

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DA REDUÇÃO DE ARRASTO INDUZIDO POR POLÍMEROS EM ESCOAMENTOS INTERNOS TURBULENTOS EM DUTOS

Luiz Paulo de Oliveira Queiroz, luiz.paulo@ifce.edu.br¹
Kleiber Lima de Bessa, klbessa@ct.ufrn.br²
José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br²
Aneke Allen Medeiros Morais, aneke_soad@yahoo.com.br²
Rafael de Carvalho Lima, rafa_rafinharn@yahoo.com.br²
Oto Lima de Albuquerque Neto, oto_lima@hotmail.com²
Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz, pauloricardo.eq@hotmail.com³

¹IFCE, Campus Tabuleiro do Norte, Rodovia CE 377, km 2, Sítio Taperinha, CEP 62960-000, Tabuleiro do Norte-CE.

²UFRN, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal-RN.

³UFERSA, Campus Central, R. Francisco Mota, 572 - Costa e Silva, CEP 59600-971, Mossoró – RN.

Resumo: Os escoamentos turbulentos e laminares estão presentes em diversas aplicações da engenharia e um dos grandes vilões das perdas energéticas é o atrito superficial. Atualmente, existem diversas pesquisas voltadas para o estudo da redução de arrasto (RA) com o objetivo de desenvolver métodos eficazes para reduzir o atrito. Independentemente das inúmeras pesquisas realizadas até hoje, o fenômeno da RA ainda permanece em estudo não sendo totalmente compreendido. Neste trabalho é estudada a redução de arrasto por indução de polímeros em escoamentos internos turbulentos em dutos. Foi construída uma bancada experimental para realizar a análise da redução do arrasto, a bancada dispõe de basicamente de dois manômetros com um fundo de escala de 8,5 psi, uma bomba periférica de 0,5 hp, um reservatório de acrílico, válvulas e tubos de pvc e está situada no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da UFRN. Foram utilizados como aditivos poliméricos o Polietileno glicol 4000, o Polyox WSR N60K, Polyox WSR 301 e o Polyox WSR 205. A justificativa para a escolha destes polímeros é sua vasta aplicação em situações que necessitem de uma maior eficiência energética, como por exemplo a adição de polímeros redutores para o jato utilizado pelo corpo de bombeiros alcançar maiores distâncias. A redução de arrasto induzida por polímeros é investigada a partir da análise de escoamentos turbulentos, com o número de Reynolds numa faixa entre 2×10^4 e 5×10^4 . A análise parte do princípio da medição de pressão em dois pontos do escoamento turbulento, em seguida das medições de massa específica e viscosidade das soluções poliméricas e culmina no cálculo de redução do arrasto, o que possibilita analisar a influência da adição de polímeros na redução do arrasto em escoamentos turbulentos. O Polyox WSR N60K, o Polyox WSR 301 e o Polyox WSR 205 apresentaram redução de arrasto com destaque para o Polyox WSR 301 que apresentou maior redução dentre dos polímeros estudados, o que conclui-se que o Polyox WSR 301 é mais eficiente para promover a redução de arrasto em tubos rígidos. Não foi observado redução de arrasto no polietileno glicol 4000 na concentração analisada.

Palavras-chave: Redução de arrasto, Polímeros, Escoamento turbulento.

1. INTRODUÇÃO

Escoamentos turbulentos e laminares são encontrados, frequentemente, em diversas aplicações de engenharia, como em compressores e bombas e ao redor de carros, aviões e navios. O atrito superficial, grande responsável pelas perdas energéticas, é consideravelmente maiores no tipo de escoamento turbulento do que em escoamentos laminares. Seu estudo é bastante desafiador, devido a sua natureza complexa (Eric Willemsens, 2013).

Atualmente, existem diversas pesquisas voltadas para o estudo da redução de arrasto (RA) com o objetivo de desenvolver métodos eficazes para reduzir o atrito. Independentemente das inúmeras pesquisas realizadas até hoje, o fenômeno da RA ainda permanece em estudo não sendo totalmente compreendido.

O fenômeno da RA foi primeiramente mencionado por Toms (1948) quando este apresentou que pequenas quantidades de polímeros de cadeias longas adicionadas ao escoamento poderiam reduzir a perda de carga.

