do nível de significância. Isto é, um intervalo de confiança de 95% reflete um nível de significância de 5%. Com isso, quando obtêm-se valores de $p > 0,05$ simboliza que há diferença significativa nos resultados.

A partir do teste ANOVA pode-se comprovar que não houve diferença na rejeição dos compostos fipronil e tiametoxam nas duas pressões avaliadas, conforme Quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Teste ANOVA para rejeição de Fipronil

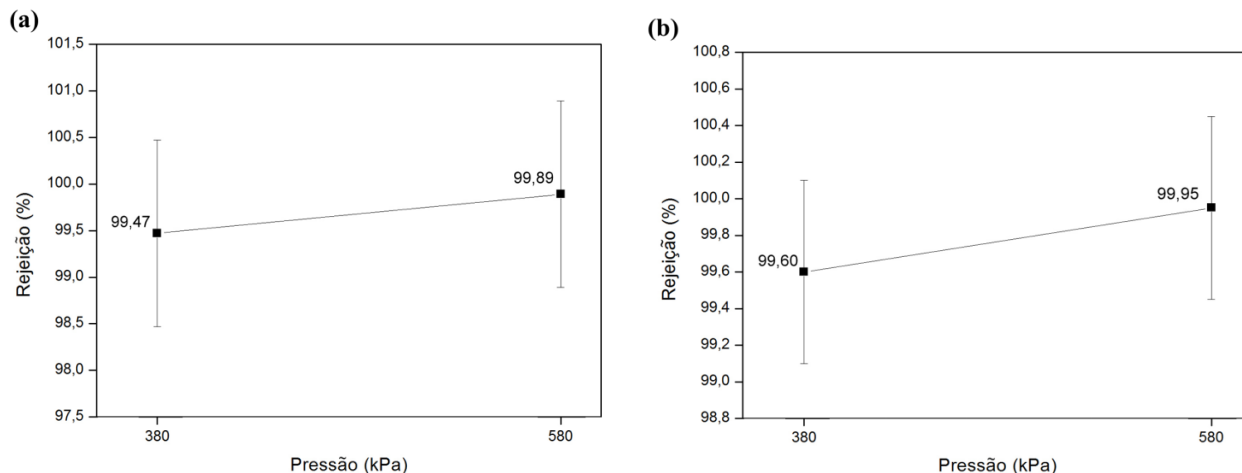
Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39384,39	1	39384,39	169742,0	0,000006
Pressão kPa	0,53	1	0,53	2,3	0,271228
Erro	0,46	2	0,23		

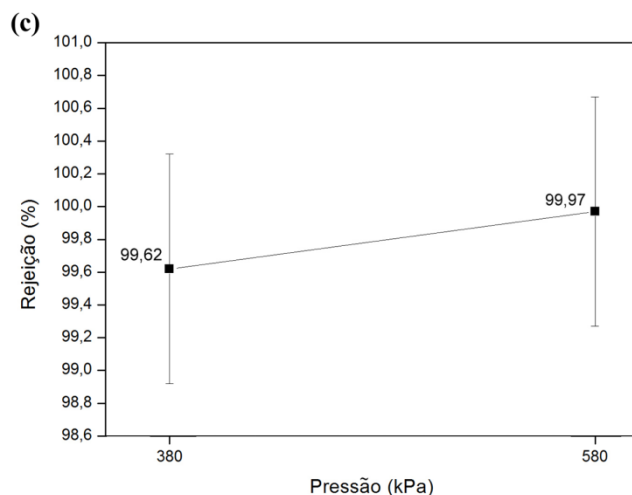
Quadro 2 - Teste ANOVA para rejeição de Tiametoxam

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39955,81	1	39955,81	3995481	0,000000
Pressão kPa	0,01	1	0,01	1	0,387788
Erro	0,02	2	0,01		

Os resultados obtidos para a rejeição no tratamento 2 estão representados na Figura 3 (a) fipronil, (b) imidacloprido e (c) carbendazim, não demonstrando variância significativa.

