



15º Congresso Nacional de Iniciação Científica

TÍTULO: ANÁLISE DA POTÊNCIA CONSUMIDA NA AGITAÇÃO DE SOLUÇÕES DE CARBOXIMETILCELULOSE EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS.

CATEGORIA: CONCLUÍDO

ÁREA: ENGENHARIAS E ARQUITETURA

SUBÁREA: ENGENHARIAS

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

AUTOR(ES): LUCAS RAFAEL BUENO DE ARANTES, GUILHERME BRIER KOCH

ORIENTADOR(ES): DEOVALDO DE MORAES JÚNIOR, VITOR DA SILVA ROSA

Realização:



Apoio:



1) Resumo

Os tanques com impulsores mecânicos são empregados nas indústrias químicas, petroquímicas, alimentícia, farmacêutica e mineral, como reatores, diluidores, decantadores, misturadores e trocadores de calor. O projeto de um tanque com agitação consiste basicamente na determinação da potência consumida pelo impulsor mecânico em função das propriedades físicas do fluido e da geometria do sistema. Muitos dos fluidos utilizados em processos que envolvem agitação são fluidos não-newtonianos, como por exemplo, soluções aquosas de carboximetilcelulose. A atual literatura carece de informações de relações de potência com a rotação do impulsor mecânico em várias geometrias na agitação dos fluidos não-newtonianos. Logo, o presente trabalho teve por objetivo determinar a potência consumida em função da rotação de um impulsor axial e um impulsor radial na agitação de soluções aquosas de carboximetilcelulose com concentrações de 0,5% e 1,0% (% massa) em um tanque de 2 litros com e sem chicanas. Os experimentos foram realizados em uma unidade experimental composta por um tanque de vidro com volume útil de 2 litros, um motor elétrico com rotação variável, um impulsor mecânico axial com quatro pás inclinadas a 45°, um impulsor radial tipo turbina com seis pás planas, um tacômetro e um dinamômetro. As rotações empregadas no estudo foram de 600 a 2600 rpm e o tanque foi dotado com chicanas e também sem chicanas. Os resultados obtidos permitiram gerar curvas da potência média consumida pelos impulsores mecânicos em função das soluções de carboximetilcelulose em diferentes concentrações e da presença das chicanas no tanque. Concluiu-se que para rotações inferiores a 1000 rpm não há uma variação significativa da potência consumida nas condições estudadas. Entretanto, para rotações acima de 1000 rpm, observou-se um percentual médio de aumento de 42% na potência consumida na agitação da solução de carboximetilcelulose a 0,5% quando o tanque estava sem chicanas e posteriormente com chicanas. Com a solução de carboximetilcelulose de 1,0%, as variações na potência consumida foram de apenas 14%, em média.

Palavras chave: Potência consumida, tanque com agitação, carboximetilcelulose, impulsor mecânico.

2) Introdução

Os tanques com impulsores mecânicos são empregados em praticamente em todos os setores industriais como os químicos, petroquímicos, alimentícios, mineral e têxtil. Os tanques são usados nos setores industriais supracitados como reatores químicos, destiladores, solubilizadores, extratores, decantadores, armazenadores, trocadores de calor, cristalizadores e flotadores.

Um dos principais parâmetros de projeto de um tanque com impulsor é a determinação da potência dissipada no sistema de agitação, que é fundamental para uma análise energética do sistema, de tal forma que a escolha do motor elétrico está envolvida diretamente com a determinação dessa potência (Armenante E Chang, 1998). A potência consumida pelo impulsor mecânico depende do tipo do impulsor, da rotação, densidade, viscosidade, dimensões do tanque, geometria da superfície de transferência de calor, posição do impulsor, vórtice e forças gravitacionais.

