

ANÁLISE DOS MODELOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS PARA A TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA NA AGITAÇÃO DE LÍQUIDOS - SISTEMAS HOMOGÊNEOS

Eduardo Ramos Ferreira da Silva (1); Luiz Roberto Terron (2)

(1) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira", São Paulo, SP, CEP 05508-900, Tel.: (011) 817-7632 - Fax (011) 814-4695.

(2) Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira", Av. Prof. Mello de Moraes, 2373, São Paulo, SP, CEP 05508-900, TEL.: (011) 818-5640 - Fax: (011) 211-3020

ABSTRACT

Some of the models commonly used to calculate the power consumption in homogeneous newtonian liquids agitation are presented. These models are applied to a particular case for comparison purposes

1. INTRODUÇÃO

O estudo ora apresentado é decorrência do dimensionamento de agitadores utilizados em misturas formadas, por exemplo, na dissolução de "yellow cake" com ácido nítrico, na maturação de nitrato de uranila (NTU), no preparo de soluções de NaF (fluoreto de sódio) e de KF (fluoreto de potássio), ou seja, no processo de conversão do "yellow cake" a hexafluoreto de urânio. Verificava-se que os pré-dimensionamentos não se apresentavam coerentes com os fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos.

Conforme citado por Coulson e Richardson [1], "o problema de misturar duas ou mais substâncias revelou-se uma das mais intratáveis entre todas as operações unitárias da tecnologia química e a grande maioria do equipamento industrial ainda é projetado com base na experiência e não em qualquer teoria aceita".

Além de todas as dificuldades para a obtenção das características geométricas envolvidas no estudo dos agitadores, o cálculo da potência consumida é de vital importância para as aplicações industriais.

Verifica-se que os autores vêm se preocupando como assunto desde a década de 1920, quando foram obtidos os primeiros dados experimentais. Posteriormente, com a dificuldade de se apresentar um modelo que atendesse as equações básicas de Navier-Stokes, os autores procuraram correlações a partir da análise dimensional, que geralmente apresentam a potência consumida em função do número de

Reynolds. Outros procuraram ou resolver as equações da continuidade ou correlações empíricas que corrigem as simplificações teóricas.

Devido as dificuldades encontradas, tais modelos são válidos para alguns tipos de agitadores e, com características geométricas específicas.

O presente trabalho visa fazer uma apresentação de alguns modelos utilizados para o cálculo da potência consumida na agitação de líquidos newtonianos homogêneos e aplicados ao mesmo tipo de agitador, a fim de se poder compará-los entre si.

Apesar da diversidade, os resultados gerados pelos modelos estudados são praticamente coincidentes nas regiões de fluxo laminar e nas de regime altamente turbulento, de maneira que, nestas faixas, os modelos mais simples podem ser utilizados com precisão adequada.

2. MODELOS PARA A TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA NA AGITAÇÃO DE LÍQUIDOS: SISTEMAS HOMOGÊNEOS

Para melhor organização do texto, os modelos foram divididos em três grupos [2], a saber:

- 1.- modelos teóricos: aqueles baseados nas equações de conservação de Navier-Stokes;
- 2.- modelos semi-empíricos: partem dos modelos teóricos e os simplificam através de correlações experimentais;
- 3.- modelos empíricos: aqueles baseados exclusivamente em dados experimentais;

os quais serão expostos a seguir.

2.1- Modelos Teóricos

Foram encontrados, na literatura, basicamente, dois exemplos de modelagem teórica: o primeiro apresentado por Brauer [3] e o segundo por Nagata [4].

O modelo de Brauer [3] baseia-se no fato de que, em um fluxo agitado em regime laminar, o fluido contido em um volume cilíndrico gerado pelo agitador comporta-se como um corpo sólido e quando transfere energia ao líquido, o agitador promove dois tipos de fluxos, um devido à rotação e um outro devido às forças tangenciais.

Thiele (1972) já havia equacionado a transferência de energia através dessas superfícies considerando o caso de um fluxo laminar em um fluido newtoniano [5].

O modelo de Nagata [4] correlaciona a potência com as características geométricas do vórtex formado quando da agitação do líquido e com as características do fluido.

2.2- Modelos Semi-Empíricos

Brauer [3] apresenta um interessante equacionamento para o cálculo do número de potência, N_p , obtido a partir do desenvolvimento teórico aplicado no regime laminar e implementado por correlações experimentais encontradas na literatura até 1974.