A justificativa para esses estudos baseia-se na otimização dos recursos energéticos, por motivos econômicos principalmente, através do estudo da RA induzido por polímeros. Uma das formas de economia é reduzir o atrito. As perdas por atrito representam 50% do custo relativo no caso de aviões e navios, 70% nos submarinos e pode chegar a quase 100% no caso de transporte em dutos de longa distância. Nos casos mencionados, de forma geral, o regime de escoamento é turbulento, por isso o estudo desse fenômeno é importante. As crises políticas e financeiras globais e o aumento do preço do barril de petróleo tem impulsionado o estudo de redução de arrasto em dutos. Os estudos nessa área ocorrem através de simulações numéricas e de experimentos físicos. O campo de ação desse estudo é extenso, sendo já apontada sua utilização para diminuição de custos do bombeamento em oleodutos, prevenção de cavitação em turbomáquinas, redução de ruídos, aumento da velocidade de embarcações por meio do recobrimento do casco com camadas poliméricas e na estabilidade de jatos para combate a incêndios (Andreotti, Cunha e Sousa, 2002).

Os tipos de redução de arrasto podem ser separados em duas classes: os ativos, onde as estruturas são manipuladas através de mecanismos externos (sensores e atuadores) que em geral são mais difíceis de usar e acarretam em gasto extra de energia; e os passivos que, geralmente, envolvem modificações na superfície (ranhuras na parede, nanopostes e superfícies repelentes) ou na reologia do fluido (adição de pequenas quantidades de polímeros) (Eric Willemsens, 2013). Normalmente, os métodos passivos são mais atrativos e podem ser aplicados a diferentes casos. Uma das formas mais conhecidas e utilizadas de redução de arrasto em dutos e a alteração da reologia do fluido, através da adição de pequenas quantidades de polímeros, surfactantes ou fibras. (Kawaguchi et al., 2002) mostrou que este método apresenta um efeito redutor de arrasto que pode chegar a 80% em determinadas condições.

Como referido anteriormente, a adição de polímeros lineares de cadeia longa aos fluxos turbulentos tubulação induz uma redução de arrasto, mas não para por aí, efeitos similares também foram observados por outros aditivos, tais como surfactantes, partículas macroscópicas de delgados e bolhas de gás (Gyr & Bewersdorff, 1995). Experimentos, realizados no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília mostraram resultados de redução do arrasto de 35% (Almeida, Tavares e Cunha, 1997), usando-se fibras de nylon como aditivos. Além de motivações econômicas, foram realizados muitos estudos sobre a redução de arrasto para ganhar compressão e reologia de polímeros líquidos (Virk, 1971).

O fenômeno da RA não é aleatório quanto à sua ocorrência e alcance. Existem dependências bem definidas quanto ao tipo de substância, concentração, peso molecular e as próprias condições do escoamento: 1) o fenômeno da RA, de forma geral, aumenta com o incremento da concentração polimérica, até atingir o valor da Assíntota de Máxima Redução de Arrasto (A.M.R.A.), valor a partir do qual maiores concentrações não produzem mais efeito redutor. 2) o fenômeno da RA varia com o diâmetro da tubulação. Maiores reduções de arrasto são conseguidas para tubulações de pequenos diâmetros. Em tubulações de diâmetros maiores, para se obter a mesma porcentagem de RA é necessária maior concentração polimérica.

O principal objetivo deste trabalho é o estudo da redução de arrasto através da adição de polímeros em escoamentos internos turbulentos em dutos. A influência da RA é analisada a partir de uma bancada experimental construída no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da UFRN. A bancada foi projetada e construída exclusivamente para o presente trabalho. Foram usados os seguintes polímeros redutores de arrasto: polietileno glicol 4000 (PEG 4000), Polyox WSR N60K, Polyox WSR 301 e Polyox WSR 205. Esses polímeros foram utilizados com diferentes concentrações e pesos moleculares.

2. O FENÔMENO DA REDUÇÃO DE ARRASTO

Quando um fluido se movimenta em relação a uma superfície sólida, a força exercida sobre a superfície na direção do movimento da força de arrasto. Esse arrasto causa uma dissipação de energia, que os cientistas e tecnólogos tem tentado minimizar.

Como as subcamadas turbulentas dissipam mais energia do que o escoamento laminar, uma das propostas para diminuir o arrasto consiste em estabilizar a situação laminar.