Figura 3 – Rejeições obtidas no tratamento 2 (a) fipronil, b) imidacloprido e c) carbendazim





Desta forma o teste ANOVA demonstra que não há diferença dos resultados entre as duas pressões na rejeição do fipronil, imidacloprido e carbendazim, conforme exposto nos Quadros 3, 4 e 5. A Figura 4 apresenta as rejeições obtidas para o tratamento 3 aos compostos (a) fipronil, (b) imidacloprido e (c) carbendazim.

Quadro 3 - Teste ANOVA para rejeição de fipronil

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39746,40	1	39746,40	230647,9	0,000004
Pressão kPa	0,18	1	0,18	1,0	0,413598
Erro	0,34	2	0,17		

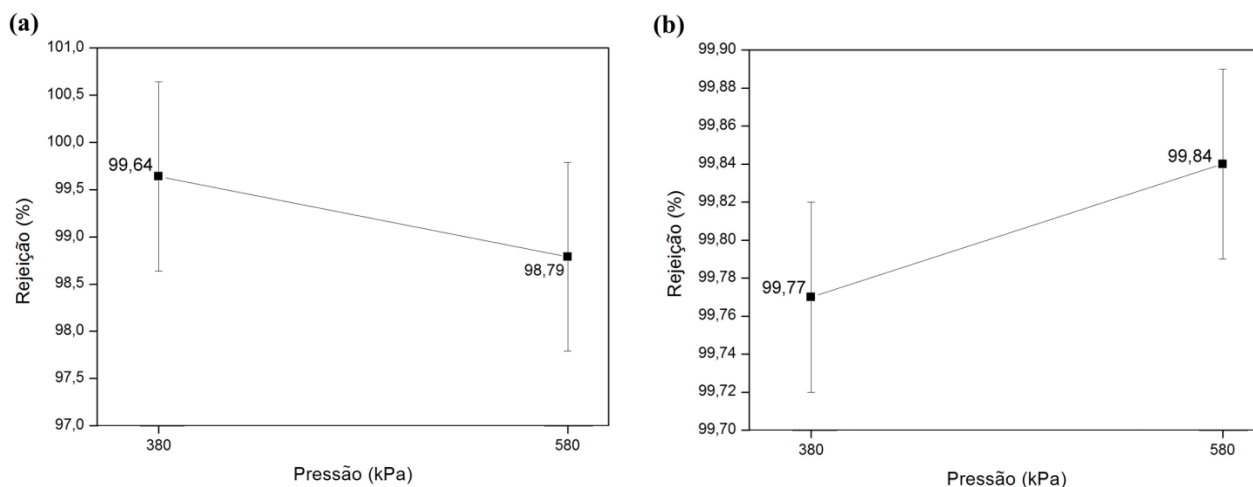
Quadro 4 - Teste ANOVA para rejeição de imidacloprido

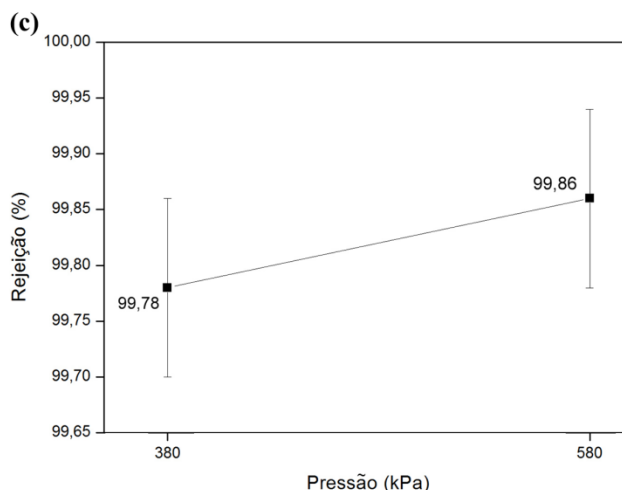
Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39822,20	1	39822,20	982657,6	0,000001
Pressão kPa	0,12	1	0,12	2,9	0,228701
Erro	0,08	2	0,04		