Existem diversas técnicas, diretas e indiretas, para estimar a potência consumida em um tanque com impulsor, como por exemplo, a fluido dinâmica computacional (CFD), que tenta estimar modelos a partir de dados experimentais realizados em unidades piloto e de bancada. Os modelos de previsão podem ser deduzidos de forma numérica a partir das equações de Navier-Stokes ou através da análise dimensional na unidade de agitação (Taghavi et. al., 2011).

Entretanto, muitos fluidos utilizados nos processos em tanques com agitação são não newtonianos, ou seja, não há uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento, o que acarreta em variações da viscosidade conforme a rotação do impulsor mecânico atua no sistema (Chhabra, 2008).

As soluções poliméricas, vastamente utilizadas nos processos industriais, são fluidos não newtonianos, como por exemplo as soluções aquosas de carboximetilcelulose (CMC), a qual tem aplicações como: a) espessadoras, b) estabilizantes, c) agente de suspensão, d) gel acoplante para ensaios de ultrassom, e) matriz estrutural para outros polímeros, f) Base para colas e g) Meio suporte para reações bioquímicas (Kelessidis, 2011).

A atual literatura carece de informações sobre o consumo de potência na agitação de soluções poliméricas em tanques com agitação, desta forma, esse

trabalho visou estudar a influência da rotação dos impulsores mecânicos no consumo de potência com diversas concentrações de CMC em água.

3) Objetivo

O presente estudo teve por objetivo determinar a potência consumida em função da rotação de um impulsor axial e um impulsor radial na agitação de soluções aquosas de carboximetilcelulose com concentrações de 0,5% e 1,0% (% massa) em um tanque de 2 litros com e sem chicanas.

4) Metodologia

A unidade experimental utilizada nos experimentos foi composta de um tanque de vidro com volume útil de 2 litros, 4 chicanas de aço inoxidável alocadas de forma diametralmente opostas entre si, um motor elétrico, um impulsor axial com 4 pás inclinadas a 45° e um impulsor radial tipo turbina com 6 pás planas. A unidade experimental está apresentada na Figura 1.



Figura 1 – Unidade experimental

Foram preparadas duas soluções aquosas de carboximetilcelulose com concentrações de 0,5% e 1,0%. A carboximetilcelulose apresenta uma propriedade de absorção contínua de água, ou seja, suas propriedades reológicas variam com o tempo de absorção de água. Logo, visando padronizar um tempo de preparo de solução, optou-se por deixá-las descansando por 3 dias antes de realizar os experimentos.

Foi escolhido esse tempo, pois a absorção de água é intensa apenas no 1º e 2º dia após o preparo das soluções. Os ensaios foram realizados em função do tipo de impulsor, da presença das chicanas e da concentração da solução.

No total, foram realizados 8 ensaios, sendo os quatro primeiros com a solução de carboximetilcelulose de 0,5% com o uso dos impulsores do tipo axial e radial, e com ou sem a presença das chicanas. De forma análoga, repetiram-se as mesmas condições para a solução de carboximetilcelulose de 1,0%.

As rotações utilizadas no estudo compreenderam o intervalo de 600 rpm a 2600 rpm, determinadas assim em função dos limites da unidade experimental. A potência consumida foi determinada através do uso de um dinamômetro.

O método foi baseado na 3ª lei de Newton, em que o impulsor mecânico provoca o movimento do fluido e este, por sua vez, produz torque no impulsor mecânico, o qual é transmitido ao motor elétrico. Baseado neste princípio, o tanque foi colocado em balanço sobre rolamentos. Com o dinamômetro foi possível medir essa força gerada pelo torque e relacioná-la com a rotação do impulsor mecânico e o braço, conforme apresentado na Equação 1.

$$P = 2\pi \cdot F \cdot N \cdot B \quad (1)$$

Em que F é a força medida em Newton, N é a rotação do impulsor mecânico em rps e B é o braço medido desde o centro do eixo do impulsor mecânico até uma distância arbitrária em metros e P é a potência consumida em Watts. A vantagem desse método é a facilidade da coleta de dados e se o rolamento sobre o qual o motor estiver alocado for livre de imperfeições, a resistência por atrito é mínima, o que garante muita confiabilidade nos dados gerados pelo modelo. A desvantagem dessa técnica é a dificuldade de colocar

grandes tanques sobre rolamentos e evitar o atrito entre os mesmos (Moraes Júnior e Moraes, 2011).