Toms (1948) observou o fenômeno, inicialmente denominado por fenômeno de Toms e posteriormente denominado arrasto por Savins (1967), que causava uma queda na dissipação de energia pelo arrasto. Toms (1948) verificou que alguns aditivos, sob certas condições de escoamento em tubos, podem reduzir significativamente o arrasto.

A redução de arrasto foi descoberta ao se observar uma redução no diferencial de pressão num tubo, quando submetido à mesma vazão volumétrica na presença de aditivos. As forças que estão envolvidas no escoamento num tubo praticamente são duas: as forças normais devido à pressão e as forças tangenciais. As forças normais são aquelas que dirigem o escoamento e as forças tangenciais retardam o escoamento, pois dissipam a energia do escoamento na forma de calor devido à viscosidade do fluido e, consequentemente, consumindo energia. Dessa forma, os polímeros minimizam essas forças tangenciais facilitando o escoamento.

A redução de arrasto neste trabalho é expressa em termos de porcentagem de redução de arrasto e pode ser calculada através da Eq. (1).

$$RA(\%) = 1 - \frac{\Delta P_P}{\Delta P_S} \quad (1)$$

sendo ΔP_P a queda de pressão em um trecho considerado da solução polimérica e ΔP_S a queda de pressão em um trecho considerado do solvente.

2.1. Aditivos Eficientes na Redução do Arrasto

Os polímeros de alto peso molecular são aditivos particularmente eficientes na redução do arrasto mesmo a concentrações muito baixas. A literatura mostra que a redução de arrasto também é possível utilizando fibras como aditivos ou surfactantes.(MAEGAVA, 1986).

As propriedades mais importantes, que são comuns a esses aditivos eficientes são:

- a) Estrutura de cadeia muito longa com pouca ou nenhuma ramificação;
- b) Alto peso molecular;
- c) Flexibilidade;
- d) Boa solubilidade.

Como regra geral, dar-se a entender que qualquer substância macromolecular de boa solubilidade, com boa flexibilidade, alto peso molecular e estrutura molecular próxima da linear, é um provável aditivo eficiente na redução do arrasto.

Neste trabalho foram utilizados os seguintes polímeros, que são apresentados logo abaixo, enumerados em ordem crescente de peso molecular.

- 1. Polietileno glicol 4000;
- 2. Polyox WSR 205;
- 3. Polyox WSR N60K;
- 4. Polyox WSR 301.

Estes polímeros são descritos na literatura como polímeros redutores de arrasto e apresentam algumas características particulares, tais como cadeia linear e solúvel em água. Os Polyox WSR N60K, Polyox WSR 301 e Polyox WSR 205 foram obtidos diretamente com a The Dow Chemical Company, já o PEG 4000 foi obtido através da distribuidora Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda.

3. METODOLOGIA

3.1 Construção da bancada experimental

A primeira idealização da bancada não se tinha nenhuma válvula, mas foi percebido que era preciso variar a vazão, e para variar a vazão era necessário um potenciômetro ou a instalação de uma válvula, então pela facilidade na aquisição foi escolhido a inserção da válvula no início da linha para variar a vazão e consequentemente variar o número de Reynolds. Antes da compra dos manômetros foi feito um teste de bancada juntamente com um técnico do laboratório de metrologia da UFRN para identificar a faixa de pressão presente na tubulação, feito isso foi feito a aquisição de dois manômetros com fundo de escala de 8,5 psi, visto que de acordo com o teste a pressão máxima do nosso sistema poderia chegar até 7,0 psi. A segunda válvula foi inserida na bancada para ver a possibilidade de se chegar em um regime laminar, nos testes observou-se que a válvula 2 serviu para reduzir o número de Reynolds, mas não o suficiente para se obter um regime laminar. Outra alteração na bancada foi a inserção de uma válvula de pé com crivo na sucção, essa válvula fez com que o número de escorvas da bomba reduzisse cerca de 95 %. A penúltima alteração na bancada foi o suporte de sustentação da tubulação de recalque, foi percebido nos testes que havia alterações de pressão se a tubulação de recalque estivesse inclinada, então projetou-se um pequeno suporte de modo que a tubulação de recalque ficasse nivelada. Por fim a última mudança foi a graduação do reservatório de acrílico, se fez necessário graduar o reservatório uma vez que não era necessário utilizar toda sua capacidade e precisava-se saber o volume útil a ser utilizada na experimentação, então foi graduado todo o reservatório com adesivos que indicam o volume do mesmo a cada 10 litros. Após a construção da bancada, com suas respectivas alterações foram realizados alguns testes para verificar o funcionamento da bancada. Na Fig. 1 é mostrada uma imagem da bancada experimental confeccionada no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da UFRN.