Quadro 5 - Teste ANOVA para rejeição de carbendazim

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39838,16	1	39838,16	720075,3	0,000001
Pressão kPa	0,12	1	0,12	2,2	0,280116
Erro	0,11	2	0,06		

Figura 4 - Rejeições ao tratamento 3 para (a) fipronil, (b) imidacloprido e (c) carbendazim





Para as rejeições demonstradas na Figura 4 o teste ANOVA apresentou diferença na remoção do imidacloprido (Quadro 7), enquanto manteve-se sem diferença significativo para os demais compostos (Quadro 6 e 8). Para a comprovação da variância significativa entre as pressões em relação à rejeição do agrotóxico imidacloprido foi realizado o teste Tukey conforme apresentado na Tabela 2.

Quadro 6 - Teste ANOVA para rejeição de fipronil

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39378,43	1	39378,43	338157,4	0,000003
Pressão kPa	0,72	1	0,72	6,2	0,130386
Erro	0,23	2	0,12		

Quadro 7 - Teste ANOVA para rejeição de imidacloprido

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39844,15	1	39844,15	199220761	0,000000
Pressão kPa	0,00	1	0,00	25	0,038476
Erro	0,00	2	0,00		

Tabela 2 - Teste Tukey para análise da rejeição do imidacloprido

Pressão (kPa)	Imidacloprido mean	1	2
380	99,77000	****	
580	99,84000		****

Quadro 8 - Teste ANOVA para rejeição de carbendazim

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	39858,13	1	39858,13	54976726	0,000000
Pressão kPa	0,01	1	0,01	10	0,087392
Erro	0,00	2	0,00		

Santos (2013) avaliou a tratamento de efluente sintético com glifosato por OI, e constatou que a melhor remoção da camada de glifosato na superfície da membrana foi devido ao aumento do fluxo tangencial sobre esta, como consequência do aumento da pressão, aonde o fluxo do permeado também sofre aumento. A redução da concentração de glifosato na superfície da membrana ocasionou na redução da concentração de glifosato no permeado e, consequentemente, a rejeição deste será mais elevada.

Através da avaliação da remoção de glifosato em solução de glicina - dimetilfosfato por nanofiltração, e o efeito da pressão do sistema sobre a remoção da substância, é possível observar que a rejeição de glifosato aumenta com o aumento da pressão, atribuindo ao fato de o transporte do solvente ser superior ao transporte difusivo do soluto (XIE et al, 2010). De acordo com Ahmad et al. (2008), a rejeição da atrazina e dimetoato, testada na pressão de 600 e 1200 kPa, aumenta com o aumento da pressão. A NF90 produziu o melhor desempenho de retenção para a pressão de operação e concentração de alimentação testado, a aproximadamente 85% para o dimetoato e mais de 95% de retenção para atrazina.