Foram utilizados três braços com os seguintes valores: braço 1 de 248 mm, braço 2 de 192 mm e braço 3 de 134 mm. Com o dinamômetro mensurou-se três forças correspondentes a cada braço em função de cada rotação, de tal forma que foram calculadas três potências e posteriormente a potência média.

5) Desenvolvimento

Uma importante relação acerca da potência consumida em um tanque em função da rotação, das características dimensionais e das propriedades físicas do fluido, é expressa por:

$$\frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_{imp}^5} \text{ é função do Reynolds } \left(\frac{N \cdot D_{imp}^2 \cdot \rho}{\mu} \right) \quad (2)$$

Em que P é a potência consumida em Watts, N é a rotação em rps, D_{imp} é o diâmetro do impulsor em metros, ρ é a densidade do fluido em kg/m^3 e μ é a viscosidade dinâmica em $kg/m.s$.

O primeiro membro da equação (2) é o número de potência e o segundo membro caracteriza o número de Reynolds modificado para tanques com agitação.

Na Figura 2 está ilustrado o tradicional diagrama para determinação do número de potência em função do número de Reynolds para diversos tipos de impulsores (MacCabe, Smith e Harriot, 2001). O número de potência decresce com o aumento do número de Reynolds, enquanto que a potência consumida aumenta em função do incremento da rotação.

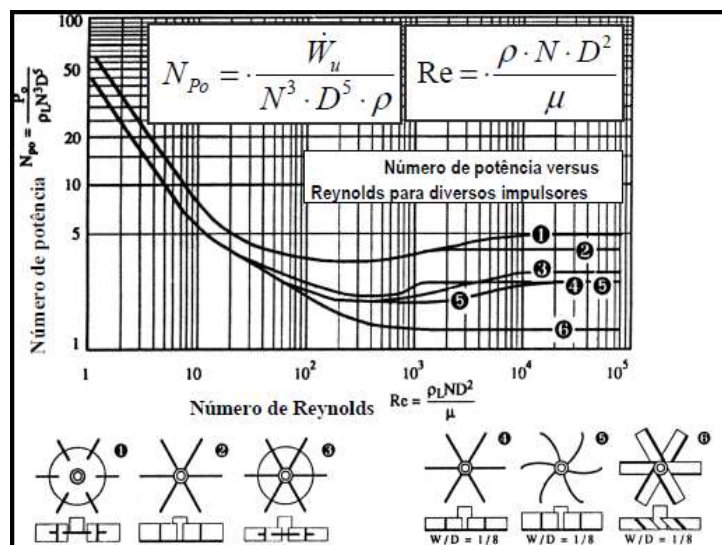


Figura 2 – Diagrama do número de potência em função do número de Reynolds

O número de potência é um parâmetro que permite determinar a potência teórica que um motor elétrico consumiria para agitar um fluido, sendo que a mesma é obtida a partir da relação entre a potência consumida pelo impulsor e a rotação. Entretanto, para fluidos não-newtonianos, como estudado neste trabalho, a determinação do número de potência em função do número de Reynolds, a partir da potência consumida, é de difícil determinação devido a variação da viscosidade. Ressaltando que o escopo deste trabalho foi determinar o comportamento da potência consumida com as diferentes soluções de CMC em função da rotação, não determinando o número de potência em função do número de Reynolds.

6) Resultados

Com os dados obtidos das forças em cada experimento, foram calculadas as potências médias consumidas pelos impulsores utilizados em cada condição.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com a agitação da solução de carboximetilcelulose com concentração de 1% com o impulsor radial e o tanque contendo chicanas.