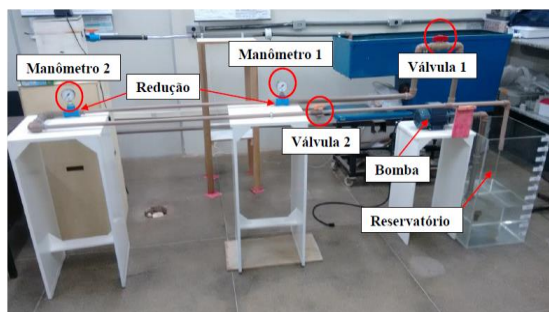


Figura 1. Bancada Experimental (Autoria Própria).

3.2 Preparo das soluções

Inicialmente é determinado 40 litros como volume útil do reservatório, então de posse de um bécker de 4 litros são preparadas as soluções da seguinte forma: para 100 ppm em um volume de 40 litros, tem-se que adicionar 400 mg de polímero no bécker de 4 litros preenchido com água, logo em seguida a solução é colocada em agitação com auxílio de um agitador magnético. Um detalhe precisa ser destacado, o polímero deve ser colocado no bécker de forma pulverizada, isso porque se for colocado de uma vez pode haver aglomeração das partículas poliméricas e acontecer a formação de aglomerados de polímeros no interior da solução, o que dificulta a diluição e consequentemente aumenta o tempo de diluição. O tempo de agitação até que o polímero fique totalmente diluído varia de acordo com o tipo de polímero e quantidade de polímero adicionada na água. Dessa forma para os diferentes tipos de concentrações e polímeros segue-se o mesmo procedimento. As concentrações trabalhadas foram: 100 ppm, 50 ppm, 30 ppm, 10 ppm e 5 ppm. Na Fig. 2 é apresentado como foram feitas as pesagens e a diluição dos polímeros.



Figura 2. Ilustração da pesagem (a), ilustração do polímero sendo diluído (b) (Autoria Própria).

3.3 Medição da massa específica

A caracterização das soluções se constitui na obtenção das propriedades reológicas, como massa específica, viscosidade e determinar se o fluido é ou não newtoniano. Para a obtenção de dados, a fim de cumprir o objetivo do trabalho, foram executados os procedimentos que serão descritos a seguir. No caso, a determinação da massa específica, utilizando um densímetro eletrônico de precisão sob diferentes concentrações poliméricas.

O processo de medição de densidade sob diferentes concentrações seguiu os seguintes passos principais:

1. Medição da massa polimérica como soluto (5, 10, 30, 50 e 100 ppm);
2. Preparação da solução;
3. Medição no densímetro eletrônico.

3.4 Medição da viscosidade

As medições de viscosidade aconteceram no NUPEG/UFRN, os materiais utilizados para realizar as medições foram:

- ☐ Reômetro da Brookfield (Modelo: R/S SST);
- ☐ Um balão volumétrico de 1 L;
- ☐ 10 beakers.

Um pequeno detalhe é que o reômetro em questão não consegue medir o valor real da viscosidade, isso porque o seu range (1×10^{-3} Pa.s para 3×10^{-3} Pa.s) não permite, o que seria necessário um adaptador de baixa viscosidade, visto que a viscosidade da água é $0,798 \times 10^{-3}$ Pa.s à 30 °C. Vale salientar que foi utilizado 3000 pontos para a análise, e para a taxa de deformação analisada as soluções poliméricas estudadas apresentaram comportamento de fluido newtoniano, onde a viscosidade da solução polimérica é constante para diferentes taxas de deformação e não variam com o tempo. Dessa forma o reômetro foi utilizado para garantir se o fluido é ou não newtoniano.