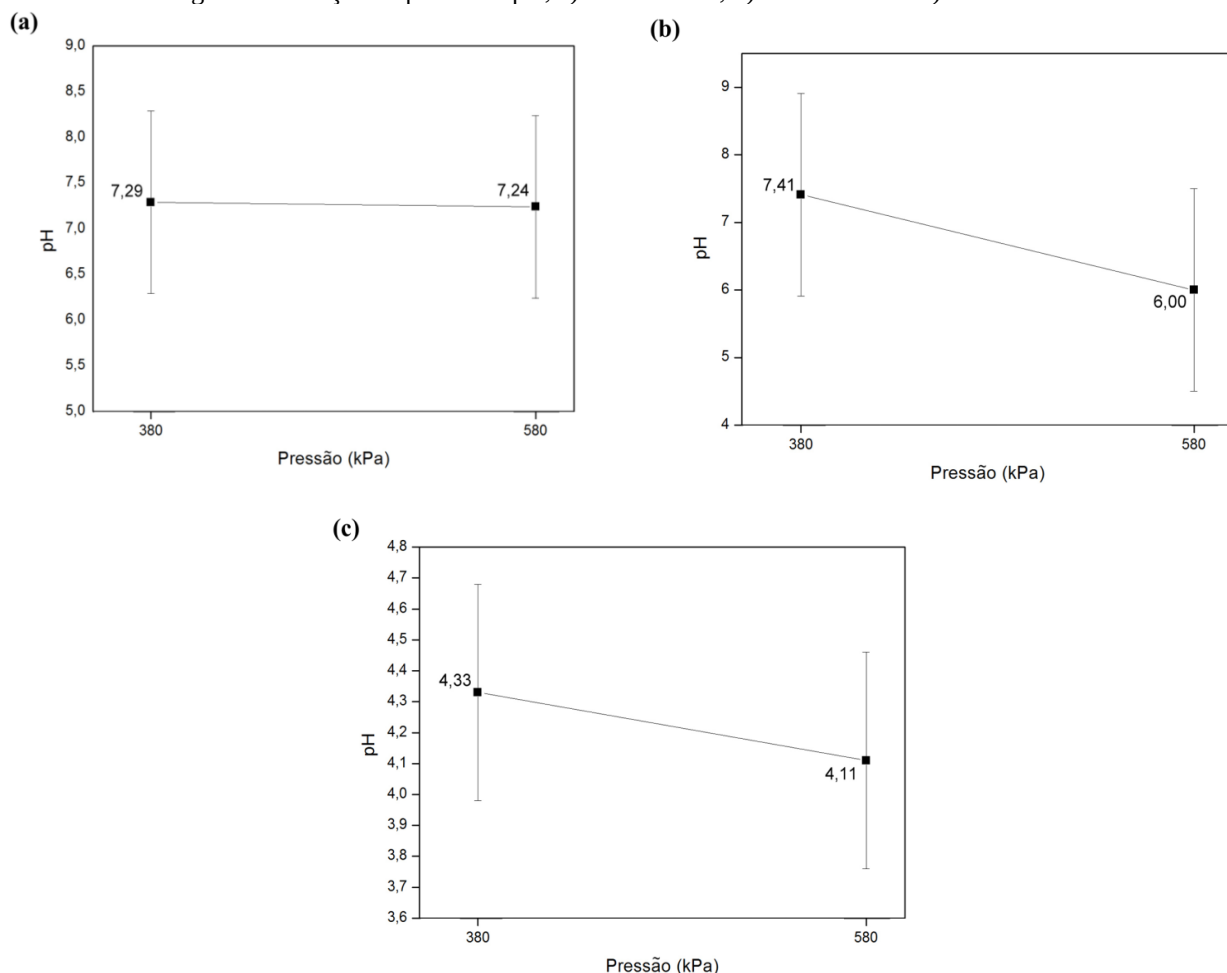
Apesar da remoção do fipronil ter apresentado diminuição na rejeição aos tratamentos 1 e 3, não obteve-se diferença significativa, dessa forma o estudo assemelha-se com os modelos apresentados.



3.3 Efeito da pressão no pH do permeado

A Figura 5 representa a influência da pressão em relação ao pH no tratamento 1 (a), tratamento 2 (b) e tratamento 3 (c). Segundo a análise estatística (Quadros 9, 10 e 11) observa-se que não obteve-se variância significativa em nenhum dos tratamentos, mesmo no tratamento 2, aonde houve a maior variação.

