



COPOLÍMEROS MODIFICADOS PARA A REDUÇÃO DE ARRASTE DE SOLUÇÕES AQUOSAS

Roberta Sabino de Oliveira

Projeto de Final de Curso

Orientadores

Prof. Maria José O. C. Guimarães, D.Sc

Prof. Elizabete Fernandes Lucas, D.Sc

Novembro de 2010

COPOLÍMEROS MODIFICADOS PARA A REDUÇÃO DE ARRASTE DE SOLUÇÕES AQUOSAS

Roberta Sabino de Oliveira

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof^a Claudia Elias Mansur, D.Sc.
(IMA/UFRJ)

Prof^a Carla Reis de Araújo, D.Sc.
(EQ/UFRJ)

Yure Gomes de Carvalho Queiros, D.Sc.
(IMA/UFRJ)

Orientado por:

Maria José O. C. Guimarães, D.Sc.

Elizabete Fernandes Lucas, D.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Novembro de 2010

Ficha Catalográfica

Oliveira, Roberta Sabino.

Copolímeros modificados para a redução de arraste de soluções aquosas / Roberta Sabino de Oliveira - Rio de Janeiro:UFRJ/EQ,2010.

VI, 76 f

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2010.

Orientadores: Maria José O.C.Guimarães e Elizabete Fernandes Lucas

1. Redução de arraste. 2. Copolímeros de poliacrilamida. 3. Polímeros anfifílicos. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Maria José O.C.Guimarães e Elizabete Fernandes Lucas. I. Copolímeros modificados para a redução de arraste de soluções aquosas.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Luis Roberto e Maria de Lourdes, pela confiança que sempre me depositaram e pelo apoio em todas as decisões da minha vida.

Ao meu irmão Luis Fernando, por sua amizade e por sempre torcer pela minha felicidade e sucesso.

Ao Yure, por me ensinar a ser uma pessoa melhor e por me fazer seguir em frente todas as vezes que penso em desistir.

À amiga Ana Flávia Sampaio, pela amizade e por estar ao meu lado em todos esses anos de estudo.

À Elizabete Lucas, por me ensinar a ter senso crítico e responsabilidade profissional.

À Renata Pires, pela orientação em meu trabalho.

Aos funcionários do IMA, pela realização das análises de caracterização dos polímeros.

Aos colegas do LMCP que fizeram parte da minha formação profissional, em especial, Márcia Dórea, Cláudia Elias e Luciana Spinelli.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

COPOLÍMEROS MODIFICADOS PARA A REDUÇÃO DE ARRASTE DE SOLUÇÕES AQUOSAS

Roberta Sabino de Oliveira

Novembro de 2010

Orientadores: Prof. Maria José O.C. Guimarães, D.Sc

Prof. Elizabete Fernandes Lucas, D.Sc

O rápido aumento da demanda por energia em aplicações de diversas áreas tem dado foco a novas técnicas que permitam a economia de energia nos processos onde há perda de grande parte desta por deslocamento de fluidos. Neste contexto, o uso de aditivos poliméricos para a redução da resistência ao fluxo, tem recebido considerável atenção. A adição de pequena quantidade de aditivo ao fluido em escoamento turbulento provoca uma redução significativa da fricção. Diversas teorias têm sido propostas para descrever o fenômeno de redução de arraste, no entanto, não existe ainda um modelo que o explique consistentemente. Estudos revelam uma relação entre a estrutura de poliacrilamida e seus copolímeros nas propriedades da redução de arraste.

O objetivo do trabalho foi sintetizar copolímeros à base de poliacrilamida com grupamentos pendentes variados quanto ao tipo (hidrofílico e/ou hidrofóbico) e tamanho de cadeia. As amostras de copolímeros foram caracterizadas quanto à massa molar por cromatografia de exclusão de tamanho e quanto ao teor de cadeias pendentes por ressonância magnética nuclear. As porcentagens de redução de arraste das soluções aquosas dos polímeros, à temperatura ambiente, foram determinadas com base nos resultados de ensaio de perda de carga em viscosímetro capilar. Observou-se que não existe uma associação entre a cadeia graftizada e o comportamento de redução de arraste. Em geral, este comportamento depende do tipo, massa molar e conteúdo de cadeia pendente incorporada às cadeias principal de poliacrilamida, de maneira integrada.

Acredita-se que entendendo a contribuição das cadeias graftizadas para a redução de arraste, é possível preparar aditivos por modificação química de diferentes polímeros para cada tipo de aplicação.

ÍNDICE

1- Introdução e objetivo	1
2- Revisão bibliográfica	4
2.1- Conceitos gerais sobre polímeros	4
2.2- Reologia e escoamento de fluidos	6
2.3- Redução de arraste	9
3- Metodologia experimental	10
3.1- Síntese do cloreto de metacrilóila	10
3.2- Síntese do metacrilato de polióxido	11
3.2.1 – Secagem do polióxido	12
3.2.2 – Obtenção do macromonômero de polióxido monofuncional e difuncional	13
3.2.3 - Filtração do precipitado e evaporação do solvente	13
3.3 – Síntese de poliacrilamida em solução	14
3.4 – Síntese de poliacrilamida em emulsão	15
3.5 - Síntese dos copolímeros à base de poliacrilamida	16
3.5.1 - Síntese de PAAM-g-PEO	16
3.5.2 - Síntese de PAAM-g-PPO	17
3.6 - Caracterização dos copolímeros sintetizados	17
3.6.1 – Determinação da massa molar	17
3.6.2 – Análise de ressonância magnética nuclear (RMN)	18
3.7 – Desempenho dos aditivos na redução de arraste	20
3.7.1 – Ensaios de perda de carga	20
3.7.2 – Determinação dos parâmetros reológicos	23
3.7.3 – Cálculo do percentual de DR (<i>Drag Reduction</i>)	25
4- Resultados e discussão	27
5- Conclusões	36
6 - Referências Bibliográficas	37
Anexo 1 - Espectros de ressonância magnética nuclear dos polióxidos e dos copolímeros sintetizados	40
Anexo 2 – Gráficos de distribuição de tamanho	47
Anexo 3 - Gráficos de perda de carga versus número de Reynolds	55

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O rápido aumento da demanda por energia em aplicações de diversas áreas tem dado um foco renovado ao desenvolvimento de tecnologias de eficiência energética, bem como a novas técnicas que permitam a economia de energia nos processos onde há perda de grande parte desta por deslocamento de fluidos (perda por arraste) [1].

Existem várias aplicações, além das industriais, em diferentes atividades que exemplificam a redução de arraste, como por exemplo:

- O transporte de óleo cru em oleodutos, especialmente quando a distância da tubulação é longa ou quando o volume transportado é grande [2-3].
- O combate a incêndios, permitindo um aumento da velocidade e do raio do jato de água [2-3].
- Gestão de águas residuais, principalmente na prevenção de dosagem excedente do fluxo de água durante chuva intensa em sistemas de drenagem e de irrigação, ou seja, aumento da capacidade do escoamento de esgotos [2-3].
- Sistemas de aquecimento e refrigeração de circuitos urbanos, substituindo métodos individuais de aquecimento e refrigeração, o que reduz o custo de manutenção e minimiza picos de carga elétrica. Deve-se considerar que a energia para bombear água de circulação nesses sistemas atinge, aproximadamente, 15% do custo total de energia [4-5].
- Pulverização de inseticidas em atividades agrícolas [6].
- Melhorias no fluxo sanguíneo em artérias parcialmente bloqueadas tem sido objeto de grande parte dos estudos biométricos [2-3].
- Perfuração de poços de petróleo, cujas trajetórias estão cada vez mais complexas, principalmente em cenários de elevadas profundidades d'água e de trechos horizontais extensos e formações inconsolidadas. Nestes casos, é requerido um fluido de perfuração que, além de realizar suas funções triviais, possua potencial para redução de arraste e seja capaz de suportar altas taxas de cisalhamento e altas temperaturas, sem que haja danos à formação [7-8].

Neste contexto, o uso de aditivos para a redução da resistência ao escoamento, minimizando a perda de carga por arraste, tem recebido considerável atenção e vem sendo estudado ao longo dos últimos anos. A adição desses componentes, que reduzem a resistência ao escoamento de fluidos, tem contribuído mais para reduzir o arraste do que métodos convencionais envolvendo o uso de solventes [1,9-12].

O fenômeno de redução de arraste em processos de transporte de fluidos é provocado pela adição de pequena quantidade de polímero de alta massa molar ao fluido submetido ao escoamento turbulento completamente desenvolvido, reduzindo, significativamente, a queda de pressão ocorrida ao longo do escoamento, a qual é responsável por maior demanda de energia [4].

Para sistemas aquosos os polímeros mais estudados são poli(óxido de etileno) (PEO) e poliacrilamida (PAAM) por produzirem índices de redução de atrito que atingem cerca de 80% em condições de laboratório [13]. No entanto, esses materiais são susceptíveis à degradação térmica e mecânica quando submetidos ao cisalhamento sob altas taxas, levando à perda de algumas propriedades e apenas retomando suas características originais quando o cisalhamento tende a zero [14].

Uma alternativa para evitar a degradação irreversível por cisalhamento de polímeros de alta massa molar é a utilização de polímeros de mais baixa massa molar contendo pequenas quantidades de segmentos pendentes, em especial, segmentos hidrófobos (1-5 %mol), que conferem a estas moléculas propriedades equivalentes aos polímeros não modificados de massa molar mais elevada [14].

Em geral, os aditivos poliméricos redutores de arraste têm sido aplicados para reduzir mais de 70% da energia de bombeamento, por exemplo, no transporte de hidrocarbonetos, há mais de 25 anos. Alguns estudos demonstraram que sua eficácia está relacionada às estruturas flexíveis e lineares de alta massa molar capazes de se conformarem e se alinharem na direção do fluxo contribuindo para a redução de arraste [3-4]. No entanto, ainda que diversas teorias tenham

sido propostas para descrever o mecanismo de redução de arraste, não existe um modelo que explique consistentemente o mecanismo desse fenômeno [15].

OBJETIVO

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a influência de diferentes estruturas de copolímeros de poli(acrilamida) graftizada com cadeias pendentes de caráter hidrofílico e/ou hidrófobo sobre as propriedades de redução de arraste de soluções aquosas submetidas ao escoamento em um viscosímetro capilar.

O trabalho foi dividido em três etapas: a primeira etapa consiste na síntese dos copolímeros à base de poli(acrilamida) graftizada com cadeias pendentes de poli(óxido de etileno) e com cadeias pendentes de poli(óxido de propileno), ambos com diferentes teores e comprimentos de cadeia; a segunda etapa refere-se à caracterização das amostras dos copolímeros sintetizados para obtenção dos valores médios de massa molar, utilizando a técnica de cromatografia por exclusão de tamanho (SEC) e para determinação do teor de cadeias de polióxido incorporadas à cadeia principal de poliacrilamida, através da técnica de ressonância magnética nuclear de carbono 13. A terceira etapa contempla os ensaios de perda de carga e de reologia a fim de obter os desempenhos dos polímeros sintetizados como aditivos redutores de arraste em dispersões aquosas em termos de percentuais de redução de perda de carga (%DR). Por fim os resultados de %DR serão correlacionados a cada tipo de estrutura das macromoléculas.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Conceitos gerais sobre polímeros

Como este trabalho teve como objetivo principal a síntese de copolímeros à base de poli(acrilamida) graftizada com cadeias pendentes de poli(óxido de etileno) e de poli(óxido de propileno), faz-se necessário a colocação de alguns conceitos sobre a ciência de polímeros.

Polímeros são macromoléculas, ou seja, moléculas de elevada massa molar, contendo unidades repetitivas de mesma estrutura química ao longo da cadeia, chamadas de *meros*. Essas macromoléculas podem ser caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações moleculares [16].

A reação química que leva à formação de polímeros é denominada polimerização e para que esta ocorra são necessários *monômeros*, que são compostos químicos que reagem para formar os polímeros [16].

Em geral, polímeros são produtos heterogêneos que apresentam uma distribuição de moléculas de massas molares variadas. Além disso, quanto ao número de meros distintos existentes em uma única macromolécula, pode-se fazer a seguinte classificação [16].

- Polímeros contendo um único tipo de mero são denominados homopolímeros.
- Polímeros contendo mais de um tipo de mero são denominados copolímeros.

Os copolímeros também seguem uma classificação quanto à disposição dos distintos meros ao longo da cadeia polimérica: copolímeros cujas unidades químicas dispõem-se ao acaso são denominados copolímeros aleatórios ou randômicos; copolímeros que seguem uma regularidade de sequência, cujas unidades químicas diferentes dispõem-se de modo alternado, são denominados copolímeros alternados; copolímeros que apresentam sequências de unidades químicas iguais alternadas entre si, são denominados copolímeros em bloco e copolímeros cujos blocos presentes na cadeia principal possuem ramificações poliméricas de diferentes estrutura química são denominados copolímeros graftizados [16].

As reações de polimerização de monômeros insaturados, que neste trabalho está representado pelo metacrilato de polióxido, são denominadas polimerização em cadeia e requerem um agente de iniciação visando a formação de um centro ativo. Este centro ativo dá início ao crescimento de uma cadeia polimérica através de sucessivas inserções de moléculas de monômero à cadeia em propagação. Para que essas espécies ativas sejam eficientes como iniciadores precisam ter estabilidade química adequada à temperatura do meio reacional. Na polimerização em cadeia adotada neste trabalho foram utilizadas moléculas de iniciadores que são ativadas por dissociação térmica (peróxido de hidrogênio e persulfato de potássio) e o mecanismo de polimerização foi radical livre.