3.5 Metodologia de coleta e análise de resultados na bancada

Os primeiros dados coletados foram os de pressão, Estes valores foram coletados a partir de manômetros devidamente calibrados pelo Laboratório de Metrologia da UFRN, o fundo de escala dos manômetros é de 8,5 psi. Para que os resultados fossem melhor analisados, fez-se necessário variar o número de Reynolds e para isso variamos a abertura da válvula em quatro posições, são elas:

1. Totalmente aberto;
2. Fechado 30°;

3. Fechado 50°;
4. Fechado 70°.

Foi definido os termos $P1$ e $P2$ como pressão no manômetro 1 e pressão no manômetro 2, respectivamente. Os manômetros estavam localizados a um metro de distância um do outro, separados por um tubo de 17 mm de diâmetro. Veja o esquema na Fig. 3.

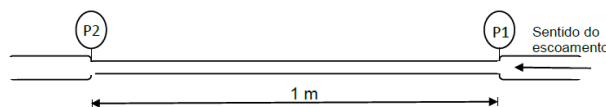


Figura 3. Esquema de posicionamento dos manômetros (Autoria Própria).

O passo a passo da coleta de dados foi o seguinte: após a coleta dos dados de pressão, é feito as medições de vazão. Para medir as vazões foi utilizado um reservatório de volume conhecido (5 litros) e medido o tempo em que o fluido recalado preenche todo o reservatório. Foram feitas cinco medições para cada variação na abertura da válvula e feita uma média aritmética dos valores do tempo. Para cada média do tempo medido foi calculado também um erro padrão que variou entre 0,10 a 0,15 nas medições do tempo. De posse dos valores de vazão e diâmetro da tubulação, foi calculado as velocidades. É observado que a velocidade acompanha a mesma linha da vazão, à medida que se obstrui mais ainda a passagem do fluido estes parâmetros diminuem. Com o apoio do laboratório de engenharia química da UFRN, foram feitas medições de massa específica ($995,7 \text{ Kg/m}^3$) e viscosidade ($0,798 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$) da água, estes dados foram coletados com a água à 30 °C. De posse destes dados foi calculado o n° de Reynolds. O que pode-se ver, é que os números de Reynolds vão diminuindo a medida que a vazão está sendo reduzida. Os tubos de PVC utilizados na elaboração da bancada experimental possuem um determinado valor de rugosidade, o fabricante dos tubos informa que a rugosidade de seus tubos de PVC é de 0,0010 mm. De posse deste dado é encontrado a rugosidade relativa, ε/D para caracterizar melhor nossos resultados. A rugosidade relativa encontrada foi de 0,000058824.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da massa específica

Antes de iniciar as medições, as Incertezas consideradas foram as metades da menor escala do número. Sendo assim:

- Densidade: $\pm 0,5 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$;
- Massa: $\pm 0,5 \times 10^{-4} \text{ g}$;

Os dados apresentados na Tab. 1 foram obtidos à 30 °C, temperatura essa que a água sai da torneira no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da UFRN.

Tabela 1. Dados da massa específica.

PPM	Massa específica (g/cm^3)				
	Polietileno glicol 4000	Polyox WSR N60K	Polyox WSR 205	Polyox WSR 301	
5 (0,0025 g)	0,9958	0,9955	0,9958	0,9952	
10 (0,0048 g)	0,9948	0,9956	0,9958	0,9956	
30 (0,014 g)	0,9957	0,9954	0,9960	0,9957	
50 (0,025 g)	0,9958	0,9951	0,9962	0,9958	
100 (0,05 g)	0,9956	0,9957	0,9958	0,9957	

Observa-se na Tab. 1 a variação da massa específica de acordo com a concentração, a variação é muito pequena, mesmo se considerarmos a menor concentração (5 ppm) com a maior concentração (100 ppm). É notável também que as massas específicas das soluções polímeras para todas as concentrações são muito próximas, o destaque fica para o polyox WSR 205 que para as cinco concentrações se mostra com maior massa específica quando comparado com os demais polímeros estudados neste trabalho. Após os dados serem coletados e inseridos numa tabela, foi plotado um gráfico para melhor compreensão dos resultados, gráfico este apresentado na Fig. 4 na próxima página.