Figura 5 - Relação da pressão x pH, a) tratamento 1, b) tratamento 2 e c) tratamento 3



Quadro 9 - Teste ANOVA do pH do tratamento 1

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	211,1209	1	211,1209	447,5745	0,002227
Pressão kPa	0,0025	1	0,0025	0,0053	0,948590
Erro	0,9434	2	0,4717		

Quadro 10 - Teste ANOVA do pH do tratamento 2

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	179,8281	1	179,8281	719,3124	0,001387
Pressão kPa	1,9881	1	1,9881	7,9524	0,106108
Erro	0,5000	2	0,2500		

Quadro 11 - Teste ANOVA do pH do tratamento 3

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	71,31803	1	71,31803	5392,667	0,000185
Pressão kPa	0,04623	1	0,04623	3,495	0,202472
Erro	0,02645	2	0,01323		



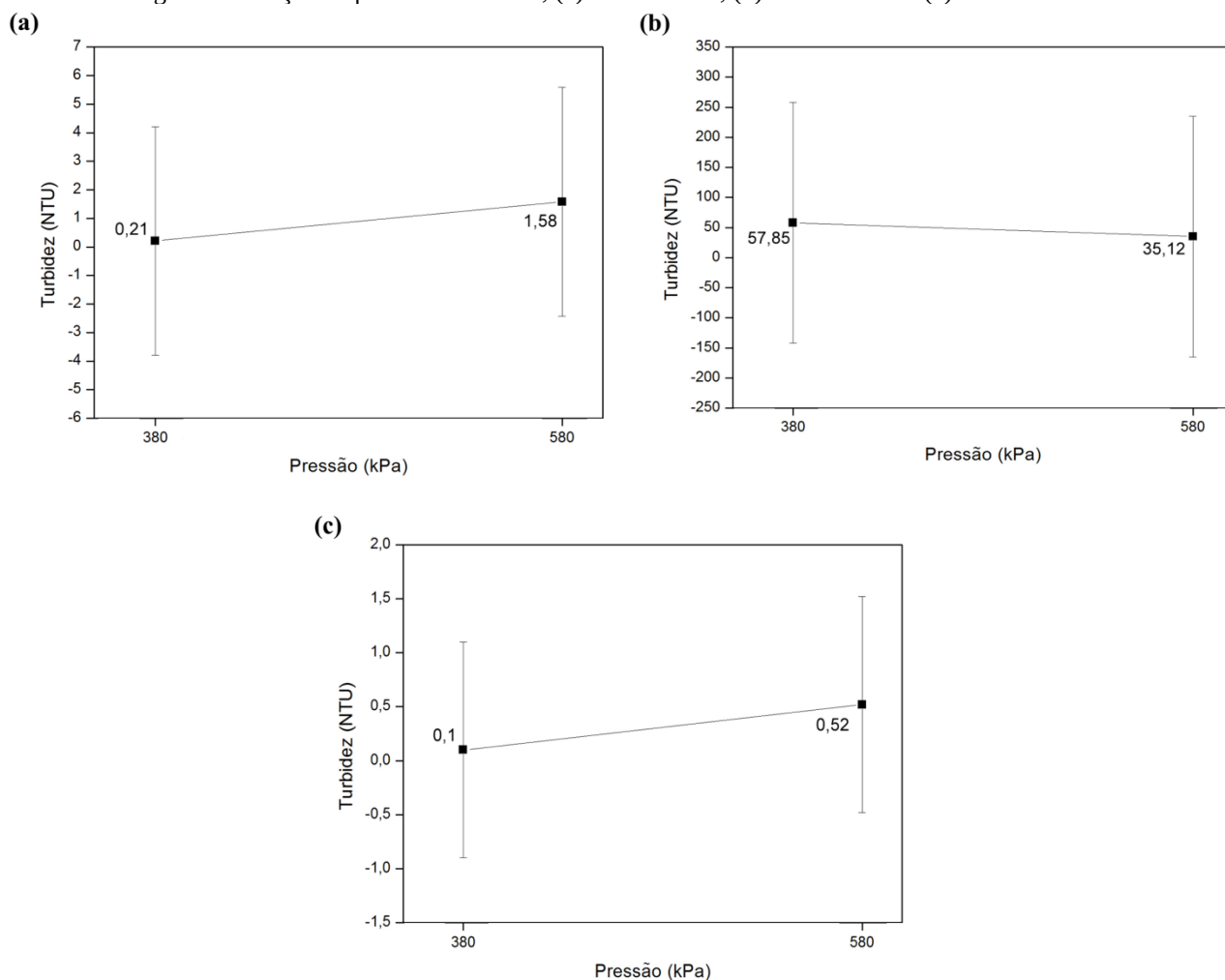
Bueno (2013) avaliou a eficiência da remoção de agrotóxico por nanofiltração e OI, mais especificamente carbamatos (metomil, carbofurano e carbaril) no tratamento de água de abastecimento. O autor utilizou pressões de 500 e 2000 kPa, para as membranas de nanofiltração, e 1000 e 3000 kPa para as membranas de OI, há temperatura de 25°C. Os valores de pH encontrados variaram de 6,66 a 6,73 para nanofiltração e de 6,47 a 6,70 para OI.