Tabela 1 – Resultados para solução CMC 1,0% - impulsor radial e tanque com chicanas

N (rpm)	F-1 (N)	P-1 (W)	F-2 (N)	P-2 (W)	F-3 (N)	P-3 (W)	P média (W)
597,20	0,02	0,310	0,03	0,36	0,04	0,34	0,335
709,20	0,04	0,737	0,05	0,71	0,06	0,60	0,682
823,20	0,04	0,855	0,05	0,83	0,07	0,81	0,830
917,60	0,06	1,430	0,07	1,29	0,09	1,16	1,293
1032,00	0,07	1,876	0,08	1,66	0,13	1,88	1,806
1212,00	0,10	3,148	0,11	2,68	0,16	2,72	2,850
1408,00	0,12	4,388	0,15	4,25	0,22	4,35	4,327
1620,00	0,15	6,311	0,20	6,51	0,27	6,14	6,321
1807,00	0,19	8,916	0,24	8,72	0,35	8,87	8,837
2008,00	0,23	11,994	0,32	12,92	0,44	12,40	12,437
2210,00	0,30	17,218	0,39	17,33	0,54	16,75	17,098
2386,00	0,34	21,068	0,45	21,59	0,68	22,77	21,808

Da mesma forma, foram obtidas tabelas análogas a Tabela 1 para as outras condições experimentais realizadas no presente estudo.

A Figura 3 apresenta as curvas de potência consumida em função de rotação para as soluções de carboximetilcelulose com os impulsores axial e radial para o tanque contendo chicanas e a Figura 4 apresenta as mesmas curvas, entretanto, com o tanque sem chicanas.