Tais correlações procuram corrigir o modelo teórico nos regimes de transição e turbulento a partir das características geométricas do tanque agitado e do agitador, sendo desenvolvidas para agitadores do tipo pás e do tipo turbina, considerando também, em ambos os casos, a existência ou não de chicanas.

Conforme apresentado por Brauer [3], três características geométricas são fundamentais no estudo da transferência de energia ao líquido: diâmetro, altura e número de lâminas do agitador.

2.3- Modelos Empíricos

Apenas a nível de comparação, foram escolhidos dois tipos de modelos empíricos: o apresentado por Pavlov [6] e o apresentado por Nagata [4].

3. CÁLCULO COMPUTACIONAL

Foi feito um programa computacional em linguagem Turbo-Pascal, versão 5.0, denominado AGITADOR, que contempla o modelo de Brauer [3], denominado modelo 1, o modelo de Pavlov [6], denominado modelo 2, e o modelo empírico de Nagata [4], denominado modelo 3. Não foram feitas considerações sobre os modelos teóricos devido a falta de informações. O programa gera um arquivo de saída que pode ser lido por um programa gráfico que plotará número de potência como uma função do número de Reynolds ($N_p = f(Re)$).

O programa contém os parâmetros de cálculo para as seguintes situações:

- 1 - tipo pás com 2 lâminas (modelo 2)
- 2 - idem ao 1, com lâminas inclinadas à 45° (modelo 2)
- 3 - tipo pás, com 4 lâminas (modelo 2)
- 4 - idem, com lâminas inclinadas à 45° (modelo 2)
- 5 - idem, com lâminas inclinadas à 60° (modelo 2)
- 6 - tipo âncora, com 2 lâminas (modelo 2)
- 7 - tipo hélice, com pás inclinadas de $22,5^\circ$ (modelo 2)
- 8 - tipo hélice, com 2 pás (modelo 2)
- 9 - tipo turbina, com 3 pás (modelo 2)
- 10 - tipo turbina, com 6 pás e disco difusor (modelo 2)
- 11 - modelo 1 aplicado a agitador tipo pás sem chicanas
- 12 - modelo 1 aplicado a agitador tipo turbina sem chicanas
- 13 - modelo 1 aplicado a agitador tipo pás com chicanas
- 14 - modelo 1 aplicado a agitador tipo turbina com chicanas
- 15 - modelo 3

Conforme o item escolhido há a necessidade de entrada de mais dados, que serão as características geométricas do agitador.

Se todos os intervalos de validade das equações forem obedecidos, será gerado um arquivo de dados. Se não, o programa informará a inconsistência dos dados e solicitará novas entradas dos mesmos.

4. RESULTADOS

De posse do programa AGITADOR, foram analisados os três modelos apresentados. Verificou-se que, para o caso do modelo 1 (Brauer, [3]) :

- contrariamente ao apresentado em McCabe [7], o N_p não tende a um valor constante após Re com valor igual a 10 ,
- não é feita nenhuma referência a presença ou não de chicanas.

No caso do modelo 2 (Pavlov.), nota-se que:

- já há uma maior aproximação com o comportamento das curvas apresentado em McCabe [7];
- observa-se também que, desde que as características geométricas sejam as mesmas para agitadores tipo pás e tipo turbinas, praticamente não há variação para os resultados, tanto no caso de haverem chicanas, como não.

Para o caso do modelo 3 (Nagata, [4]) são válidas as mesmas observações feitas ao modelo 1.

Apenas para comparação, plotamos o figura 1, onde são apresentadas as curvas para um mesmo agitador, tipo pás, com duas lâminas, com e sem chicanas, quando calculadas pelos três modelos citados anteriormente. Pode-se notar que:

- 1- para $Re < 100$ há uma grande variação de N_p dependendo da equação utilizada (até 800 %);
- 2- para $Re > 1000$ e considerando-se que as curvas 11 e 15, do figura 1 referem-se a ausência de chicanas, vê-se que os modelos praticamente fornecem o mesmo valor de N_p , com uma variação máxima de 42 % para $Re = 10.000$ e, após esse Re , os valores tendem a se igualar.