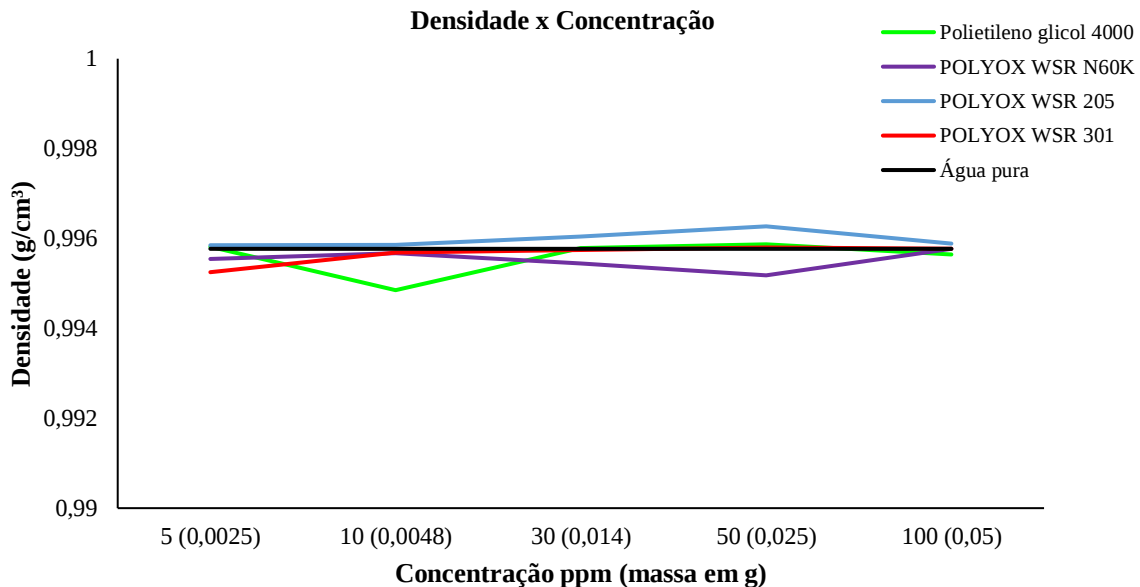


Figura 4. Densidade versus Concentração dos polímeros estudados (Autoria própria).

Os resultados mostram que os valores de densidade obtidos se assemelham com os valores de densidade da água a 30 °C, o que já era esperado, uma vez que as concentrações usadas são extremamente baixas. É notório também que para cada concentração ocorre uma diminuição da densidade, percebeu-se também que a solução Polyox é mais densa que a de polietileno. Sendo assim, é importante lembrar a citação de Virk (1971), que diz que a quantidade de polímero necessária para chegar à melhor redução de arrasto, diminui com o aumento do peso molecular.

4.2 Análise da viscosidade

Para iniciar a análise de viscosidade dos polímeros estudados é evidente conhecer o comportamento de um fluido padrão, a água. Dessa forma, foi feita a análise de viscosidade da água. Vale salientar que a ideia de análise parte do princípio da verificação se a água à 30 °C se comporta como fluido Newtoniano. Feito isso, e comprovado que a água se comporta como tal, procedeu-se analogamente nas análises com as soluções poliméricas. Os resultados apresentados na Fig. 5, foram obtidos a partir da utilização do reômetro (Brookfield - Modelo: R/S SST) de cilindros concêntricos. Segue os resultados.