Pinto, De Souza e Dezotti (2018) avaliaram o tratamento de águas residuais da indústria de pesticidas para reúso, o sistema continha reator anaeróbico seguido de processo convencional de separação por membrana. A operação obteve pressão de 200 kPa para microfiltração e 250 kPa para ultrafiltração. Os valores de pH encontrados foram próximos da neutralidade sendo eles 6,9 e 7,8 ao longo do tempo de operação, concordando com o presente estudo onde apresentou pouca variação entre os valores obtidos no tempo de operação de cada tratamento.

3.4 Efeito da pressão na turbidez do permeado

A Figura 6 representa a influência da pressão em relação à turbidez no tratamento 1 (a) tratamento 2 (b) e tratamento 3 (c). Observa-se que a menor pressão obteve melhores resultados no tratamento 1 e 3, já no tratamento 2 a maior pressão apresentou maior remoção de turbidez. A turbidez da água do fluxo de alimentação chegou a 1000 NTU nos três tratamentos, e o menor valor do fluxo do permeado é de 0,1 NTU no tratamento 3. Através do teste ANOVA observou-se que não há variância significativa de pressão em relação ao pH do permeado em nenhum dos tratamentos (Quadros 12, 13 e 14).

Figura 6- Relação da pressão x turbidez, (a) tratamento 1, (b) tratamento 2 e (c) tratamento 3





Quadro 12 - Teste ANOVA - turbidez do tratamento 1

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	3,222025	1	3,222025	1,607937	0,332417
Pressão kPa	1,890625	1	1,890625	0,943508	0,433839
Erro	4,007650	2	2,003825		