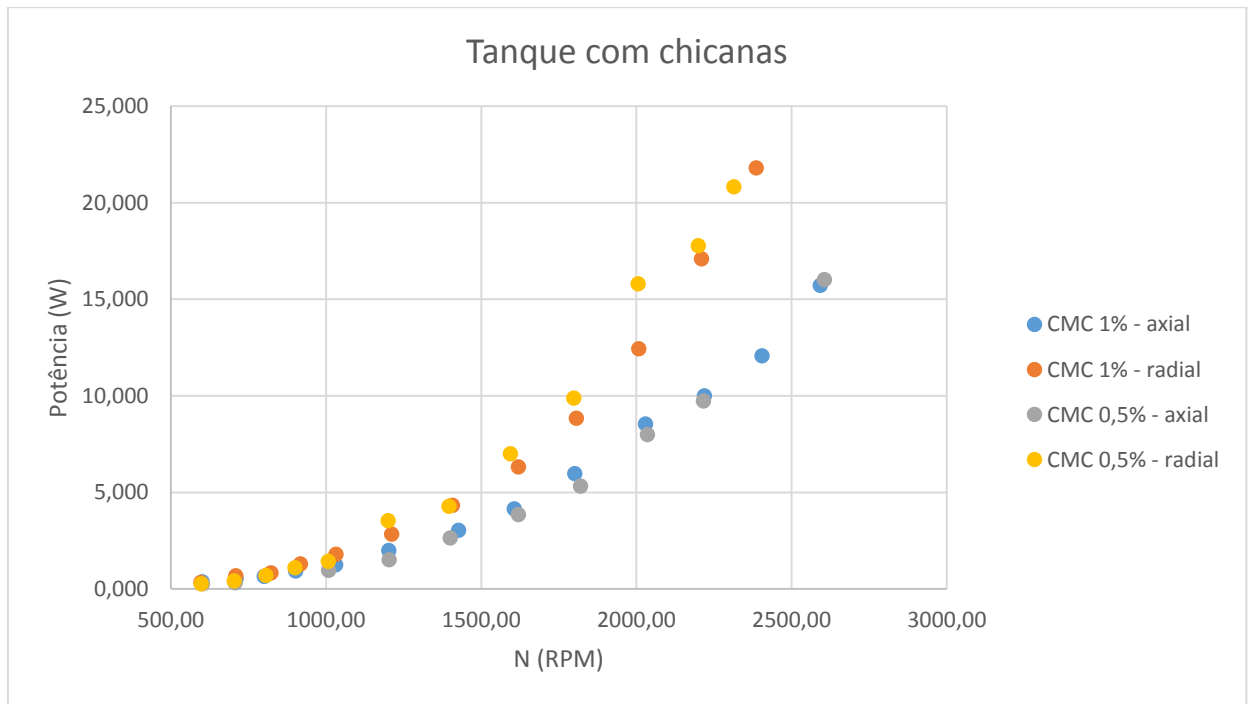


Figura 3 – Curvas de potência – Tanque com chicanas

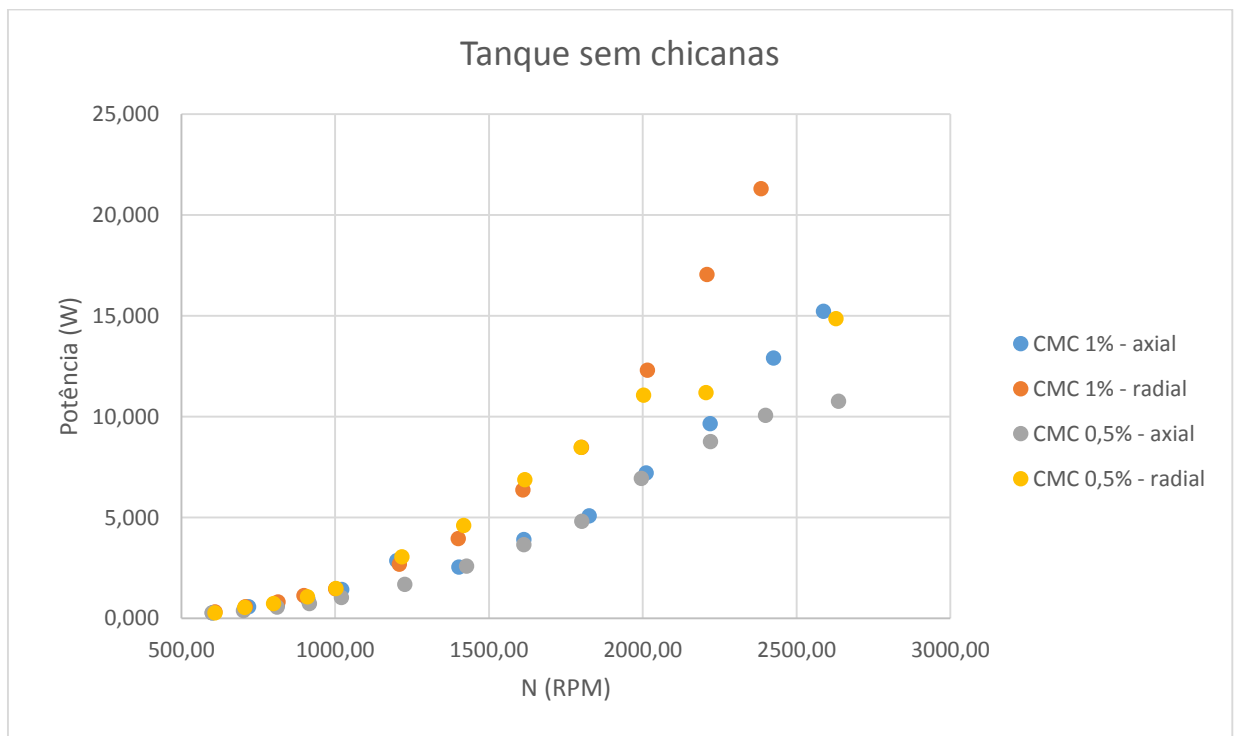


Figura 4 – Curvas de potência – Tanque sem chicanas

Pode-se observar nas Figuras 3 e 4 que há uma diferença significativa da potência consumida a partir das rotações superiores a 1000 rpm, sendo, que antes dessa rotação, o tipo de impulsor e a concentração da solução de CMC provocam o mesmo consumo de potência.