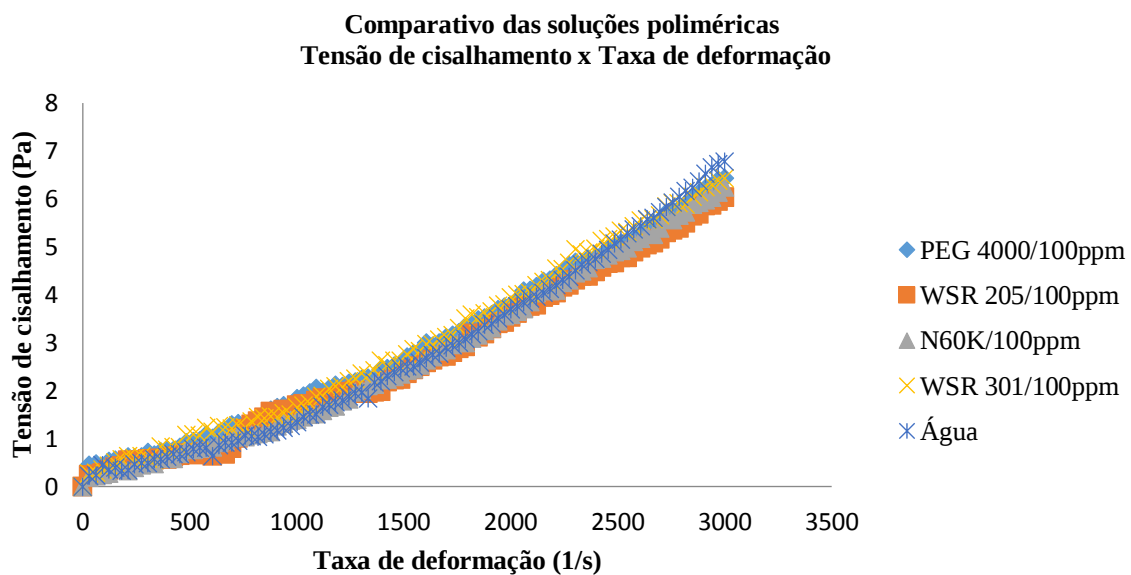


Figura 5. Tensão de cisalhamento versus taxa de deformação da água e soluções poliméricas (Autoria própria).

Todas as análises foram feitas a 100 ppm, uma vez que não se fazia necessário fazer nas demais concentrações já que na maior concentração utilizada a solução polimérica já se comportava como fluido newtoniano. Perceba que em todas

as curvas é visto uma certa linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, caracterizando assim como um fluido newtoniano.

4.2 Resultados das soluções poliméricas em água

Ao utilizar o PEG 4000, notou-se uma rapidez na sua diluição, onde foi medido que para cada 400 mg diluídas 4 litros o tempo foi de apenas 4 minutos, onde em apenas 40 minutos toda a solução foi preparada. O PEG 4000 a 100 ppm não se mostrou um polímero eficiente na redução do arrasto, sendo assim não se fez necessário fazer novas medições para as concentrações de 50 ppm, 30 ppm, 10 ppm e 5 ppm, uma vez que a redução de arrasto se mostrou mais eficiente a 100 ppm. Segue os resultados coletados do PEG 4000 na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados da solução polimérica do PEG 4000 a 100 ppm.

Posições	ΔP (Água pura, Pa)	ΔP (Solução Polimérica, Pa)	RA (%)
Totalmente aberto	4136,85	4196,31	Não reduz
Fechado 30°	3922,66	3922,66	Não reduz
Fechado 50°	3447,37	3824,59	Não reduz
Fechado 70°	1765,19	1765,19	Não reduz

O PEG 4000, apesar de possuir um comportamento newtoniano, possui um peso molecular muito abaixo quando comparado aos demais polímeros estudados, uma vez que a redução de arrasto é um fenômeno que se apresenta com frequência para polímeros com alto peso molecular.

Para os outros polímeros estudados o tempo de diluição variou entre 10 e 12 minutos, para 400 mg adicionados num béquer de 4 litros. Usando o procedimento análogo nas medições de redução de arrasto, obteve-se os resultados para as demais soluções poliméricas. Segue os resultados na Fig. 6.



Figura 6. Redução de arrasto versus as posições da válvula para as concentrações poliméricas (Autoria Própria).

Analisando a figura, claramente o Polyox 301 se mostrou como o polímero mais eficiente na redução de arrasto, dentre dos polímeros trabalhados. A medida que a concentração polimérica vai diminuindo, a eficiência na redução do arrasto também diminui.

Fica comprovado neste trabalho que a RA é mais eficiente para polímeros de alto peso molecular, confirmando assim o que diz a literatura, confirma-se também a hipótese de fluido Newtoniano para todas as soluções poliméricas estudadas.

Podemos concluir também que a redução de arrasto mostrou-se dependente do tipo de polímero, da sua concentração, do peso molecular do polímero e do número de Reynolds.

Outra conclusão importante que podemos extrair do trabalho é que os polímeros com peso molecular da ordem de 1000 Da não apresentam redução de arrasto em tubos rígidos, por exemplo, o PEG 4000. Porém o Polyox WSR 301, o Polyox WSR 205 e o Polyox WSR N60K com pesos moleculares da ordem de 10^6 Da apresentaram redução de arrasto, com destaque para o Polyox WSR 301 que se mostrou mais eficiente na redução de arrasto do que os outros polímeros estudados neste trabalho.