Levando em consideração que neste trabalho foram realizadas duas técnicas de polimerização distintas, em virtude da natureza química dos comonômeros (polióxidos hidrofóbico e hidrofílico), uma breve distinção entre as técnicas de polimerização em solução e micelar serão abordadas neste capítulo. Estes comonômeros foram respectivamente o poli(óxido de propileno) e poli(óxido de etileno).

A técnica de polimerização utilizada neste trabalho para as sínteses dos copolímeros PAAm – g-PEO foi a polimerização em solução e para os copolímeros PAAm-g-PPO foi a polimerização micelar.

Na polimerização em solução tanto o monômero quanto o iniciador são miscíveis entre si e solúveis no meio reacional, que no caso deste trabalho foi a água. Esta técnica é considerada uma técnica de fácil controle de temperatura, onde a solução polimérica formada pode ser diretamente utilizada ou o polímero deve ser precipitado do meio reacional. Uma desvantagem desta técnica é o fato de ocorrer, dependendo da escolha do solvente, transferência de cadeia para o solvente, o que tende a levar a moléculas de massas molares menores [16].

A polimerização micelar apresenta vantagem de ser possível, neste caso, a copolimerização de monômeros solúveis e insolúveis no meio, através da adição de um agente tensoativo externo, gerando produtos homogêneos e livres de partículas e, ainda, levando à obtenção de

copolímeros com mais alto teor de incorporação de monômeros hidrófobos e altos valores de massa molar [17].

Na polimerização micelar faz-se uso de apenas um tensoativo capaz de solubilizar o monômero hidrófobico para formar uma mistura clara e homogênea. O tensoativo mais freqüentemente usado é o dodecilsulfato de sódio (SDS). Após dissolver o tensoativo na água, acima de uma determinada concentração, dependente do tipo de tensoativo formam-se micelas, representadas na figura 2.1, onde no interior das quais será totalmente realizada a solubilização do monômero hidrófobico [17].

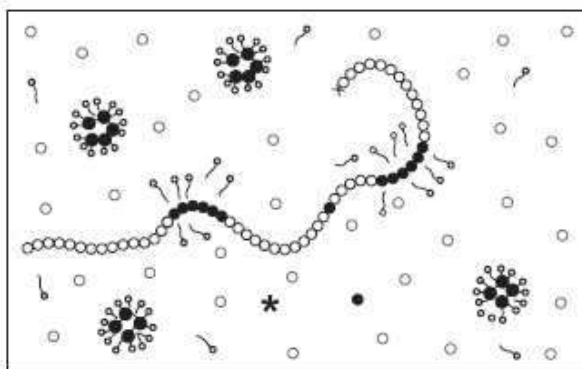


Figura 2.1- Representação esquemática do meio reacional na copolimerização micelar, sendo (o) monômero hidrossolúvel; (●) monômero hidrófobo, (o-) tensoativo [17]

2.2- Reologia e escoamento de fluidos

Conforme comentado anteriormente, neste trabalho, as dispersões poliméricas foram submetidas a escoamento através de tubo capilar para obtenção dos parâmetros de fluxo, tais como queda de pressão e vazão de escoamento e, visando a caracterização do tipo de fluxo, faz-se necessário conhecer o comportamento da viscosidade dos sistemas avaliados. Sendo assim, será abordada de maneira sucinta a reologia de fluidos e tipo de escoamento, de forma a facilitar o entendimento.

Reologia é a ciência da deformação e do fluxo da matéria e estuda como a matéria se deforma ou escoar, quando submetida a esforços de origem externa. Considerando-se que a matéria

pode ser classificada como sólida, líquida ou gasosa, a deformação de um sólido pode ser caracterizada por leis que descrevem a alteração de seu volume, tamanho ou forma, enquanto o escoamento de um fluido, líquido ou gás, é caracterizado por leis que descrevem a variação contínua da taxa ou grau de deformação em função das forças ou tensões aplicadas [18]. A deformação de um corpo pode ser reversível e assim ser denominada elasticidade, ou ser irreversível e ser conhecida como fluxo ou escoamento [18].

Na teoria do escoamento de fluidos, estes são classificados em regimes denominados permanente e transiente ou transitório. No regime permanente ou estado estacionário, o escoamento é estável e a velocidade do fluido em um determinado ponto não varia com o tempo. O regime transiente apresenta uma velocidade variável com o tempo. Se houver a passagem entre dois estados estacionários, eles serão intermediados também por um regime transiente. A mecânica clássica possui várias equações conhecidas e aplicadas, que representam o regime estacionário, o que não acontece para o regime transiente. Os estudos realizados atualmente têm enfoque para o escoamento de fluidos sob fluxo laminar e turbulento (Figura 2.2) [18].

No escoamento laminar as camadas de fluido se deslocam através de linha de corrente, retas ou curvas, paralelas à direção de escoamento, sem que ocorra mistura macroscópica. É sabido ainda que a distribuição de velocidade apresenta um perfil parabólico no interior de tubos circulares, quando se atinge o estado estacionário. A velocidade é máxima no eixo axial e nula à parede do tubo. Já o escoamento turbulento se caracteriza pelo deslocamento caótico de pequenas massas de fluido ao longo do canal de fluxo. Os turbilhões provocam mistura entre as camadas e mesmo quando o escoamento se encontra plenamente desenvolvido, a velocidade de um ponto oscila em torno de um valor médio [18].

No fluxo turbulento, as partículas do fluido se movem ao acaso e as trajetórias são curvas, ou seja, as velocidades mudam em valor e direção o tempo todo. Entretanto, como a amplitude das oscilações são pequenas e o deslocamento macroscópico se dá em uma direção definida, então o fluxo turbulento pode ser considerado como permanente em média [18].



Figura 2.2- Linhas de fluxo de (a) escoamento laminar e (b) escoamento turbulento [19]

A relação adimensional que define se o regime de fluxo é laminar ou turbulento, é conhecida como número de Reynolds (NR). Para $Re < 2000$, o fluxo é laminar, na faixa de 2100 a 3000 o fluxo é dito de transição e para $Re > 4000$, o fluxo é turbulento [18].

As expressões de número de Reynolds, em geral, são dependentes do diâmetro interno do tubo, da velocidade média de escoamento, da densidade e viscosidade do fluido, e conseqüentemente são adaptadas para determinado modelo reológico [18].

Os fluidos se classificam em Newtonianos e não - Newtonianos. Os fluidos são ditos Newtonianos quando a viscosidade só é influenciada pela temperatura e pressão. No escoamento de um fluido Newtoniano, em regime laminar, existe uma proporcionalidade entre a tensão cisalhante e a taxa de cisalhamento, a razão entre elas é constante, ou seja, possui viscosidade única e absoluta. Quando essa razão não é constante, dizemos que o fluido é não-Newtoniano, toda vez que a propriedade viscosidade for citada, ela deve estar acompanhada de uma taxa de cisalhamento correspondente [18].

O conhecimento de reologia auxilia, por exemplo, na indústria de petróleo, a analisar o comportamento reológico de diferentes fluido utilizados nas etapas de exploração e refino de petróleo, além de obter-se a determinação dos parâmetros reológicos para estimativa das perdas de carga (perdas de pressão por fricção).

2.3 - Redução de arraste

Quando um fluido se move em relação a uma superfície sólida, como o interior de uma tubulação, o percurso que a partícula faz no seu interior é afetado pelo atrito, viscosidade e velocidade de escoamento. Uma força é exercida sobre a superfície na direção do movimento, que é chamado força de arraste. O arraste friccional resulta em uma dissipação da energia, conhecida como perda de carga, sendo diferente para o regime laminar e turbulento, devido às características de cada fluxo [18].

A redução de arraste pode se manifestar tanto como um menor valor do coeficiente de fricção medido, como um decréscimo na perda de carga por unidade de comprimento da tubulação ou, ainda, como redução na energia adquirida para bombear um fluido. O fenômeno de redução de arraste é estudado por ser útil para a redução do consumo de energia e aumento das taxas de escoamento [18].

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão descritas todas as etapas que envolveram as sínteses realizadas para a obtenção dos macromônmeros e dos copolímeros, segundo metodologia empregada [20], com algumas adaptações.

3.1 – Síntese do cloreto de metacrilóila

Em um sistema de destilação simples (Figura 3.2) com unha de saída lateral para imersão em solução aquosa de NaOH 1,0M, foi acoplado um balão de 1 boca com capacidade para 500mL e adicionados 85mL (1 mol) de ácido metacrílico, 173 mL (1,4mol) de cloreto de benzoíla e 0,16g hidroquinona (Figura 3.1). A mistura reacional sob agitação magnética foi aquecida em banho de óleo a 200°C. O produto foi destilado à temperatura de 80 -110°C, com temperatura do condensador a 10°C, e recolhido em balão imerso em banho de gelo.

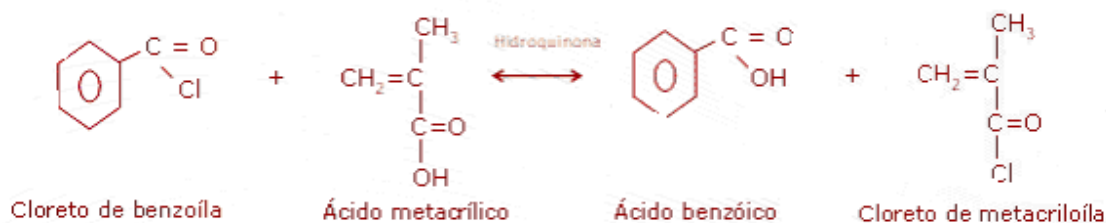


Figura 3.1 – Reação para a obtenção do cloreto de metacrilóila

O cloreto de metacrilóila foi redestilado à temperatura controlada de 98 a 100°C, para purificação do produto, e guardado em frasco âmbar imerso em sílica gel sob refrigeração.



Figura 3.2- Sistema de síntese do cloreto de metacrilóila

3.2 – Síntese do metacrilato de polióxido

Os polióxidos utilizados nas sínteses possuem estrutura monofuncional e difuncionais, mostradas na Figura 3.3. Para a realização da copolimerização foi necessária a modificação dos polióxidos para a obtenção do metacrilato de polióxido.

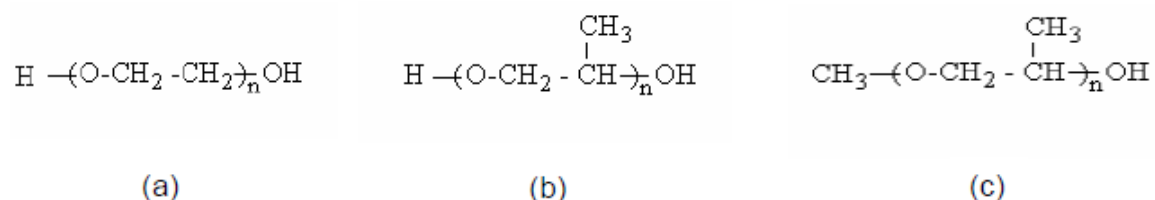


Figura 3.3 - (a) estrutura do poli(óxido de etileno) difuncional, (b) estrutura do poli(óxido de propileno) difuncional, (c) estrutura do poli(óxido de propileno) monofuncional

Os valores de massa molar média bem como o número de unidades repetitivas dos polióxidos, que serão utilizados para o cálculo da composição final dos copolímeros, foram fornecidos pelo fabricante e encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Massa molar dos polióxidos utilizados

Polióxido	Funcionalidade	Massa molar média (g/mol)	Número médio de unidades repetitivas	
			óxido de etileno	óxido de propileno
PEO 300	Difuncional	300	7	-
PEO 600	Difuncional	600	13	-
PEO 1000	Difuncional	1000	24	-
PPO 300	Monofuncional	300	-	5
PPO 1000	Difuncional	1000	-	18

A seguir, serão descritas as metodologias e os cálculos realizados para cada funcionalização.

3.2.1 – Secagem do polióxido

Em um balão de 250 mL contendo uma boca foi adicionada uma massa previamente calculada de poli(óxido de etileno) ou poli(óxido de propileno) e 150 mL de tolueno previamente seco em sódio metálico. A mistura foi imersa em banho de óleo e o balão foi adaptado em um sistema de destilação simples, permanecendo sob agitação.

Em seguida, a mistura foi aquecida até aproximadamente 110°C e, então, cerca de 30 a 40 mL de destilado (fase turva) foram recolhidos. Após o destilado ter se tornado límpido, o sistema remanescente no balão (tolueno + polióxido) foi considerado isento de umidade. O material foi resfriado até a temperatura ambiente, ficando pronto para as etapas seguintes (Figura 3.4).

Neste trabalho foram feitas as secagens dos seguintes polímeros: PEO 300, PEO 600 e PEO 1000, difuncionais, PPO 300, monofuncional, e PPO1000, difuncional.



Figura 3.4 - Sistema de secagem dos polióxidos

3.2.2 – Obtenção do macromonômero de polióxido monofuncional e difuncional

Em um condensador de bolas, foi adaptado um balão de 250 mL de duas bocas. O PEO ou PPO seco foi adicionado e em seguida o sistema foi mantido sob agitação em banho de gelo. Foi adicionada piridina com a ajuda de um funil de adição e, em seguida, o cloreto de metacrilóila recém preparado. A mistura foi gotejada lentamente no balão. O sistema foi mantido sob agitação até a formação do precipitado branco de cloridrato de piridina. Após verificação visual do precipitado, o sistema foi levado à temperatura ambiente e em seguida colocado em banho de óleo, em temperatura de aproximadamente 65°C. O sistema foi mantido em refluxo durante uma hora e após este tempo permaneceu em repouso por uma hora.

Para o polióxido difuncional a proporção utilizada de PEO ou PPO seco e cloreto de metacrilóila foi 2:1 (molar), para o polióxido monofuncional essa proporção foi de 1:1 (molar), com um excesso de piridina.