Visando comparar o consumo de potência nas condições estudadas, selecionou-se a rotação de 2000 para efetuar as comparações, em que os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparações das potências com rotação de 2000 rpm

	Tanque sem chicanas	Tanque com chicanas	% de aumento da potência
	Potência (W)	Potência (W)	
CMC 0,5% - axial	6,93	9,74	40,5%
CMC 0,5% - radial	11,07	15,80	42,7%
CMC 1,0% - axial	7,00	8,00	14,3%
CMC 1,0% - radial	12,31	12,43	0,97%

Com os resultados obtidos na Tabela 2 pode-se observar que os aumentos mais significativos da potência consumida ocorreram com a solução de carboximetilcelulose de 0,5%. Nessa concentração, as variações de viscosidade não são muito distantes de um fluido newtoniano, sendo que com a colocação das chicanas, o escoamento da solução ao ser agitado se tornou mais vigoroso e, portanto, ocorreu um aumento da potência consumida pelos impulsores mecânicos, de forma similar tanto com o impulsor axial e com o impulsor radial (40,5% e 42,7%, respectivamente).

Entretanto, com a solução de carboximetilcelulose de 1,0%, como a mesma já possui um grande afastamento de variações viscosas de um fluido newtoniano e por estar perto da saturação do polímero na água, a presença de chicanas ofereceu uma maior resistência com o uso do impulsor axial (cerca de 14,3%) e praticamente a mesma resistência com ou sem chicana com o uso do impulsor radial (0,97%). Isso é explicado devido aos elevados gradientes de viscosidade da solução no tanque, de tal forma, que apenas o fluido próximo ao

impulsor é agitado, enquanto que as porções de fluido das periferias, as quais estão em contato com as chicanas, recebem pouca transferência de quantidade de movimento, desta forma seria como se as chicanas não estivesse presente no sistema.

7) Considerações Finais

Com rotações inferiores a 1000 rpm não há uma diferença significativa do consumo de potência pelo impulsor mecânico no tanque com ou sem chicanas e na agitação das soluções de carboximetilcelulose estudadas.

Nas rotações superiores a 1000 rpm concluiu-se que:

- a) Com a solução de carboximetilcelulose de 0,5% a presença de chicanas influi de forma significativa no consumo de potência pelos impulsores mecânicos, devido a maior resistência ao escoamento.
- b) A solução de carboximetilcelulose de 1,0% devido aos elevados gradientes de viscosidade provocados pela agitação do impulsor mecânico, as chicanas não influenciaram o consumo de potência do impulsor mecânico devido a sua localização espacial ser na periferia do tanque.

8) Fontes consultadas

Armentante, P. M. and Chang, G. M., Power Consumption in Agitated Vessels Provided with Multiple-Disk Turbines, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 37, p.284-291, 1998;

Taghavi, M., Zadghaffari, R., Moghaddass, J., Moghadass, Y., Experimental and CFD Investigation os Power Consumption in a Dual Rushton Turbine in Stirred Tank. **Chemical Engineering Research and Design**, 89, p. 280-290, 2011;

Kelessidis, V. C., Poulakakis, E., Chatzistamou, V., Use of Carbopol 980 and carboxymethyl cellulose polymers as rheology modifiers of sodium – bentonite water dispersion. **Applied Clay Science**, 54 (2011), p.63-69;

Moraes Júnior, D., Moraes, M. S., Laboratório de Operações Unitárias I, 1ªEd., Brasil, Edição do autor, 2011;

McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P., Unit Operations of Chemical Engineering, 6ª Ed., United States of America, McGraw-Hill, 2001;

Chhabra, R. P., Richardson, J. F., Non newtonian flow and applied rheology. Butterworth-Heinemann / IChemE. Second Edition, 2008;