

ESTUDO DE PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA DO MAR PARA OSMOSE INVERSA EM USINAS TERMELÉTRICAS

A. A. HERINGER¹, M. ROSA¹, L. D. XAVIER¹, N. O. SANTOS² e L. YOKOYAMA¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, LabTare

² Centro de Educação tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET

E-mail para contato: andrea_heringer@hotmail.com

RESUMO – Usinas termelétricas requerem uma quantidade significativa de água. Além disso, há uma necessidade de condicionar a qualidade da água para cada uso específico. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o processo de dessalinização da água do mar através de uma combinação de processos físicos e químicos, como coagulação-floculação e filtração de areia como pré-tratamento à osmose reversa. As amostras de água salina mostraram sólidos de tamanho entre 0,458µm e 84,734µm. Testes de coagulação e floculação com PACl (cloreto de polialumínio) e polímeros floculantes foram testados. A combinação de dosagens de PACl de 30 mg / L e 0,3 mg / L de polímero aniônico Nalclear 8173 permitiu a redução dos valores de turbidez para abaixo de 1 NTU.

1. INTRODUÇÃO

A osmose inversa é de longe o mais difundido tipo de processo de dessalinização. É capaz de rejeitar quase toda a matéria coloidal ou dissolvida a partir de uma solução aquosa, produzindo uma corrente de salmoura concentrada e uma corrente de permeado que consiste de água quase pura. Embora seja usada para concentrar substâncias, o seu uso mais frequente reside nas aplicações de dessalinização (Habert *et al.*, 2006; Baker, 2004).

A osmose inversa retém quase todos os solutos dissolvidos, incluindo sais e íons, permitindo a passagem de solvente. O termo osmose inversa se deve ao fato do fluxo de permeado do processo ocorrer no sentido inverso ao do fluxo osmótico normal (Habert *et al.*, 2006; Baker, 2004).

Devido à sensibilidade a incrustação em unidades de osmose, a água de alimentação deve ter uma alta qualidade. Para assegurar desempenho estável, em longo prazo, o pré-tratamento deve fornecer água de alimentação de alta qualidade, independentemente da flutuação da qualidade da água bruta, sendo, portanto, essencial para a operação da usina. O pré-tratamento serve para reduzir o potencial de incrustação, aumentar a vida da membrana da osmose inversa, manter a eficiência do processo e minimizar o fouling na superfície da membrana (Habert *et al.*, 2006; Baker, 2004).

A água do mar apresenta elevado teor de sais, devendo ser condicionada para alimentar o processo de osmose inversa em plantas termelétricas. O pré-tratamento é um passo de processo cuidadoso para evitar danos às membranas. A coagulação-floculação é um processo usado para agregar coloides e partículas dissolvidas em flocos maiores, que podem ser

removidos por processos de sedimentação ou flotação, dependendo das características dos flocos a serem coesivos ou grumosos, respectivamente (Jinming *et al.*, 2002; Di Bernardo & Dantas, 2005).

Na coagulação, o objetivo é a desestabilização das partículas que estão em suspensão, proporcionando uma colisão entre eles. Esta desestabilização ocorre pela adição de substâncias químicas conhecidas como coagulantes. As substâncias normalmente utilizadas como coagulantes são sulfato de alumínio, sulfato ferroso, cloreto férrico, sulfato férrico e aluminato de sódio. Auxiliares também podem ser usados para coagulação, sendo o uso mais comum chamado polieletrólitos ou polímeros, por apresentar estrutura química polimérica. A floculação promove a aglomeração e compactação das partículas na formação de flocos capazes de sedimentar. Este processo é favorecido pela agitação suave, que facilita o contato entre os flocos. O processo de coagulação-floculação, no tratamento de água, é utilizado para: Remoção de turbidez; Remoção de cor; Redução de bactérias, vírus e outros agentes patogênicos; Assim como outras algas e organismos planctônicos (Kim *et al.*, 2001; Di Bernardo & Dantas, 2005).

1.1. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o processo de dessalinização da água do mar através de uma combinação de processos físicos e químicos, como coagulação-floculação e filtração de areia como pré-tratamento à osmose inversa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos de Jar Test foram realizados a partir dos dados do projeto fornecidos pela usina termelétrica Eneva, em Itaqui, estado do Maranhão, Brasil, com reprodução das condições de operação do clarificador (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados do Jar Test

Volume de água bruta	500 mL
Velocidade de mistura rápida	100 rpm
Tempo de mistura rápido	1 min
Velocidade de mistura lenta	40 rpm
Tempo de mistura lenta	15 min
Tempo de sedimentação	20 min

As amostras de água do mar foram coletadas em 1 dia sob influência de maré alta e baixa. A partir dos ensaios preliminares, procurou-se trabalhar com concentrações de 20, 30, 40, 50, 60 e 70 mg / L de PACl e variando as concentrações de polímero floculante de 0,1, 0,2 e 0,3 mg / L. Foram avaliados os seguintes parâmetros: Diferentes concentrações do coagulante PACl (Al_2O_3 - 18%); Clarificação com polímero auxiliar de floculação (Tabela 2). Após as melhores condições serem claramente definidas, as amostras de água foram filtradas por filtro de areia e o parâmetro Índice de Densidade de Siltosos (SDI_{15}) foi avaliado.