3.2.3 - Filtração do precipitado e evaporação do solvente

O cloridrato de piridina foi separado da solução de macromonômero de PEO ou PPO em tolueno por filtração em funil de placa sinterizada, sob vácuo e atmosfera inerte de nitrogênio (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Sistema de filtração em funil de placa sinterizada

Em seguida, o tolueno presente na solução foi removido por rotaevaporação (Figura 3.6) na temperatura de 65 -70°C. O produto final foi vertido em um recipiente fechado e mantido sob refrigeração.

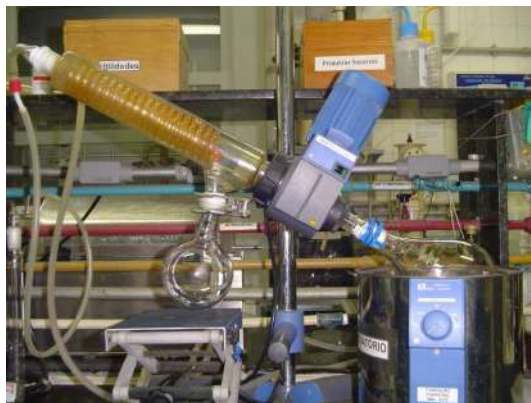


Figura 3.6 - Sistema de evaporação rotatória

3.3 – Síntese de poliacrilamida em solução

Foi realizada uma polimerização via radical livre em solução para obtenção do homopolímero de acrilamida. Em um balão de fundo redondo de três bocas e capacidade de 1000 mL, provido de condensador de refluxo, borbulhador de nitrogênio, agitador mecânico e banho de óleo foram adicionados 500 mL de água que ficaram sob fluxo de nitrogênio por 30 minutos. Após a purga, foram adicionados 50g de acrilamida.

Após a solubilização da acrilamida e estabilidade térmica de 65°C foi adicionado o peróxido de hidrogênio com concentração de 0,3% em relação à acrilamida.

A reação de polimerização ocorreu sob fluxo constante de nitrogênio e foi interrompida quando o meio reacional apresentou elevada viscosidade (Figura 3.7).

O homopolímero foi precipitado em metanol, na proporção de 1:10 v/v (meio reacional: metanol) e seco em estufa com circulação de ar a 65°C por 48 horas (Figura 3.8).



Figura 3.7- Sistema para reações de polimerização



Figura 3.8- Sistema para precipitação dos polímeros

A reação para a obtenção da poliacrilamida em solução foi realizada para ser posteriormente comparada com as poliacrilamidas grafitizadas com PEO.

3.4 – Síntese de poliacrilamida em emulsão

Foi realizada uma polimerização em emulsão para obtenção do homopolímero de acrilamida.

Em um balão de fundo redondo de três bocas de capacidade 1000 mL, provido de condensador de refluxo, borbulhador de nitrogênio, agitador mecânico e banho de óleo foram adicionados 500 mL de água que ficaram sob fluxo de nitrogênio por 30 minutos. Após a purga, foram adicionados 50g do tensoativo dodecil sulfato de sódio (SDS).

Após a solubilização do tensoativo foram adicionados 50 g de acrilamida e se aguardou total solubilização e equilíbrio térmico de 65°C. Após este equilíbrio, foi adicionado o persulfato de potássio com concentração de 0,3% em relação à acrilamida. O procedimento de síntese, precipitação e secagem seguiu o mesmo procedimento descrito anteriormente.

A reação para a obtenção da poliacrilamida em emulsão foi realizada para ser posteriormente comparada com as poliacrilamidas graftizadas com PPO.

3.5 - Síntese dos copolímeros à base de poliacrilamida

Foram obtidos copolímeros graftizados à base de acrilamida, de diferentes proporções entre AAM: PEO e AAM: PPO.

3.5.1 - Síntese de PAAM-g-PEO

A síntese de poli(acrilamida-g-óxido de etileno) foi realizada em balão de fundo redondo de três bocas, com a capacidade de acordo com o cálculo do volume de água de cada proporção da reação, provido de condensador de refluxo, borbulhador de nitrogênio, agitador magnético e banho de óleo na temperatura de 75°C. Inicialmente, foram adicionados ao balão a quantidade de água previamente calculada, que permaneceu por 30 minutos sob fluxo de nitrogênio. Após a purga, foi adicionada a massa de 50g de acrilamida.

Após solubilização da acrilamida e estabilidade térmica de 65°C, foi adicionado o macromonômero de PEO, previamente calculado de acordo com a proporção de AAM: PEO especificada e, em seguida, o peróxido de hidrogênio com concentração de 0,3% em relação à acrilamida.

A reação de polimerização ocorreu sob fluxo constante de nitrogênio e foi interrompida quando o meio reacional apresentou elevada viscosidade. O polímero foi precipitado em metanol, na proporção de 1:10 v/v (meio reacional: metanol) e seco em estufa com circulação de ar a 65°C por 48 horas.

3.5.2 - Síntese de PAAM-g-PPO

A síntese de poli(acrilamida-g-óxido de propileno) foi realizada em balão de fundo redondo de três bocas, com a capacidade de acordo com o cálculo do volume de água, provido de condensador de refluxo, borbulhador de nitrogênio, agitador magnético e banho de óleo na temperatura de 75°C. Inicialmente, foram adicionados ao balão a quantidade de água previamente calculada, que permaneceu por 30 minutos sob fluxo de nitrogênio. Após a purga, foram adicionados 50g do tensoativo dodecil sulfato de sódio (SDS). Após solubilização foram adicionados 50g de acrilamida, o sistema foi mantido sob agitação para total solubilização da mistura, em seguida foi adicionado o macromônomo de PPO, previamente calculado de acordo com a proporção de AAM: PPO especificada e após equilíbrio térmico de 65°C foi adicionado o persulfato de potássio com concentração de 0,3% em relação à acrilamida.

A reação de polimerização ocorreu sob fluxo constante de nitrogênio e foi interrompida quando o meio reacional apresentou elevada viscosidade. O polímero foi precipitado em metanol, na proporção de 1:10 v/v (meio reacional: metanol) e seco em estufa com circulação de ar a 65°C por 48 horas.

3.6- Caracterização dos copolímeros sintetizados

As amostras de copolímeros foram sintetizadas em laboratório a partir de uma quantidade pré determinada de iniciador de polimerização e diferentes proporções de AAM:polióxido com o intuito de obter massas molares variadas e estudar o seu efeito na redução de arraste. Essas amostras foram caracterizadas por SEC e ¹³C-NMR

3.6.1- Determinação da massa molar

Os copolímeros sintetizados foram caracterizados por cromatografia por exclusão de tamanho (SEC), onde a separação ocorre por volume hidrodinâmico, para a determinação da massa molar média. As análises foram realizadas em cromatógrafo da Waters modelo 600 E- System

Controller Millipore, com diferentes colunas cromatográficas com diferentes recheios, que são partículas contendo diferentes tamanhos de poros, abrangendo assim, uma ampla faixa de massa molar.

Para esta caracterização, foram preparadas diferentes soluções poliméricas, abrangendo todos os copolímeros sintetizados neste trabalho. Esta solução, contendo moléculas de polímeros de diversos tamanhos, foi injetada em fase móvel na coluna, contendo solução salina de nitrato de sódio e azida de sódio, utilizado como agente fungicida. As moléculas que possuem tamanho maior do que os poros do recheio não conseguem penetrá-los sendo, então, excluídas da coluna em menor tempo ou volume de eluição.

3.6.2- Análise de ressonância magnética nuclear (RMN)

A caracterização por ressonância magnética nuclear é realizada por meio de análise elementar orgânica, que caracteriza os principais elementos (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio). Os copolímeros sintetizados neste trabalho foram caracterizados quanto à composição mássica de acrilamida em relação ao teor de grupamentos laterais hidrofílicos e/ou hidrofóbicos por meio da ressonância magnética nuclear de carbono-13 (^{13}C -NMR), em equipamento Varian Mercury Vx 300, utilizando água destilada e deionizada como solvente.

O cálculo da composição dos copolímeros sintetizados foi realizado a partir da identificação dos sinais característicos (Tabela 3.2) de cada carbono existente nas estruturas moleculares (Figura 3.9), conforme estabelecido na literatura [19], e da proporção entre as áreas correspondentes aos sinais dos átomos de carbono pertencentes aos grupamentos carbonila da amida e do éster, presente nos polióxidos funcionalizados.

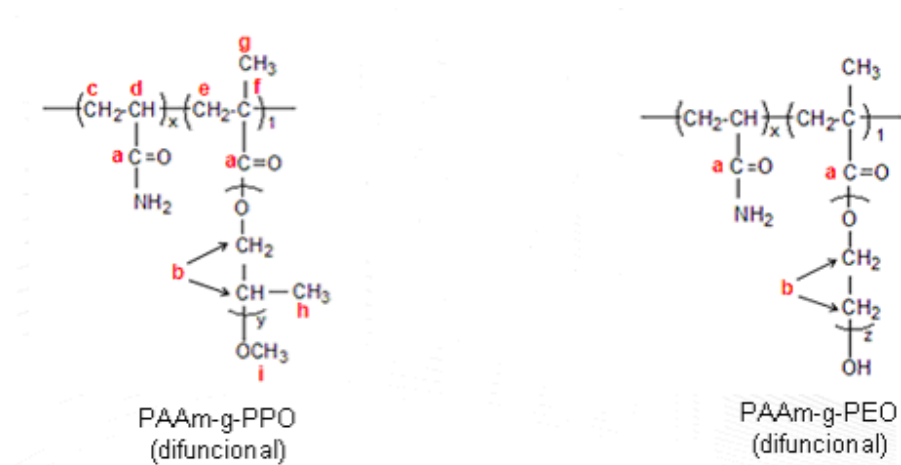


Figura 3.9 - Identificação dos carbonos nas estruturas dos copolímeros

Tabela 3.2- Identificação dos sinais característicos a cada carbono existente nas estruturas moleculares

Carbono identificado	Sinal (ppm)
a	182
b	72-82
c-f	35-45
g-h	17-21
i	60
j-m	35-45

Assim foi possível aplicar as equações para o cálculo do número de unidades repetitivas de AAm existente ao longo da cadeia, representado por x, levando em consideração os dados dos números de unidades de óxido de propileno e etileno, estabelecidos pelo fabricante (Tabela 3.1) e representados por y e z, respectivamente (Figura 3.10).

$\frac{x+1}{2y} = \frac{\text{Área } 182 \text{ ppm}}{\text{Área } 72-82 \text{ ppm}}$	$\frac{x+1}{2z} = \frac{\text{Área } 182 \text{ ppm}}{\text{Área } 72-82 \text{ ppm}}$
--	--

Figura 3.10 - Cálculo do número de unidade repetitivas de AAm

A etapa seguinte foi o cálculo na massa dessa unidade repetitiva (Figura 3.11), para posterior aplicação na determinação do teor de incorporação dos polióxidos.

$M_{ur} = 71 \times x + 69 + M_{PO} \times y + \text{massa do O-CH}_3 \text{ terminal, no caso de PPO monofuncional}$

$M_{ur} = 71 \times x + 69 + M_{PO} \times y + \text{massa do OH terminal, no caso de PPO difuncional}$

$M_{ur} = 71 \times x + 69 + M_{EO} \times z + \text{massa do OH terminal, no caso de PEO difuncional}$

Figura 3.11 - Determinação da massa da unidade repetitiva

3.7 – Desempenho dos aditivos na redução de arraste

Os polímeros foram avaliados quanto à capacidade de redução de arraste e tiveram seus desempenhos descritos em termos de percentual de redução de arraste (%DR), em relação à água.

3.7.1- Ensaios de perda de carga

Os ensaios de redução de arraste foram realizados através de teste de perda de carga, em viscosímetro capilar cedido pelo CENPES/Petrobras, o que permitiu que as amostras de polímeros obtidas fossem avaliadas em fluxo cisalhante capilar em escala de bancada. A Figura 3.12 apresenta um esquema ilustrativo do viscosímetro capilar de bancada.

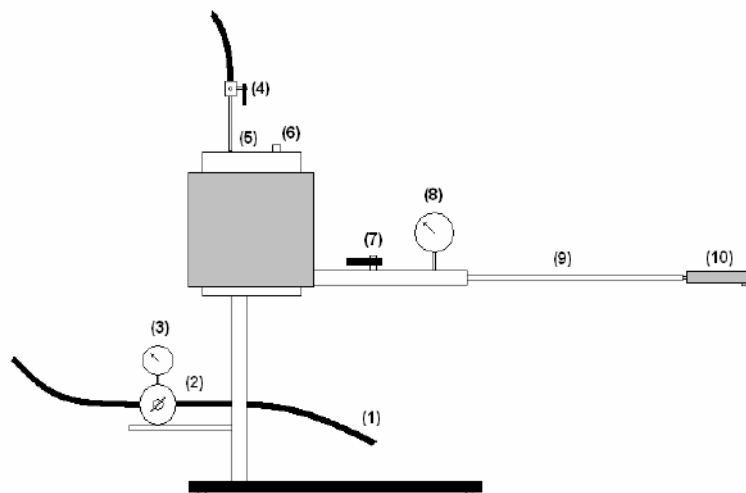


Figura 3.12 - Esquema do viscosímetro capilar [21].