Quadro 13 - Teste ANOVA - turbidez do tratamento 2

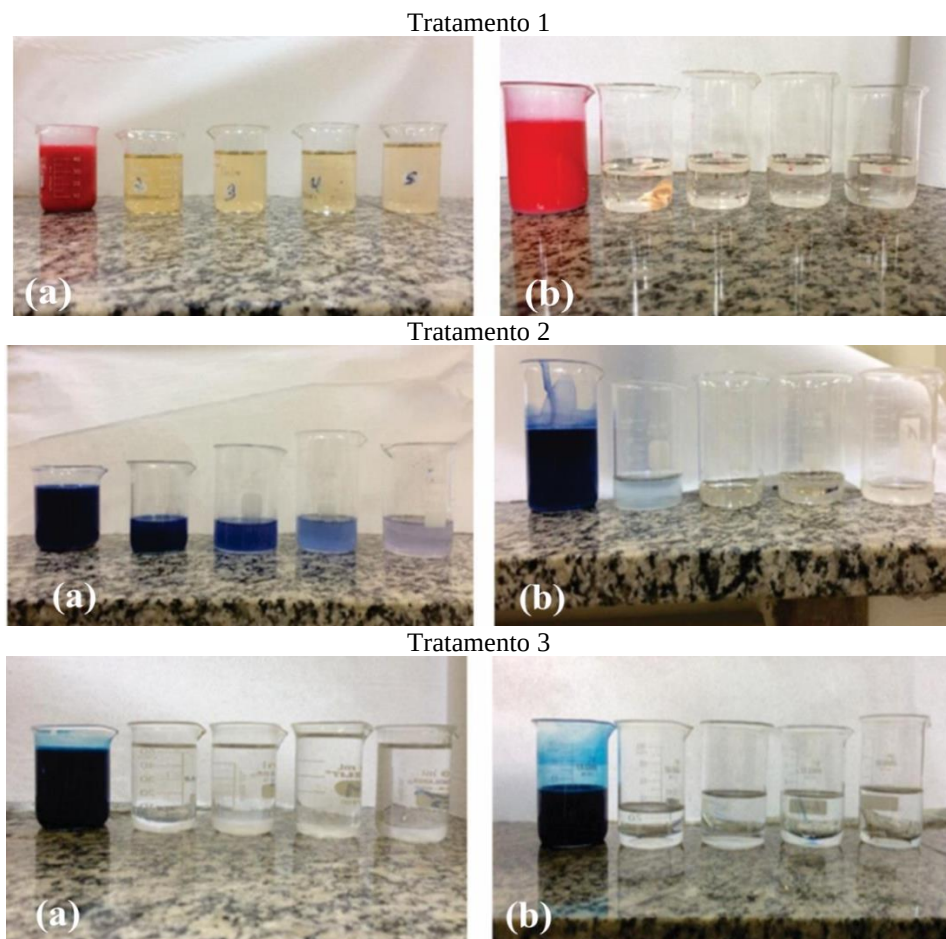
Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	8643,421	1	8643,421	1,928157	0,299389
Pressão kPa	516,653	1	516,653	0,115254	0,766575
Erro	8965,474	2	4482,737		

Quadro 14 - Teste ANOVA - turbidez do tratamento 3

Efeito	SS	DF	MS	F	P
Intercept	0,390625	1	0,390625	2,777778	0,237507
Pressão kPa	0,180625	1	0,180625	1,284444	0,374645
Erro	0,281250	2	0,140625		

Através da Figura 7 é possível verificar a ilustração da clarificação das amostras de permeado ao longo do tempo de operação, com coleta de 15 em 15 minutos.

Figura 7 – Ilustração da clarificação das amostras de permeado ao longo do tempo de operação. Tratamento 1 (a) 380 e (b) 580 kPa; Tratamento 2 (a) 380 e (b) 580 kPa; Tratamento 3 (a) 380 e (b) 580 kPa



Pinto, De Souza e Dezotti (2018) utilizaram como pré-tratamento, para a remoção parcial da turbidez, o processo de coagulação/floculação, aonde obtiveram a remoção de 89,7% de turbidez (de 65 para 6,7 NTU). Após, comparou os processos de separação por membrana para o tratamento final entre OI e micro/ultrafiltração. Ambos os tratamentos conseguiram resultados de 0,020 NTU sendo 99,97% de remoção. Da mesma forma, a turbidez em estudo obteve valores de 99% de remoção do corante que identifica o agrotóxico no tratamento 3 com pressão de 380 kPa.



4 CONCLUSÃO

A OI é uma tecnologia eficiente na separação de agrotóxicos presentes em água, sendo uma alternativa para a utilização em sistemas de tratamento de água e efluentes industriais.

A pressão demonstrou efeito na rejeição somente ao tratamento 3, provavelmente por se tratar de um efluente real. Com o aumento da pressão, há também aumento na rejeição dos agrotóxicos estudados, apresentando altas taxas de remoção para os três agrotóxicos (fipronil, imidacloprido e carbendazim) atingindo 99,78 % para pressão 380 kPa e 99,86 % na pressão 580 kPa.