Tabela 2 – Polímeros flocculantes utilizados

Polímeros	
Aniônico	Nalclear 8173
	Magnafloc LT27
Catiônico	Nalco 8110 pulv

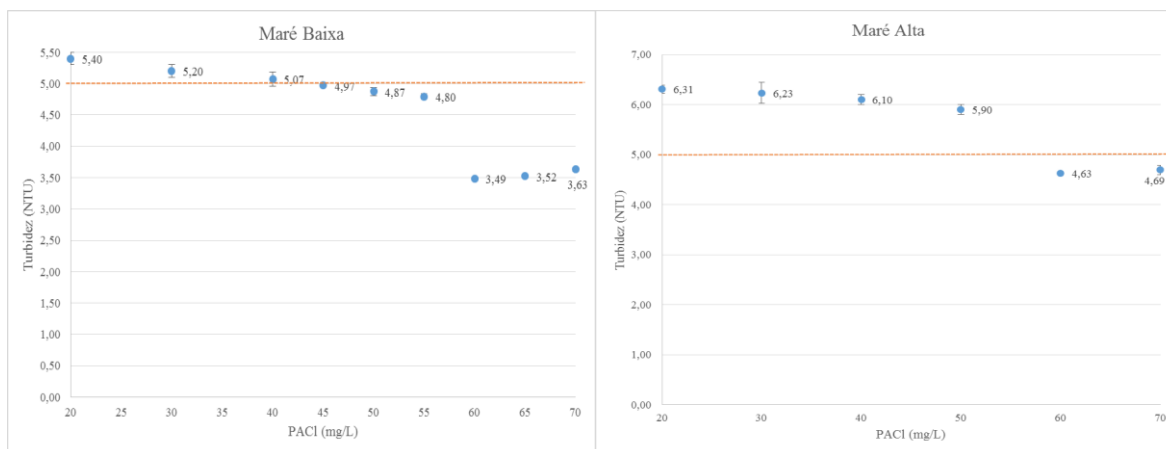
3. RESULTADOS

A água do mar foi caracterizada de acordo com APHA (2012), como mostrado na Tabela 3. A Figura 1 ilustra graficamente os resultados com as dosagens de cloreto de polialumínio, onde a meta era obter turbidez abaixo de 5 NTU.

Tabela 3 – Caracterização da água do mar.