Como pode ser visto na Figura 3.11, o equipamento possui uma mangueira (1), especialmente projetada para suportar altas pressões, conectada à linha de ar comprimido do laboratório. Esta mangueira está ligada a uma válvula (2) que tem a função de controlar a pressão no interior da câmara do equipamento (5). A pressão é também monitorada por um manômetro (3) posicionado à saída da válvula (2). Fixada a pressão de trabalho dentro da câmara (5), abre-se a válvula (7) permitindo que o fluido teste escoe através do capilar (9), que possui um diâmetro de 1,03 mm e comprimento de 0,411 m, e saia do sistema pelo expansor (10). A vazão do fluido é determinada posicionando-se uma proveta de 100 mL na saída do expansor e medindo-se, com o auxílio de um cronômetro, o tempo necessário para o seu preenchimento. A perda de carga é lida diretamente no manômetro (8). Esgotada a solução contida no equipamento, a pressão do sistema é aliviada pela manipulação das válvulas (2) e (4) e a câmara pode ser então aberta pela tampa rosqueada (6), para que o sistema possa ser novamente carregado com o fluido. Vale ressaltar, que após cada coleta de dados referente a um determinado fluido, o sistema foi limpo através de circulação de água e em seguida medido um branco (água destilada e deionizada), para a confirmação de que a limpeza foi eficiente. A Equação 3.1 de Reynolds foi utilizada neste trabalho [18].

$$Re = \frac{D^2 u^{2-n} \rho}{K (8)^{n-1}}$$

Equação 3.1

onde u é a velocidade média, ρ é a densidade, D é o diâmetro do tubo capilar, n e K são parâmetros reológicos.

Foram preparadas soluções em água destilada e deionizada, com os diferentes copolímeros sintetizados neste trabalho, na concentração 0,1g/L .

Os testes de perda de carga foram realizados em uma ampla faixa de velocidade de escoamento, o que foi possível pela variação da pressão de alimentação de 20 a 65 psi (20, 22,5, 25, 27,5, 30, 32,5, 35, 37,5, 40, 42,5, 45, 47,5, 50, 55, 60, 65 psi). Com isso, foi avaliado em ampla faixa de número de Reynolds, o comportamento das soluções poliméricas quanto à perda de carga pelo comprimento do capilar.

O volume total preparado para cada uma dessas soluções foi de 2500 mL, uma vez que um volume menor não seria suficiente para que fossem tomados todos os valores de vazão/perda de carga na faixa de pressão de alimentação de trabalho.

Após cada medida com uma solução polimérica diferente, o sistema foi limpo com água destilada e foram tomados novamente os dados de vazão/perda de carga na faixa de pressão de alimentação de trabalho para a água destilada e deionizada.

O objetivo desse ensaio no viscosímetro capilar foi obter os dados de perda de carga e vazão de escoamento.

3.7.2- Determinação dos parâmetros reológicos

Os ensaios reológicos em cisalhamento contínuo foram realizados no reômetro RheoStress 600 da Thermo-Haake, em cilindros coaxiais na temperatura de 25°C e variando-se a taxa de deformação no intervalo de 1000 a 4000 s⁻¹.

A metodologia utilizada consistiu em medir a viscosidade dinâmica aparente a partir da variação no sentido crescente e decrescente da taxa de deformação na amostra da solução polimérica. Em todos os ensaios reológicos, a geometria de medição utilizada foi a *double gap* (DG-41 Ti).

Todas as soluções poliméricas preparadas para serem utilizadas nos ensaios de redução de arraste foram também analisadas em relação ao comportamento reológico.

A regressão das curvas seguiu o modelo matemático de Ostwald de Waale ou fluido de potência, o qual permitiu o melhor ajuste dos valores experimentais.

Os valores dos parâmetros reológicos K, que é o índice de consistência e indica o quanto o fluido resiste sob escoamento e n, que é o índice de fluxo e indica o quanto o fluido se afasta do modelo Newtoniano foram calculados utilizando o próprio software do equipamento.

A relação entre a tensão cisalhante e a taxa de cisalhamento define, de certo modo, o comportamento reológico dos líquidos considerados puramente viscosos. A equação matemática entre estas duas variáveis é conhecida como equação de fluxo, e a sua representação gráfica é conhecida como curva de fluxo. Uma curva de fluxo (Figura 3.13) é, portanto, um registro gráfico que mostra como a tensão cisalhante ou viscosidade varia em função da taxa de cisalhamento [21].

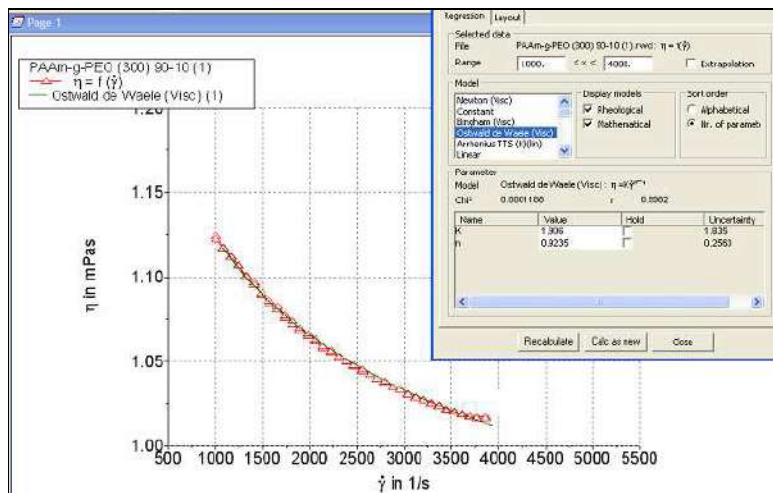


Figura 3.13 - Curva de fluxo obtida do reômetro RS 600 da Haake

Após a determinação dos parâmetros reológicos, foi possível a construção de gráficos de perda de carga *versus* número de Reynolds (Figura 3.14).

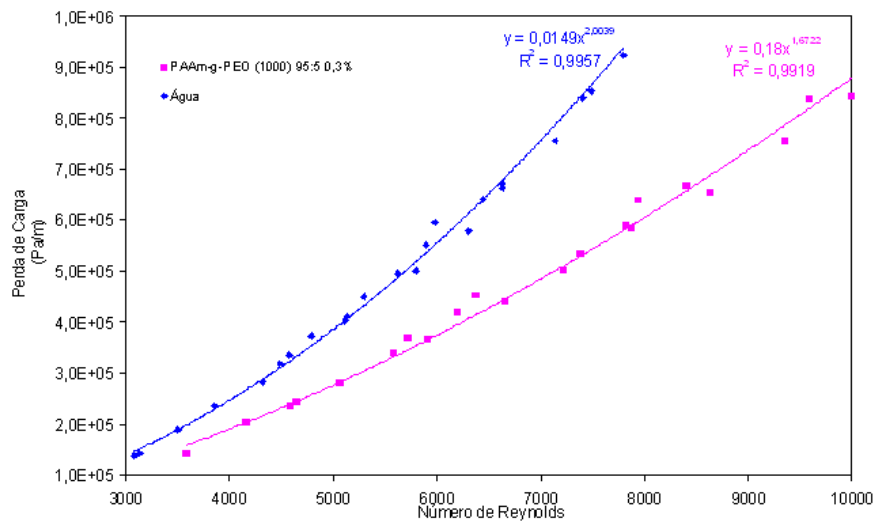


Figura 3.14 - Comportamento da perda de carga pelo comprimento da tubulação em função do número de Reynolds para a solução de PAAm-g-PEO1000 95:5 (teórico)

3.7.3- Cálculo do percentual de DR (*Drag Reduction*)

Para o cálculo dos percentuais de redução de arraste das soluções poliméricas foram utilizados os dados obtidos no ensaio de perda de carga (volume de fluido escoado, tempo de escoamento, perda de carga) e os parâmetros K e n. Todos os dados relativos à água pura também foram inseridos, tomando-a como referência, sendo assumidos valores de K igual a 1 e n igual a 1. Seguindo o modelo Dodge & Metzner para escoamento de fluidos viscosos em viscosímetro tubo-capilar, foi possível calcular os valores do número de Reynolds do escoamento, utilizando as Equações 3.2 a 3.5.

$$V = \frac{v}{t \times 10^6} \quad (3.2)$$

$$u = \frac{V}{A} \quad (3.3)$$

$$\eta = K \times \left\{ \left(\frac{8 \times u}{d} \right) \times \left(\frac{3 \times (n+1)}{4 \times n} \right) \right\}^{(n-1)} \quad (3.4)$$

$$\text{Re} = \left(\frac{\rho \times d \times u}{\eta} \right) \times \left(\frac{4 \times n}{3 \times n + 1} \right) \quad (3.5)$$

Onde,

V = vazão de escoamento em m³/s;

v = volume em mL;

t = tempo em s;

u = velocidade de escoamento em m/s;

A = área da seção reta do tubo capilar em m²;

η = viscosidade em Pa.s;

K = índice de consistência;

d = diâmetro da seção reta do tubo capilar em m;

n = índice de fluxo (adimensional);

Re = número de Reynolds adimensional;

ρ = densidade do fluido em kg/m³.

O percentual de redução de arraste foi calculado a partir da relação entre a perda de carga da solução polimérica pelo comprimento da tubulação ($DP_{\text{solução}}/L$) e a perda de carga da água pelo comprimento da tubulação ($DP_{\text{água}}/L$) em número de Reynolds definido pela Equação 3.6.

$$\% DR = \frac{\frac{DP_{\text{água}}}{L} - \frac{DP_{\text{solução}}}{L}}{\frac{DP_{\text{água}}}{L}} \times 100 \quad (3.6)$$

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da determinação da massa molar, composição de AAM:Polióxido e porcentagem de redução de arraste podem ser observados, de forma sintetizada, nas Tabelas 4.1 a 4.4.

Nos anexos 1, 2 e 3 encontram-se os espectros de C^{13} -NMR, cromatogramas de SEC e gráficos de perda de carga respectivamente, utilizados para a elaboração das tabelas.

Tabela 4.1- Análises dos copolímeros PAAM-g-PEO (1000)

Copolímeros 0,1g/L	Comprimento da cadeia pendente (g/mol)	Composição AAM:Polióxido	<MM> (g/mol)	%DR Re=7.000
PAAM-g-PEO	1000	96:4	96.000	35,5
		95:5	103.000	30,1
		95:5	113.000	47,9
		95:5	135.000	50,5
		88:12	183.000	35,9

Tabela 4.2- Análises dos copolímeros PAAM-g-PEO (600) e
PAAM-g-PEO (300)

Copolímeros 0,1g/L	Comprimento da cadeia pendente (g/mol)	Composição AAM:Polióxido	<MM> (g/mol)	%DR Re=7.000
PAAM-g-PEO	600	95:5	49.000	40,0
		95:5	210.000	64,9
		84:16	35.000	16,2
	300	77:23	143.000	29,9

Tabela 4.3- Análises dos copolímeros PAAM-g-PPO (1000)

Copolímeros 0,1g/L	Comprimento da cadeia pendente (g/mol)	Composição AAM:Polióxido	<MM> (g/mol)	%DR Re=7.000
PAAM-g-PPO	1000	96:4	197.000	22,7
		95:5	202.000	39,4
		89:11	189.000	48,5
		84:16	169.000	44,4
		83:17	187.000	44,7

Tabela 4.4- Análises dos copolímeros PAAM-g-PPO (300)

Copolímeros 0,1g/L	Comprimento da cadeia pendente (g/mol)	Composição AAM:Polióxido	<MM> (g/mol)	%DR Re=7.000
PAAM-g-PPO	300	95:5	-	39,3
		92:8	146.000	44,9
		89:11	278.000	52,7
		86:14	118.000	33,9
		84:16	172.000	34,6
		78:22	115.000	68,1
		74:26	136.000	50,9

Em geral, observa-se que o teor de polióxido incorporado ao copolímero foi ligeiramente inferior ao da alimentação.

Os cálculos da composição dos copolímeros foram realizados a partir da identificação dos sinais característicos de cada carbono existente nas estruturas moleculares e da proporção entre as áreas correspondentes aos sinais dos átomos de carbono pertencentes aos grupamentos carbonila da amida e do éster, presentes nos polióxidos funcionalizados. A Figura 4.1

apresenta o espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de PAAM-g-PPO com composição teórica de 70:30 de AAm:PPO 300, a título de ilustração.

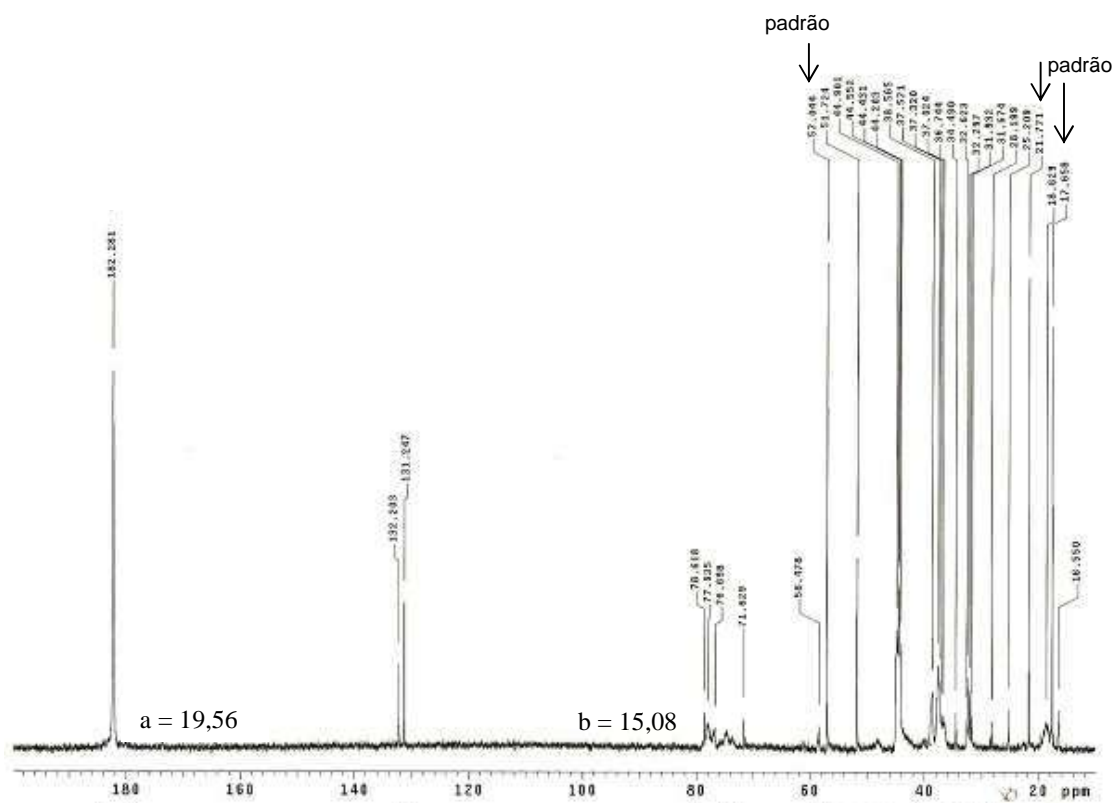


Figura 4.1- Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de PAAM-g-PPO com composição mássica teórica 70:30 de PAAM:PPO 300

As áreas dos sinais encontrados de 72 a 82 ppm correspondem aos carbonos da cadeia grafitada de PEO e PPO (b); a área centrada em 182 ppm corresponde ao carbono da carbonila da acrilamida (a), que foram utilizadas para base de cálculo.