Finalizando, esse trabalho mostrou, a ação de polímeros como agentes redutores de arrasto, com exceção do PEG 4000.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. B., TAVARES, M. S., & CUNHA, F. R., 1997. Um estudo introdutório sobre redução de arrasto em escoamento interno turbulento por aditivos. 1-107, Brasília, Brasil.

ANDREOTTI, Marcelo; CUNHA, Francisco Ricardo da; SOUSA, Aldo João de. Estudo Teórico e Experimental do Fenômeno de Redução do Arrasto em Escoamentos Turbulentos. IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, Caxambu-MG, v. 747, n. 02, p.1-12, out. 2002.

GYR, A. & BEWERSDORFF, H. W. Drag Reduction of Turbulent Flows by Additives.

KAWAGUCHI, Y. et al., 2002. "Experimental study on drag-reducing channel flow with surfactant additives – spatial structure of turbulence investigated by PIV system". International Journal of Heat and Fluid Flow 23.

MAEGAVA, Lídia Maria. Escoamento de Soluções Poliméricas: A redução do Arraste. 1986. 263 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 1986.

SAVINS, J. G. A stress-controlled drag-reduction phenomenon. Rheologica Acta. 323-330, 1967.

TOMS, B. A. In: first int. Rheological congress, Proc. Part.2, p.135-142, 1948.

VIRK, P. S. An elastic sub layer model for drag reduction by dilute solutions of linear macromolecules. J. Fluid Mech. 45, 417–440. 1971.

WILLEMSSENS, Eric. AZEVEDO, Luís Fernando A. Estudo de redução de arraste no escoamento turbulento de água em duto quadrado ranhurado. Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio Relatório Anual PIBIC 2013.

5. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

DRAG REDUCTION STUDY INDUCED PER POLYMERS IN INTERNAL FLOWS TURBULENTS IN PIPELINES

Luiz Paulo de Oliveira Queiroz, luiz.paulo@ifce.edu.br¹

Kleiber Lima de Bessa, klbessa@ct.ufrn.br²

José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br²

Aneke Allen Medeiros Morais, aneke_soand@yahoo.com.br²

Rafael de Carvalho Lima, rafa_rafinharn@yahoo.com.br²

Oto Lima de Albuquerque Neto, oto_lima@hotmail.com²

Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz, pauloricardo.eq@hotmail.com³

¹IFCE, Campus Tabuleiro do Norte, Rodovia CE 377, km 2, Sítio Taperinha, CEP 62960-000, Tabuleiro do Norte-CE.

²UFRN, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal-RN.

³UFERSA, Campus Central, R. Francisco Mota, 572 - Costa e Silva, CEP 59600-971, Mossoró – RN.

Abstract. *The flows turbulent and laminar are present in various applications of engineering and one of the villain of energy loss big is the surface friction. Currently, there are several research aimed for the study of reducing drag (DR) with the objective of developing effective methods to reduce the friction. Regardless of numerous research carried out until today, the phenomenon DR still remains in study not it is fully understood. This paper studied the drag reduction by polymer induction in turbulent internal flows in ducts. We constructed a testing bench to perform the analysis of drag reduction, the bench has basically two manometers with a 8.5 psi full scale, a peripheral pump 0.5 HP, an acrylic tank, valves and tubes pvc and is situated in the Laboratory Fluid Mechanics UFRN. Were used as polymer additives to polyethylene glycol 4000, the Polyox WSR N60K, Polyox WSR 301 and Polyox WSR 205. The rationale for the choice of these polymers is their wide application in situations requiring greater energy efficiency, such as the addition reducing polymers for the jet used by the fire department to achieve greater distances. The induced drag reduction polymers is investigated from the turbulent flow analysis, with Reynolds number in a range between 2×10^4 e 5×10^4 . The part of the first pressure measurement analysis on two points of the turbulent flow, then the density measurements, viscosity of the polymer solutions and culminates in drag reduction calculation, allowing to analyze the influence of the addition polymer in reducing the drag in turbulent flows. The Polyox WSR N60K, the Polyox WSR 301 and Polyox WSR 205 decreased drag highlighting the Polyox WSR 301 that showed the greatest reduction among the polymers studied, which concluded that the Polyox WSR 301 is more efficient to drag reduction in pipes. There was no drag reduction in polyethylene glycol 4000 to the measured concentration.*

Keywords: *Drag reduction, Polymers, Turbulent flow.*