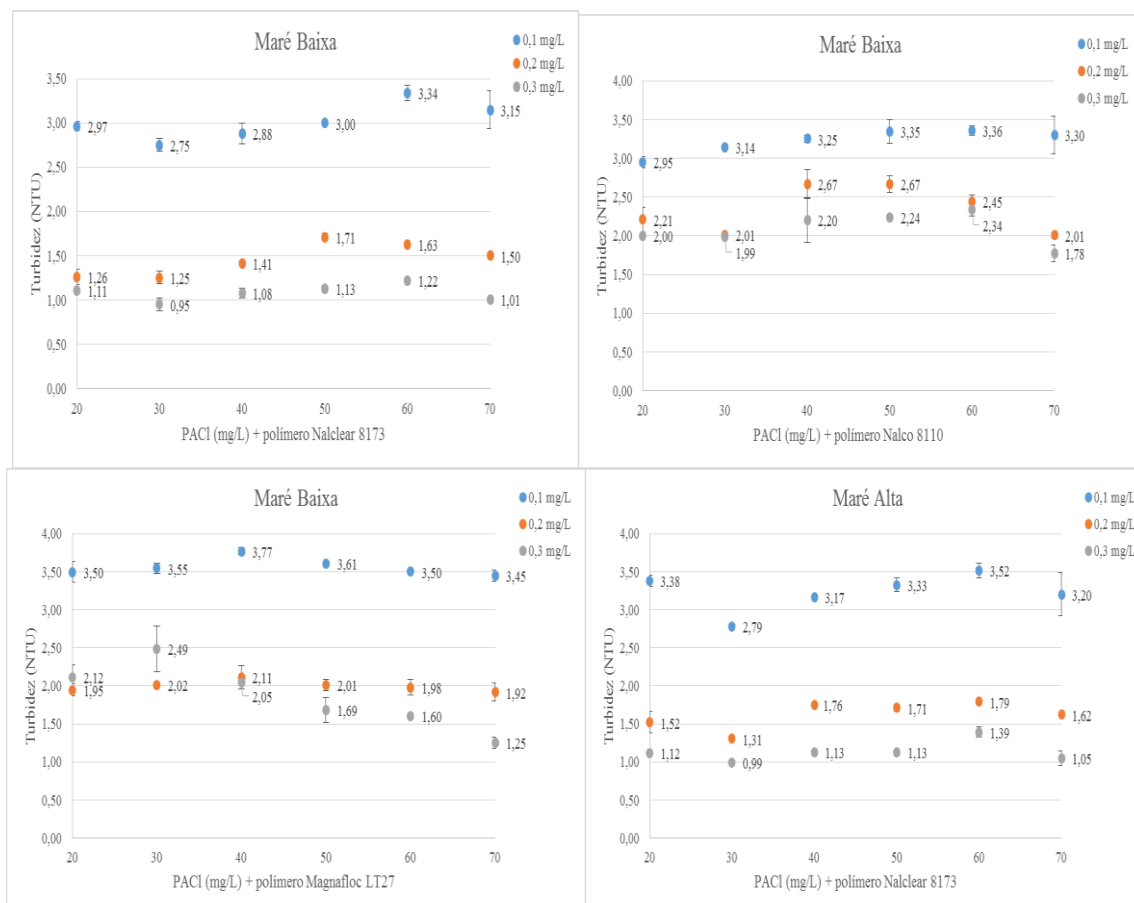
Parâmetros	Unidade	Água salina			
		Maré Baixa		Maré Alta	
		Valor	Desvio padrão	Valor	Desvio padrão
Condutividade	mS/cm	42,71	0,01	43,47	0,03
Turbidez	NTU	176,7	1,53	146,33	1,53
Sílica reativa	mg/L	3,67	0,11	3,49	0,04
Cor aparente	UC	641	4	511	7
Cor real	UC	54	7	43	4
Salinidade	%	35,6	0,2	35,5	0,3
Dureza total	mg/L	6010	84,1	5905	75
Magnésio	mg/L	1235,8	36,9	1217,1	58
DQO	mg/L	24	3	31	2
Alcalinidade	mg/L	114,3	1,2	117	1,7
Sólidos totais	mg/L	45811	2688	44731	3569
Sólidos Suspensos totais	mg/L	236	29	328	68
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	45575	2702	44403	4931
pH	-	7,39	0,01	7,41	0,02
Carbono orgânico dissolvido	mg/L	4,4	0,3	4,6	0,2
Alumínio	mg/L	0,02	0,001	0,021	0,001
Sódio	mg/L	10547	250	10520	220
Potássio	mg/L	413	32	399,5	30
Cálcio	mg/L	372,3	30,2	361,1	12
Cloreto	mg/L	19717	136	19627	160
Sulfato	mg/L	2496,9	10	2351,8	80

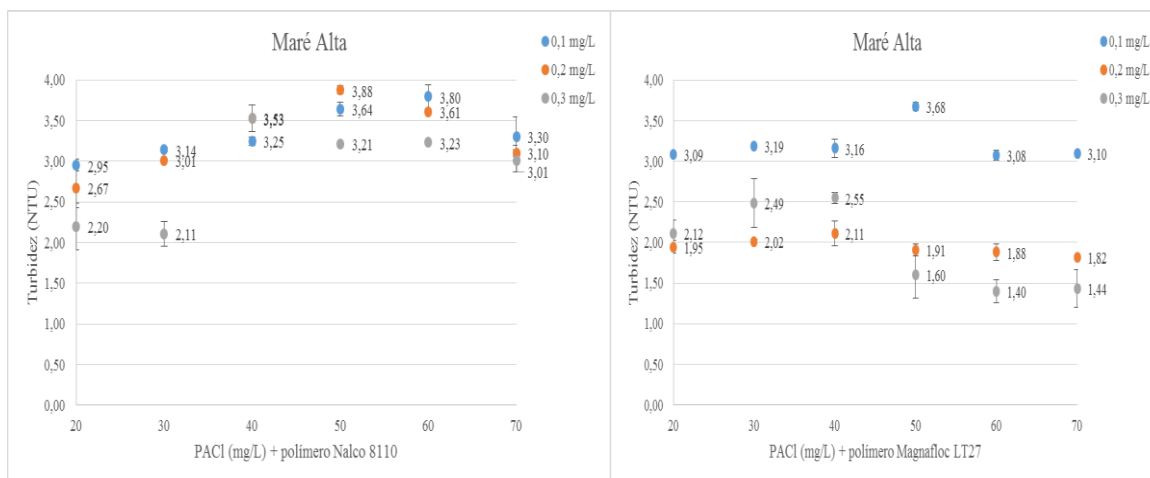
Figura 1 – Resultados com as dosagens de PACI



A partir dos resultados apresentados, pode-se sugerir o uso de polímeros auxiliares para a floculação, para aumentar a eficiência do processo, avaliando a turbidez ao final do Jar Test. Os resultados são mostrados na Figura 2 para todas as amostras, onde podemos observar o melhor desempenho do polímero Nalclear 8173.