Os sinais centrados em 132 ppm correspondem aos carbonos C=C de monômero residual presente na amostra analisada, enquanto que os sinais abaixo de 35 ppm, os quais não correspondem a átomos de carbono presentes no copolímero, podem ser atribuídos aos constituintes do meio reacional, tal como os carbonos do tensoativo SDS, cuja estrutura possui uma cauda apolar constituída de onze unidades de metileno e uma metila terminal. Além desses carbonos, o sinal do carbono mais próximo à cabeça polar do tensoativo ($\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{-Na}^+$) pode estar sobreposto ao sinal dos carbonos dos polióxidos em, aproximadamente, 72

ppm. A presença desses sinais de compostos residuais sugere a necessidade de purificação das amostras, caso a aplicação requeira alto grau de pureza.

Para cálculo da composição do copolímero em exemplo, foram utilizadas as áreas dos picos em 182 ppm (19,56) e 72-82 ppm, descontada do valor da área correspondente ao CH₂OSO₃-Na⁺, calculado através da relação entre as áreas dos sinais dos carbonos, o que leva a um valor de área relacionada somente aos carbonos CH e CH₂ do PPO de 12,48. O número de unidades repetitivas do PPO 300 monofuncional é igual a 5 e o número médio de unidades repetitivas de acrilamida para cada cadeia pendente de PPO 300 calculado com base na literatura [20] foi de 14,673 e, então, foi possível calcular o percentual de poli(óxido de propileno) incorporado à cadeia de poliacrilamida, cujo valor vale 22,4%.

Para este cálculo, não foi descontado o teor de monômero não reagido, o qual foi considerado desprezível em relação ao valor final obtido.

Podemos observar (Figura 4.2) a aplicação das fórmulas descritas anteriormente, no cálculo da composição .

$$b^* = 15,08 - 2,6 \text{ (área em 71,8: SDS)}$$

$$b^* = 12,48$$

$$\frac{x+1}{2 \times 5} = \frac{19,56}{12,48} \therefore x = 14,673$$

$$\text{Mur} = 71 \times 14,673 + 69 + 58 \times 5 + 31$$

$$\text{Mur} = 1431,783$$

$$\%PPO = \frac{(322 - 1) \times 100}{1431,783} = 22,4\%$$

Figura 4.2 – Cálculo da composição

Os valores de massa molar média calculados encontram-se no intervalo de 49.000 a 280.000 g/mol. Para se obter valores de massa molar média superiores aos valores obtidos, seriam necessárias mudanças no processo de polimerização como, por exemplo, no tipo de iniciação.

Pode-se observar na Tabela 6.2, por exemplo, que para um mesmo copolímero PAAM-g-PEO 600 95:5 foram obtidos resultados de massa molar média muito diferentes ($\langle M_w \rangle = 49000$ e 210000), o que comprova a necessidade de maior controle reacional. No entanto o objetivo deste trabalho não foi obter polímeros com massa molar elevada e sim famílias de polímeros de diferentes estruturas químicas com massas molares semelhantes para que outros parâmetros tais como, tipo, tamanho e teor de cadeia pendente pudessem ser avaliados.

Observa-se nos gráficos de distribuição de tamanho no Anexo 2, que tanto os homopolímeros quanto os copolímeros sintetizados apresentaram curva de distribuição de tamanho larga, o que caracteriza uma alta polidispersão característica do tipo de polimerização envolvido.

Avaliando de forma geral os resultados, observa-se que o desempenho na redução de arraste variou em função da massa molar, conforme estabelecido na literatura, e da constituição química e composição dos copolímeros. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam alguns resultados de redução de arraste para amostras de PAAM-g-PEO e PAAM-g-PPO, respectivamente, de forma a ilustrar a influência da massa molar.

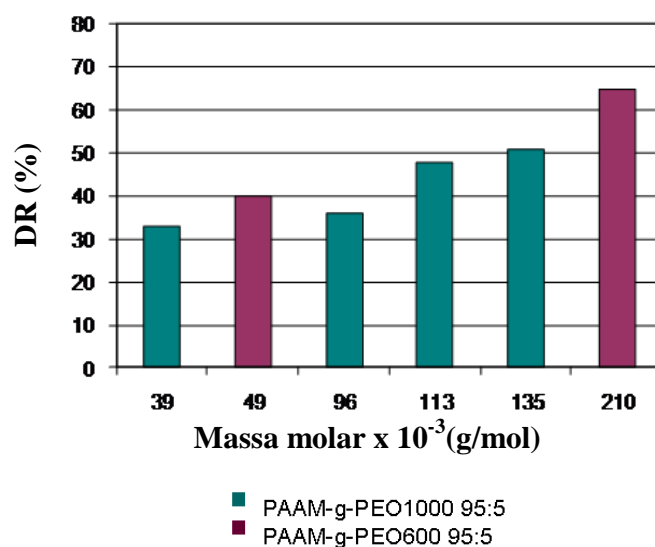


Figura 4.3- Gráfico de influência da massa molar *versus* porcentagem de perda de carga

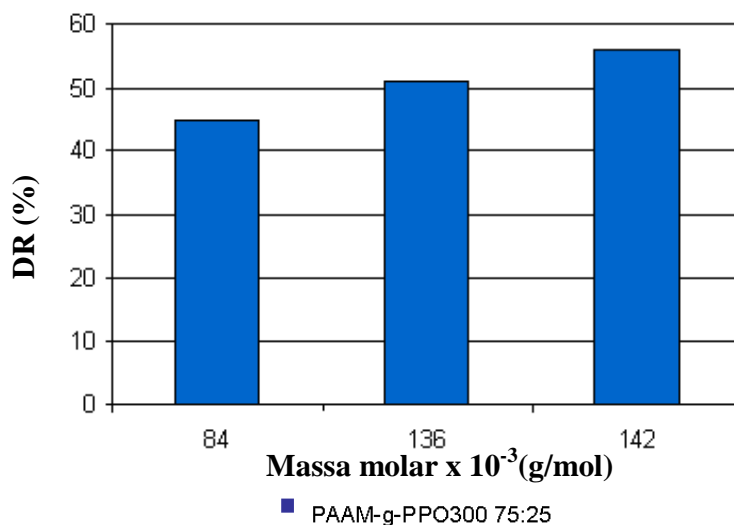


Figura 4.4- Gráfico de influência da massa molar *versus* porcentagem de perda de carga

Pode-se observar que quanto maior a massa molar melhor é o desempenho do copolímero como aditivo redutor de arraste, tanto para o grupo de copolímero com cadeia pendente de caráter hidrofílico quanto hidrofóbico. Ao se comparar os percentuais de redução de arraste de copolímeros com cadeias pendentes de PEO com teor mássico de 5%, observa-se que o aumento da massa molar do copolímero potencializa o desempenho na redução de arraste, tanto para copolímeros de PEO 1000 e PEO 600, no entanto a massa molar não foi o fator predominante, uma vez que seu aumento não significou melhor desempenho, quando comparados os copolímeros de famílias diferentes PAAM-g-PEO 600 de massa molar média igual a 49.000 g/mol (40,0%DR) e PAAM-g-PEO 1000 de massa molar média igual a 96.000 g/mol (35,5%DR). Neste caso, a estrutura química apresentou uma influência significativa e ao se comparar os desempenhos de redução de arraste deve-se, então, considerar uma mesma família de estrutura química.

Como comentado anteriormente, além da massa molar, a presença de grupamentos laterais de diferentes estruturas também foi analisada neste trabalho. Observa-se que dentro de cada família, o teor e o comprimento da cadeia pendente afetam o desempenho do polímero, sendo que os efeitos são diferenciados para cadeias pendentes hidrofílicas (PEO) e hidrofóbicas (PPO).

As Figuras de 4.5 a 4.6 apresentam os resultados de redução de arraste para amostras de PAAM-g-PEO e PAAM-g-PPO, de forma a ilustrar a influência do comprimento e teor de cadeia pendente.

Avaliando as cadeias PAAM-g-PEO, o aumento do comprimento e do teor da cadeia grafitizada parece desfavorecer o desempenho como redutor de arraste, retratados nos menores valores de %DR, como exemplo, o valor de cerca de 36%, para o polímero PAAM-g-PEO 1000 88:12, o qual mesmo possuindo massa molar mais elevada que o copolímero de PAAM-g-PEO 1000 95:5 (50,5% DR), esse aumento de 50.000 g/mol parece ter tido pouca influência no seu desempenho como redutor de arraste, em comparação ao teor de cadeias incorporadas ser duas vezes maior. Para os copolímeros com PEO 600, também é observado que o aumento do teor de grafts piora o desempenho, conforme observado ao comparar os copolímeros PAAM-g-PEO 600 84:16 (16,2% DR) e PAAM-g-PEO 600 95:5 (40,0% DR), ambos contendo massa molar próxima a 40.000 g/mol. Observa-se que no caso de copolímeros com PEO, cadeias pendentes mais curtas e em menor quantidade favorecem o seu desempenho como redutor de arraste. Os copolímeros com essa estrutura apresentaram %DR maiores que os de estrutura com maior teor de cadeias pendentes de PEO mais longo, como pode ser visto para os copolímeros PAAM-g-PEO 1000 88:12 e PAAM-g-PEO 600 95:5.

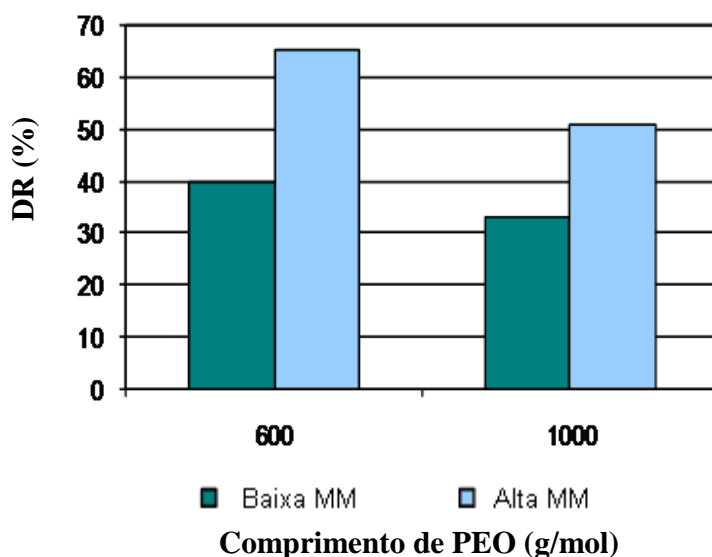


Figura 4.5 - Gráfico do comprimento de cadeia dos copolímeros PAAM-g- PEO(600) e PAAM-g- PEO(1000) versus porcentagem de perda de carga

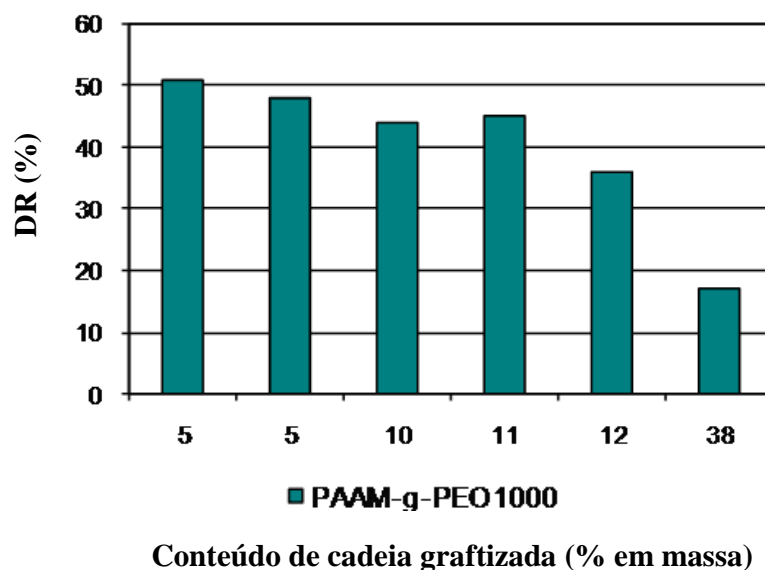


Figura 4.6 - Gráfico do teor de cadeia graftizada dos copolímeros de PAAM-g- PEO(1000) versus porcentagem de perda de carga

No caso de moléculas PAAM-g-PPO, em geral, não foram observadas diferenças significativas com relação ao comprimento das cadeias graftizadas. Por outro lado, observa-se que parece existir um teor de incorporação ótimo para que os melhores resultados de redução de arraste sejam alcançados. No entanto, este teor ótimo parece ser menor quanto maior for o comprimento da cadeia graftizada, considerando a faixa estudada até então. Isto pode ser observado no teor ótimo de, aproximadamente, 15 e 24%, para os copolímeros de PAAM-g-PPO 1000 e PAAM-g-PPO 300, respectivamente, considerando valores de massa molar média semelhantes (Figuras 4.7 e 4.8).