Sugere-se, para trabalhos futuros, novos experimentos, tais como: avaliação da reutilização do rejeito; avaliar a rejeição variando a temperatura, pH, tempo de operação e concentração dos agrotóxicos; comparar com outros métodos de separação por membrana como o sistema de nanofiltração, e avaliar a remoção utilizando pré-tratamento com coagulação e flotação.

5 REFERÊNCIAS

- AHMAD, A. L.; TAN, L. S.; SHUKOR, SR Abd. Dimethoate and atrazine retention from aqueous solution by nanofiltration membranes. **Journal of hazardous materials**, v. 151, n. 1, p. 71-77, 2008.
- BARROS, B. Há 40 anos, DDT precipitou restrições. **Valor Econômico**. São Paulo: Agronegócios, 2010.
- BENÍTEZ, F. Javier et al. Nanofiltration processes applied to the removal of phenyl-ureas in natural waters. **Journal of hazardous materials**, v. 165, n. 1-3, p. 714-723, 2009.
- BOMBARDI, Larissa Mies. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. FFLCH-USP, 2017.
- BUENO, Marcelo Zawadzki et al. Nanofiltração e osmose inversa aplicadas à remoção de agrotóxicos (carbamatos) em águas de abastecimento: avaliação em escala de bancada. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral et al. Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1311-1318, 2008.
- DM.JOR.BR. O Jornal do Leitor Inteligente. Disponível em: <<https://www.dm.jor.br/cotidiano/2018/07/brasil-lidera-o-ranking-mundial-de-uso-de-agrotoxicos/>>. Acesso em: 20 março 2020.
- FIELD, Andy. **Discovering statistics using IBM SPSS statistics**. sage, 2013.
- GOULART, A. C. P. Hora de tratar. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 12, n. 135, p. 22-25, 2010.
- MERDAW, A. A.; SHARIF, A. O.; DERWISH, G. A. W. Water permeability in polymeric membranes, Part I. **Desalination**, v. 260, n. 1-3, p. 180-192, 2010.
- PEREIRA, Carlos Eduardo et al. Tratamento fungicida e peliculização de sementes de soja submetidas ao armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 158-164, 2011.
- PINTO, Haline Bachmann; DE SOUZA, Bianca Miguel; DEZOTTI, Márcia. Treatment of a pesticide industry wastewater mixture in a moving bed biofilm reactor followed by conventional and membrane processes for water reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 1061-1070, 2018.
- QDAIS, Hani Abu; MOUSSA, Hassan. Removal of heavy metals from wastewater by membrane processes: a comparative study. **Desalination**, v. 164, n. 2, p. 105-110, 2004.
- REPÓRTER BRASIL. “Coquetel” com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios. Disponível em: <<https://portrasdoalimento.info/2019/04/15/coquetel-com-27-agrotoxicos-foi-achado-na-agua-de-1-em-cada-4-municipios/>>. Acessado em 31 nov. 2019.
- RODRIGUEZ-MOZAZ, Sara et al. Pharmaceuticals and pesticides in reclaimed water: efficiency assessment of a microfiltration–reverse osmosis (MF–RO) pilot plant. **Journal of hazardous materials**, v. 282, p. 165-173, 2015.
- SAITÚA, Hugo; GIANNINI, Fernando; PADILLA, Antonio Perez. Drinking water obtaining by nanofiltration from waters contaminated with glyphosate formulations: process evaluation by means of toxicity tests and studies on operating parameters. **Journal of hazardous materials**, v. 227, p. 204-210, 2012.
- SANTOS, Alexandre Luís de Azevedo. Avaliação do tratamento de efluentes sintéticos com glifosato por osmose inversa. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- SILVA, Rogério F. et al. Identificação e quantificação de contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.
- XIE, Ming; LIU, Zhiying; XU, Yanhua. Removal of glyphosate in neutralization liquor from the glycine-dimethylphosphit process by nanofiltration. **Journal of hazardous materials**, v. 181, n. 1-3, p. 975-980, 2010.