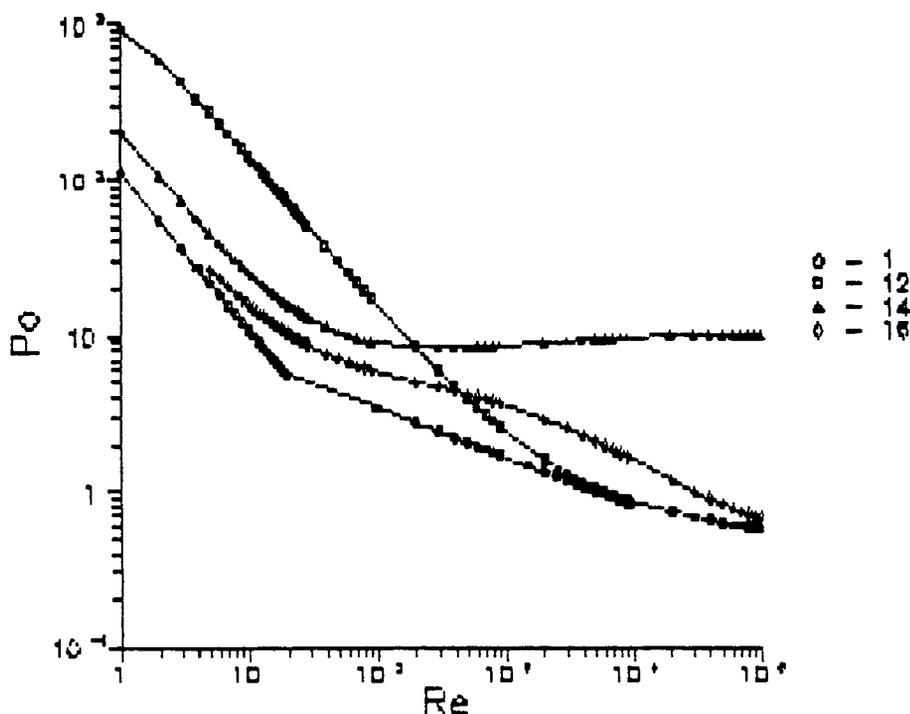


Figura 1: Comparação entre os Modelos para um Agitador Tipo Pás

Assim pode-se supor que, quanto mais turbulento for o regime, menos complexo pode ser o modelo aplicado. O mesmo é válido para o regime laminar.

Desta forma compreende-se o equacionamento proposto por Rushton [8] e apresentado por Terron [5].

Conforme pode ser visto em Rushton [8], para $Re < 10$, N_p é proporcional a uma constante e inversamente proporcional a Re , enquanto que para $Re > 10.000$, o N_p é proporcional a uma constante.

Outro fato que pode ser ressaltado é que, embora se tenha aqui procurado comparar os resultados com os apresentados na literatura, não se encontraram curvas que representassem as características geométricas analisadas, [9], [10], [11], [12] e [13].

4. SIMBOLOGIA

N_p : número de potência

Re : número de Reynolds

5. REFERÊNCIAS

- [1] COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F. Tecnologia Química, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2 ed., 1962.
- [2] SILVA, E.R.F.; TERRON, L.R. Modelos Teóricos e Empíricos para a Transmissão de Potência na Agitação. In 10 Congresso Brasileiro de Engenharia Química - São Paulo, 1994.
- [3] BRAUER, H. Biotechnology, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Federal Republic of Germany, 1985.
- [4] NAGATA, S. Mixing, A Halsted Press Book, Toquio, 1st ed., 1975.
- [5] TERRON, L.R. Conceitos fundamentais da agitação em líquidos. Apostila do Curso PQI 816, EPUSP, 1992.
- [6] PAVLOV, K.F.; ROMANKOV, P.G.; NOSKOV, A.A. Examples and problems to the course of unit operations of chemical engineering, MIR, Moscow, 1st ed., 1979.
- [7] MCCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOTT, P. Unit operations of chemical engineering, McGraw-Hill, USA, 4th ed., 1985.
- [8] RUSHTON, J.H. Mixing technology, Ind. Eng. Chem., n^o 8, p. 55-58, Aug., 1952
- [9] GUPTA, S.K. Momentum transfer operations, Tata McGraw-Hill, Delhi, 1st ed., 1979.
- [10] TREYBAL, R.E. Mass-Transfer Operations, McGraw-Hill, USA, 5th pr., 1980
- [11] ULBRECHT, J.J.; PATTERSON, G.K. Mixing of liquids by mechanical agitation, Gordon and Breach Science Publishers, USA, 1st ed., 1985.
- [12] UHL, V.W., GRAY, J.B. Mixing - Theory and Practice, AP, USA, 2nd. pr., 1966.
- [13] WOOD, J.C.; WHITTEMORE, E.R.; BADGER, W.L. The measurement of performance, Chem. Met. Eng., v. 27, p. 1176, 1922.