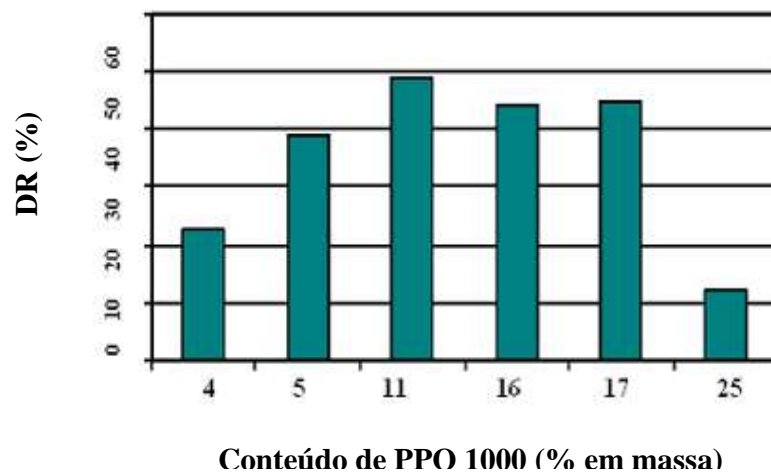


Figura 4.7- Gráfico do teor de cadeia graftizada dos copolímeros de PAAM-g- PPO(1000) versus porcentagem de perda de carga

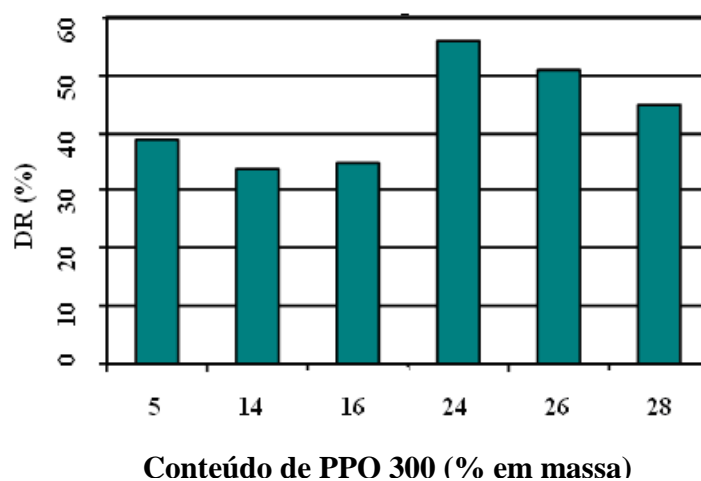


Figura 4.8 - Gráfico do teor de cadeia graftizada dos copolímeros de PAAM-g- PPO(300) versus porcentagem de perda de carga

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Os comportamentos observados até então, tanto para copolímeros com cadeias pendentes hidrofílicas quanto hidrofóbicas podem estar relacionados ao grau de hidroflicidade da estrutura analisada e como essa estrutura se conforma em solução, levando a sugerir que a solubilidade do copolímero também pode ser um fator que influencia no desempenho do polímero na redução de arraste. Outros teores de incorporação e outras análises específicas poderiam contribuir melhor para uma conclusão a esse respeito.

De forma geral, os resultados permitiram concluir que a estrutura química dos aditivos analisados, nas condições de trabalho aqui estudadas, é um importante fator a ser levado em consideração na redução de arraste da seguinte forma:

- Menores teores e comprimentos de cadeia graftizada hidrofílica levam à melhor redução de arraste;
- Maiores teores de cadeia graftizada hidrofóbica levam à melhor redução de arraste, considerando um teor máximo para melhor desempenho.

Diante disto, acredita-se ser possível obter moléculas com tamanhos e estruturas específicas que atendam às especificações de um determinado fluido e atuem como aditivos na redução do arraste provocado pelo escoamento deste, em diversas aplicações. Isto pode ser obtido com modificações químicas para a inserção de cadeias pendentes hidrofílicas e/ou hidrofóbicas na estrutura de uma determinada molécula, atingindo a conformação e o balanço hidrófilo-lipófilo requerido para o tipo de fluido.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - CHO, S., TAE, C., ZAHEERUDDIN, M. Effect of fluid velocity, temperature, and concentration of non-ionic surfactants on drag reduction. *Energy Conversion and Management*, v. 48, p. 913-918, ago. 2006.

2 – SUKSAMRANCHIT, S., SIRIVAT, A. Influence of ionic strength on complex formation between poly(ethylene oxide) and cationic surfactant and turbulent wall shear stress in aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, v. 128, p. 11-20, out. 2006.

3 – SUKSAMRANCHIT, S., SIRIVAT, A., JAMIESON, A.M. Polymer-surfactant complex formation and its effects on turbulent wall shear stress. *Colloid and Interface Science*, v. 294, p. 212-221, jul. 2005.

4 – ZHANG, Y., SCHMIDT, J., TALMON, Y., ZAKIN, J.L. Co –solvent effects on drag reduction, rheological properties and micelle microstructures of cationic surfactants. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 286, p. 696-709, jan. 2005.

5 – LI, F., KAWAGUCHI, Y., YU, B., WEI, J., HISHIDA, K. Experimental study of drag-reduction mechanism for a dilute surfactant solution flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 51, p. 835-843, abr. 2007.

6 - LI, C., SURESHKUMAR, R., KHOMAMI, B. Influence of rheological parameters on polymer induced turbulent drag reduction. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, v. 140, p. 23-40, dez. 2005.

7 - MARTINS, A.L., MASSARANI, G., WALDMANN, A.T.A., COSTA, F.G. Avaliação da invasão de fluidos de perfuração em rochas reservatório de petróleo. São Carlos/SP: ENEMP, 2002.

8 – FERREIRA, M.V.D. Estudo dos mecanismos de redução de arraste por fluidos de perfuração de base polimérica. em: MMP 751 – Seminários de Mestrado. Rio de Janeiro: IMA/UFRJ, 2003, p. 51- 77.

9 – YU, B., LI, F., KAWAGUCHI, Y. Numerical and experimental investigation of turbulent characteristics in a drag-reducing flow with surfactant additives. International Journal of Heat and Fluid Flow, v. 25, p. 961-974, fev. 2004.

10 – SEYMOUR, E.V. Process for facilitating pipeline flow of Highly viscous liquids. Patent nº US 3520313, julho de 1970.

11 – EATON, GERALD, B., MONAHAN, MICHAEL, J., TIPTON, ROBERT, J. Methods for forming amorphous ultra-high molecular weight polyalphaolefin drag reducing agents. Patente nº US 6015779, maio de 1998.

12 – EATON, GERALD, B., MONAHAN, MICHAEL, J., EBERT, ALAN, K. Alpha olefin monomer partitioning agents for drag reducing agents and methods of forming drag reducing agents using alpha olefin monomer partitioning agents. Patent nº 20020065202, setembro de 2001.

13 – ANDREIS, M., GRÄGER, H., KOENING, J. L., KÖTER, M., KULICKE, W.M. Polymer Characterization/Polymer Solutions. In: BIZOTTO, V., SABADINI, E. Redução de atrito hidrodinâmico por agentes poliméricos e a cinética de degradação molecular. 4º PDPETRO, Campinas, 21-24 de Outubro de 2007.

14 – SADICOFF, B.L., BRANDÃO, E.M., LUCAS, E.F., AMORIM, M.C.V. Copolimerização Micelar de Poli(Acrilamida-g-Óxido de Propileno): Avaliação Reológica e Caracterização de suas Soluções. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.11, nº 2, p. 41-50, 2001.

15 - CAMAIL, M., MAGAILLAN, A., MAESANO, J.C., THURET, S., VERNET, J.L.

Synthesis and structural study of new copolymers, based on acrylamide and N122 acryloyl acids, with persistent drag reduction activity. *Polymer*, v. 39, p. 3187-3192,1998.

16- MANO, E.B., MENDES, L.C. Introdução a polímeros

17- LUCAS, E.F., SOARES, B.C., MONTEIRO, E. Caracterização de polímeros- Determinação de peso molecular e análise térmica. Rio de Janeiro, 2001

18- MACHADO, J.C. Reologia e escoamento de fluido- Ênfase na indústria de petróleo, 2002

19- SILVERSTEIN, R.M., BASSLER, G.C., MORRIL, T.C. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan,1994.

20- LUCAS, E.F. Síntese e caracterização de poli(metacrilato de metila – g [óxido de etileno – b - óxido de propileno]) e estudo de sua adsorção na interface água-tolueno. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: IMA/UFRJ, 1990

21- PIRES, R.V. Síntese e caracterização de copolímeros de poliacrilamida e investigação do parâmetro que governa sua ação como redutor de arraste. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: IMA/UFRJ, 2008

ANEXO 1

Espectros de ressonância magnética nuclear dos copolímeros sintetizados

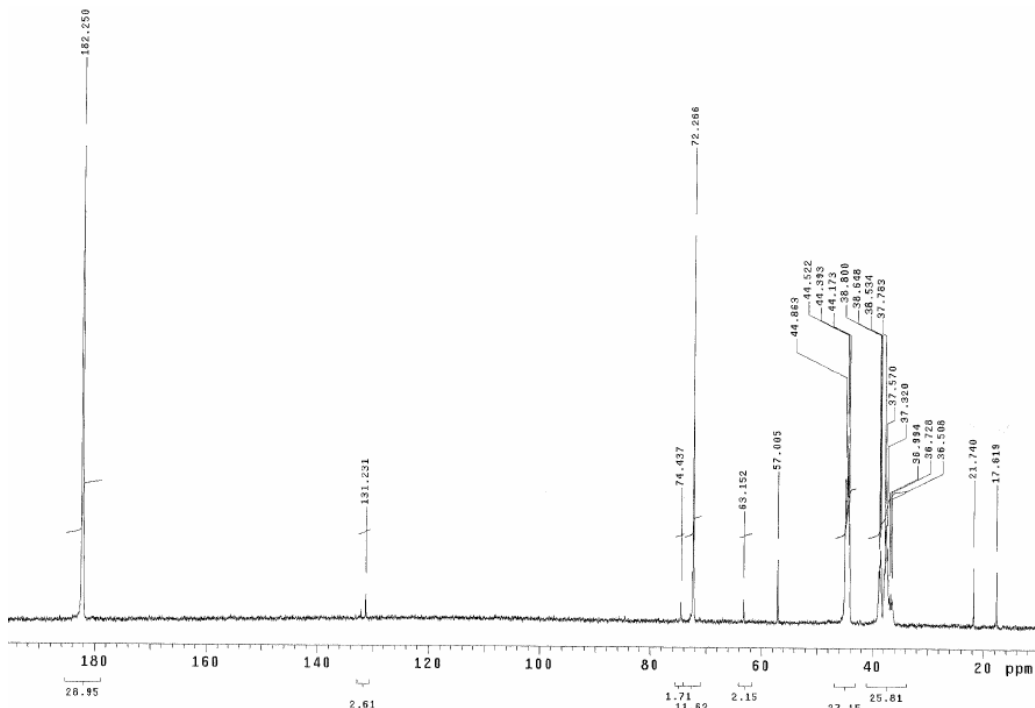


Figura 1. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PEO 1000) 88:12 (0,3%)

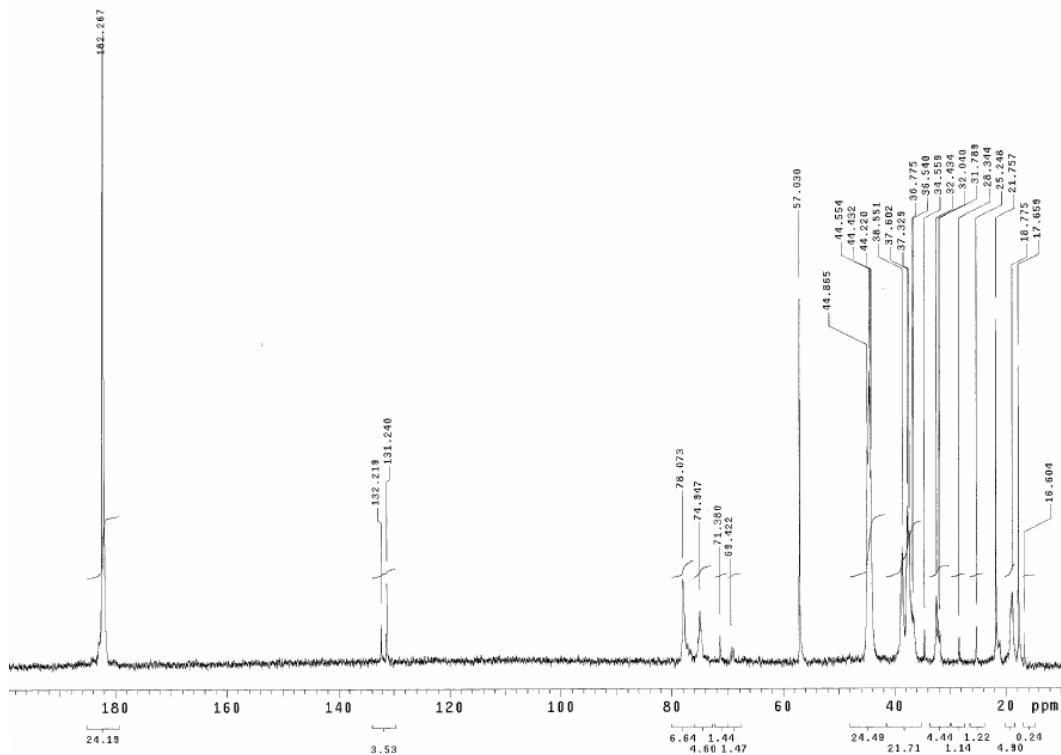


Figura 2. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 1000) 84:16 (0,3%)