Figura 2 - Resultados com as dosagens de PACI (mg/L) + polímero floculante (mg/L).





Após escolha das melhores condições, mostradas na Tabela 4, foram realizados ensaios de caracterização, incluindo o teste SDI e alumínio total (Hach kit 8326). Após a caracterização, as amostras foram filtradas através de coluna de areia com um tamanho médio de partícula de 1,00 mm de valor, utilizando o fluxo de operação da bomba peristáltica de 0,1 L / min, diâmetro do leito 2,8 cm e altura de 57 cm. Os resultados da caracterização das amostras clarificadas e posteriormente filtradas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 – Melhores condições experimentais.

Condição	Maré	PACI (mg/L)	Nalclear 8173 (mg/L)	Turbidez (NTU)
1	Baixa	30	0,3	0,95
2	Alta	30	0,3	0,99

Tabela 5 - Resultados da caracterização das amostras brutas, clarificadas e filtradas

Parâmetros	Unidade	Condição 1			Condição 2		
		Água bruta	Água clarificada	Água filtrada	Água bruta	Água clarificada	Água filtrada
Turbidez	NTU	176,7	0,95	0,69	146,3	0,99	0,62
Alumínio	mg/L	0,02	0,024	0,024	0,021	0,025	0,025
Dureza total	mg/L	6010	5964	5960	5905	5890	5880
Sólidos totais	mg/L	45811	42025	41900	44731	42761	42710
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	236	10	4	328	8	4
SDI ₁₅	---	---	5,04	4,83	---	5,3	5

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Optou-se por não efetuar o ajuste do pH no teste Jar Test devido a resultados satisfatórios com o pH da amostra bruta, além do uso de um dispersante em estágios

posteriores da osmose inversa cujo desempenho está comprometido acima de pH 7,80. Observa-se que não se pode estabelecer uma relação direta entre o nível das marés e as melhores concentrações de PACl, bem como diretamente relacionado ao valor inicial da turbidez. O uso de polímero Nalclear 8173 possibilitou a melhor redução de turbidez com baixa dosagem de PACl,

De acordo com os resultados, podemos concluir que, para as duas concentrações de PACl nas condições determinadas, a quantidade total de alumínio nas amostras filtradas está abaixo do conjunto de projeto (máximo 0,05 mg/L). Em relação ao valor SDI, está dentro de 5 unidades de valor (valor máximo estabelecido no projeto para entrada da água clarificada nos módulos de osmose inversa - OI). Este resultado permite inferir a necessidade de etapas adicionais ou alternativas para a filtração de areia ocorrerem para reduzir o valor de SDI para garantir a durabilidade da membrana RO (GAID & TREAL, 2007; HABERT et al., 2006).

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, podemos concluir que, a combinação de processos de coagulação-floculação-sedimentação-filtração em areia permite adequar a água do mar para uso em processos de osmose inversa, reduzindo sua turbidez, concentração de sólidos e SDI15. O alumínio residual encontra-se dentro dos limites recomendados, não agredindo a membrana de osmose inversa, assegurando a viabilidade de uso do coagulante.

6. REFERÊNCIAS

- APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22nd ed. Washington: APHA; AWWA; WEF, 2012.
- BAKER, R. W. *Membrane Technology and Applications*, 2ª edição, John Wiley & Sons, 2004.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. Ed. São Carlos: RiMA, 2005.
- GAID, K.; TREAL, Y. Reverse osmosis desalination: The experience of Veolia Water. *Desalination* 203, p. 1-14. 2007.
- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. *Processos de Separação por Membranas*. E-papers Serviços Editoriais Ltda. Rio de Janeiro, pp. 180, 2006.
- JINMING, D.; JIANHUI, W.; NIGEL, G.; FRANCIS, W. Coagulation of humic acid by aluminium sulphate in saline water conditions. *Desalination*, v. 150, p. 1-14, 2002.
- KIM, S.; MOON, B.; LEE, H. Effects of pH and dosage on pollutant removal and floc structure during coagulation. *Microchemical Journal*, v. 68, p. 197 – 203, 2001.