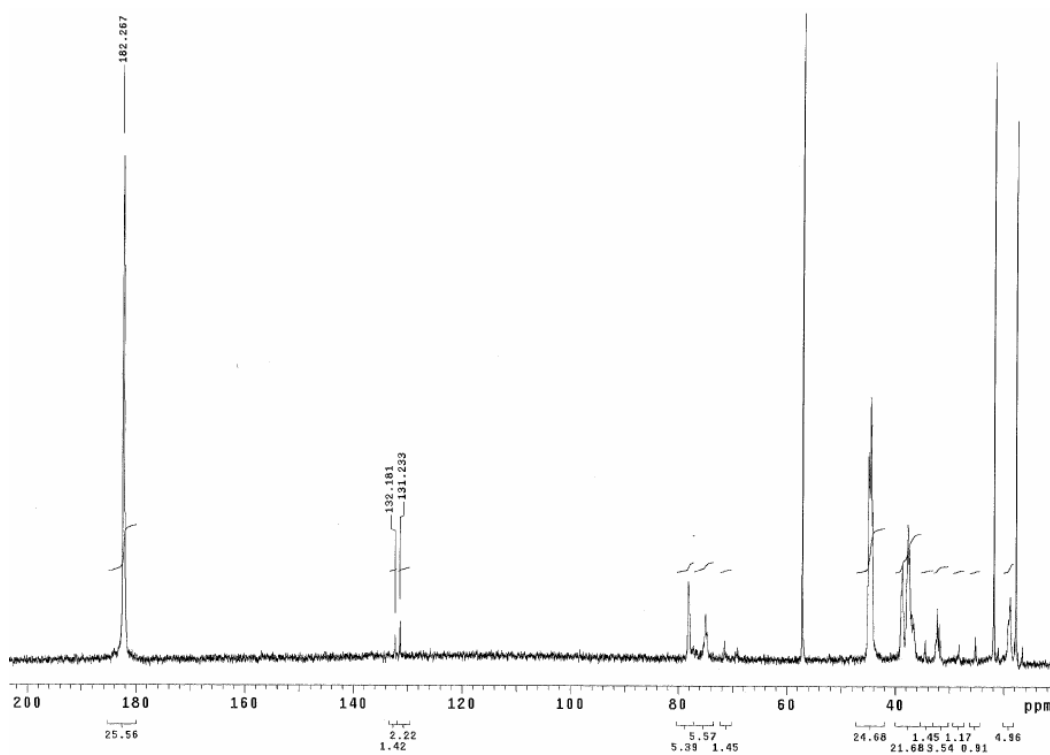


Figura 3. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 1000) 83:17 (0,3%)

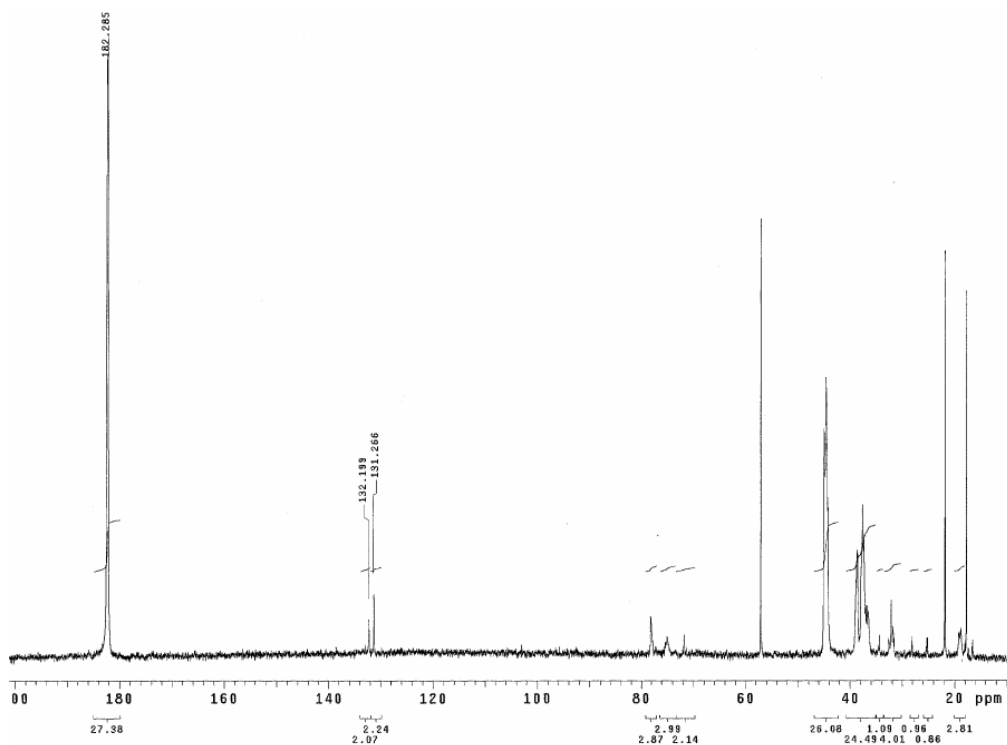


Figura 4. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 1000) 89:11 (0,3%)

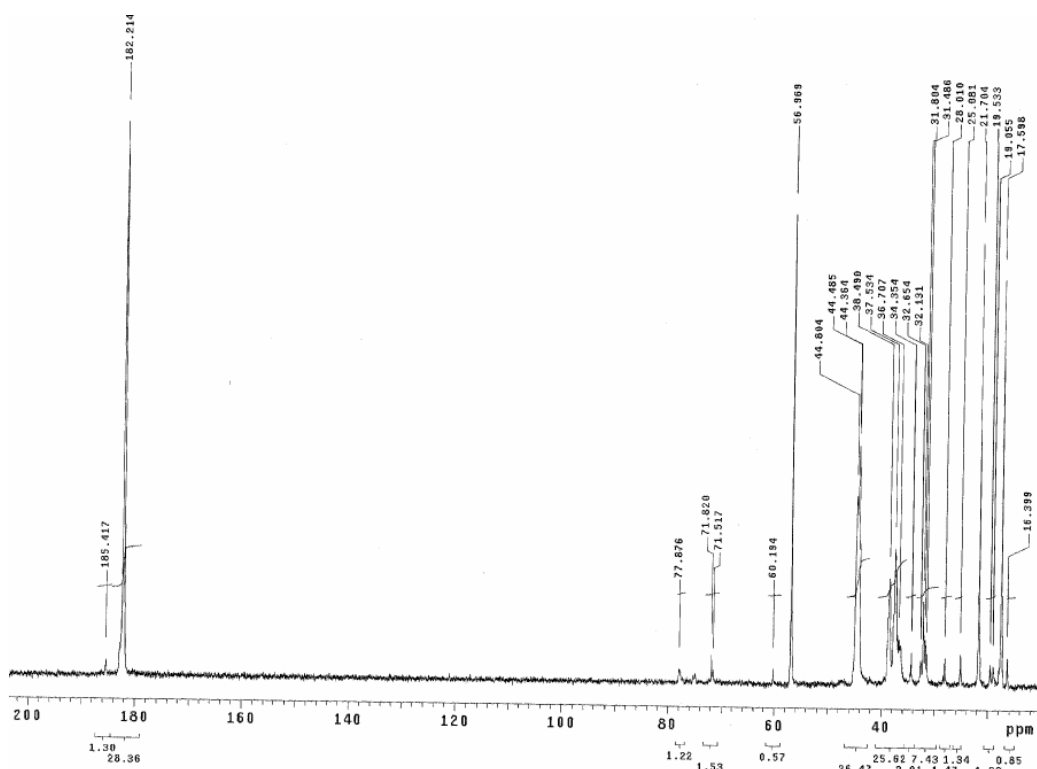


Figura 5. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 1000) 96:4 (0,3%)

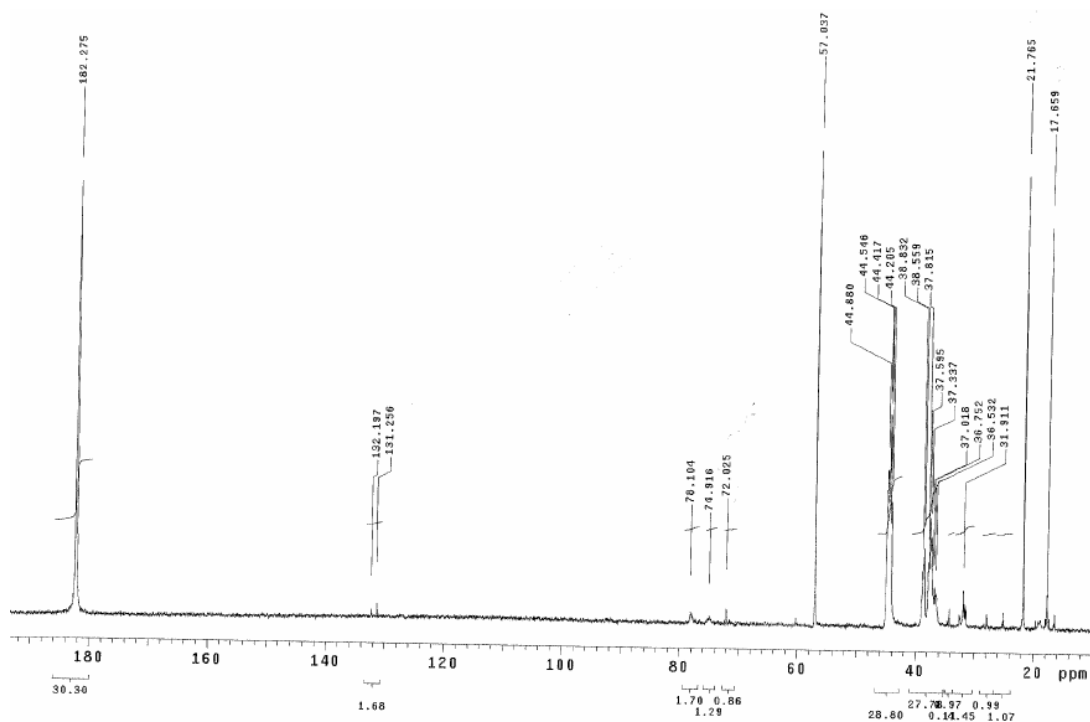


Figura 6. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 1000) 95:5 (0,3%)

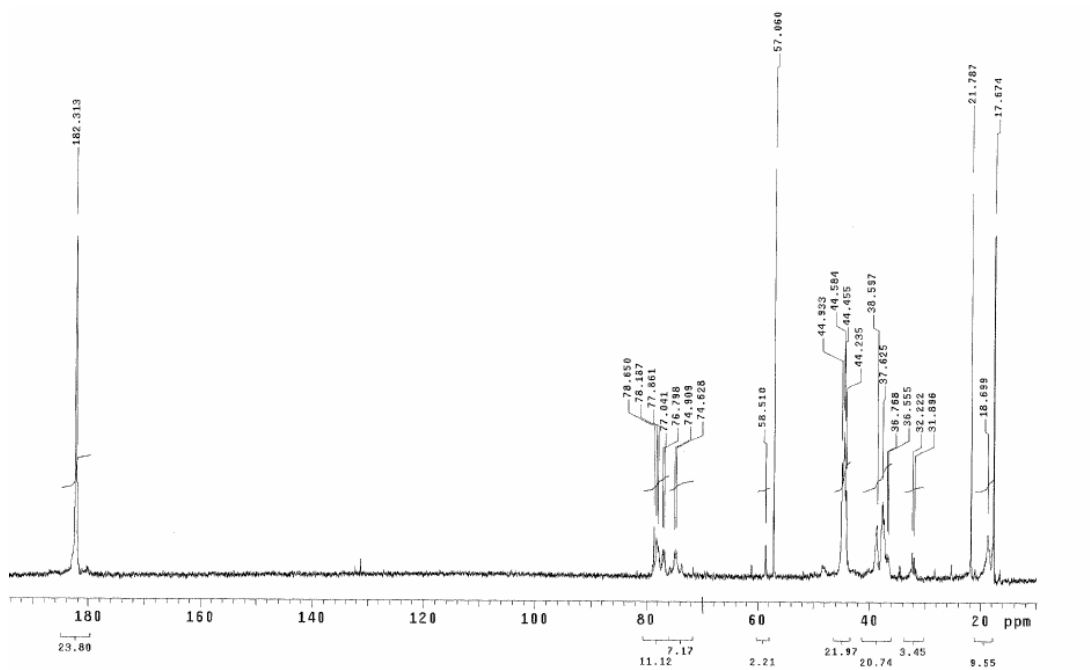


Figura 7. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 300) 74:26 (0,3%)

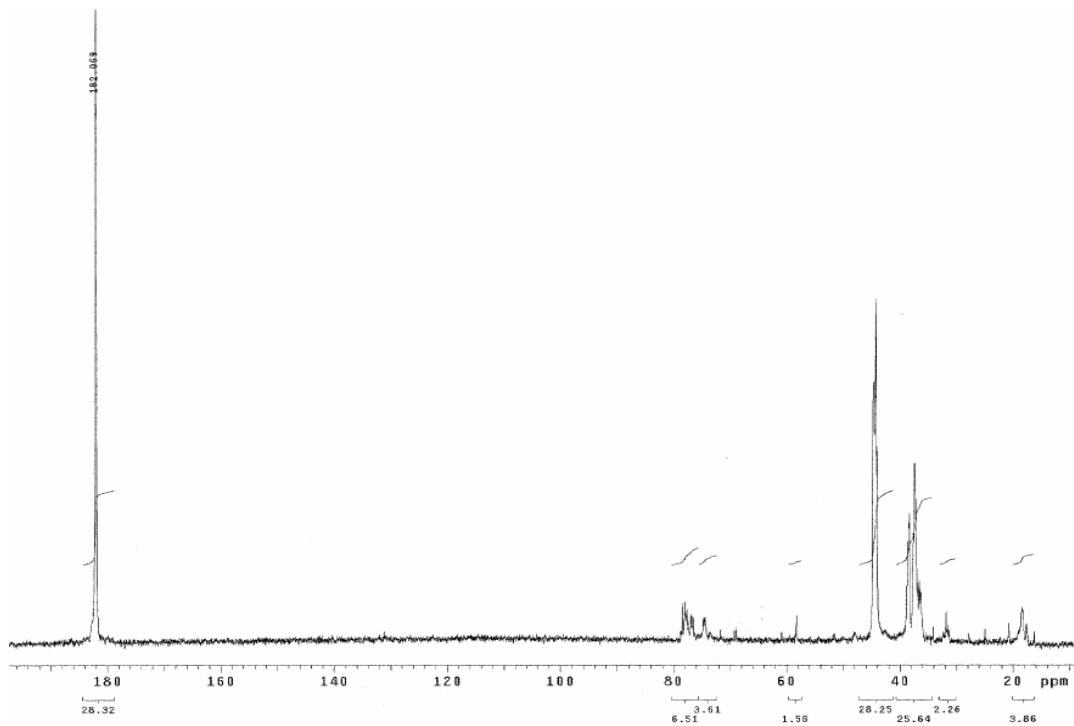


Figura 8. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 300) 86:14 (0,3%)

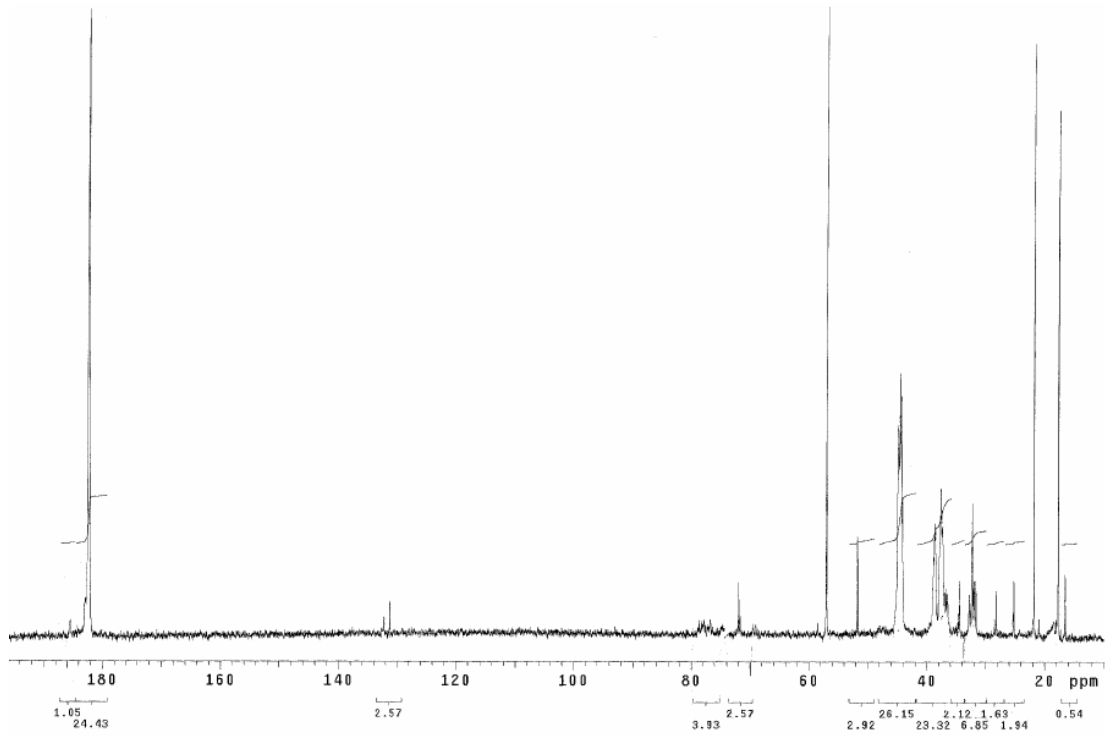


Figura 9. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 300) 89:11 (0,3%)

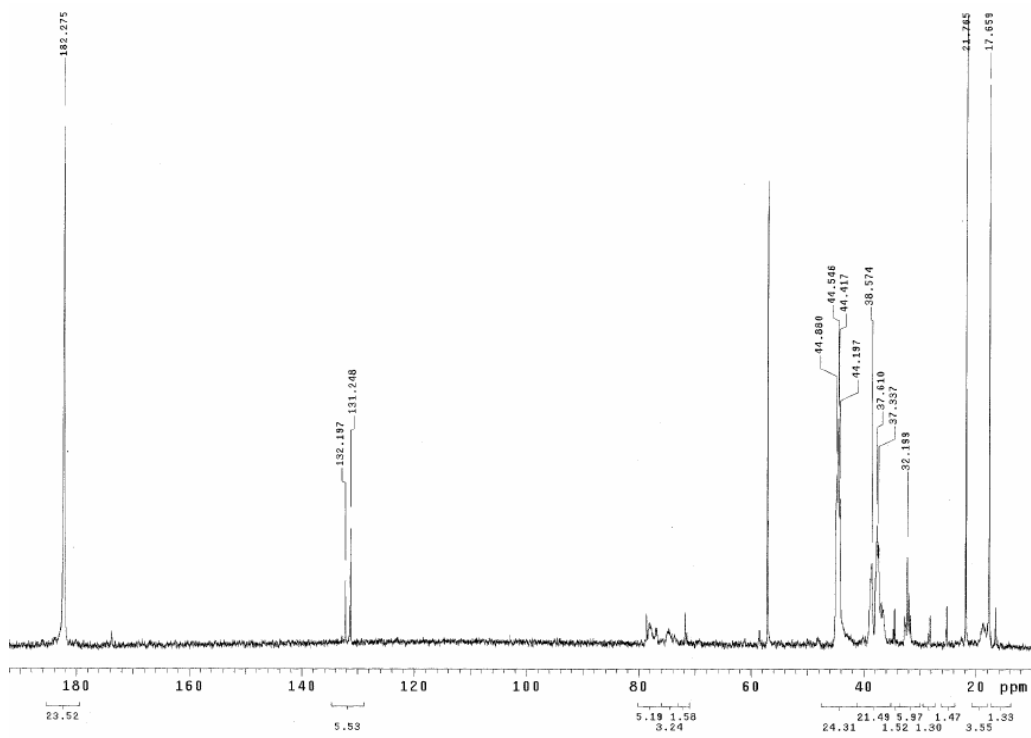


Figura 10. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 300) 84:16 (0,3%)

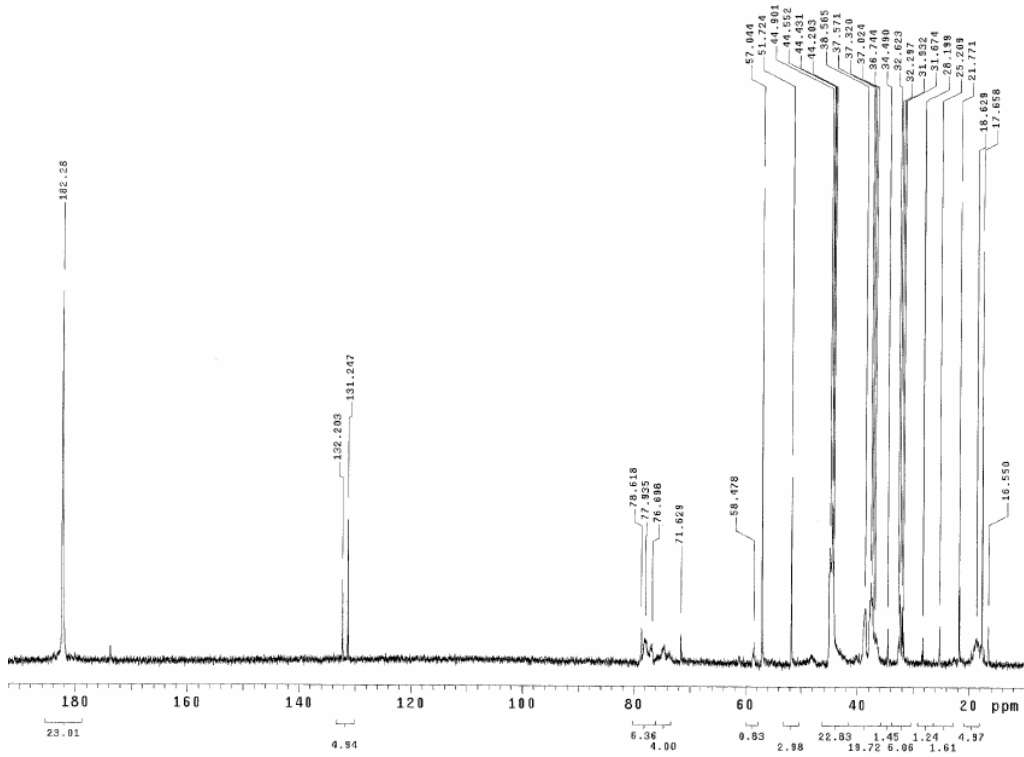


Figura 11. Espectro de ^{13}C -NMR do copolímero de poli(acrilamida-g-PPO 300) 78:22 (0,3%)

ANEXO 2

Gráficos de distribuição de tamanho

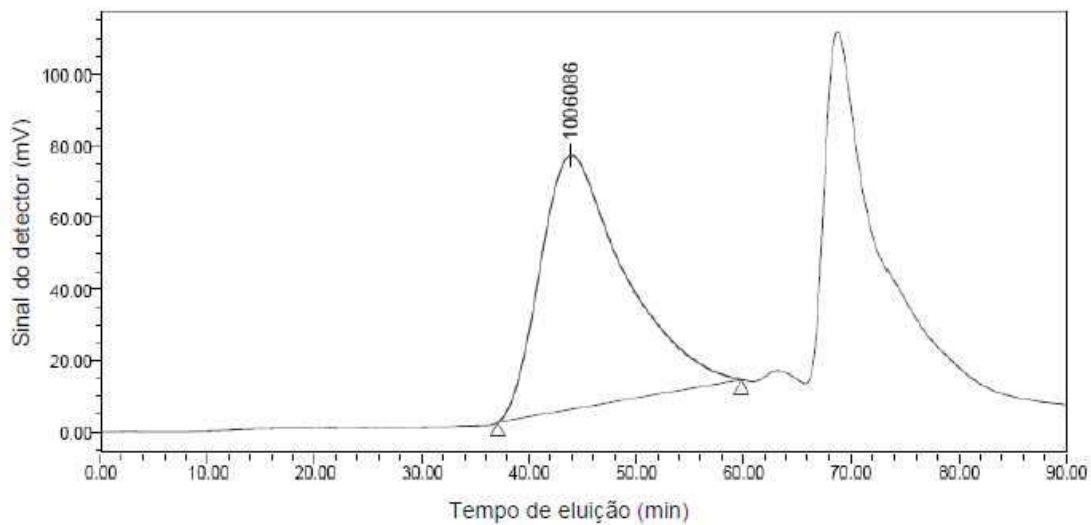


Figura 1. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PEO 1000) 88:12 (0,3%)

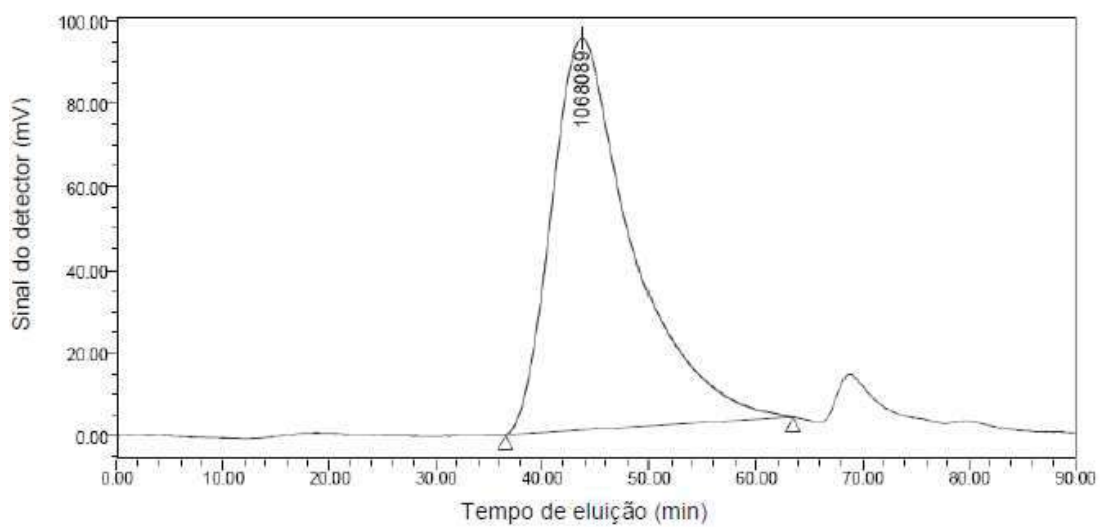


Figura 2. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PEO 600) 95:5 (0,3%)

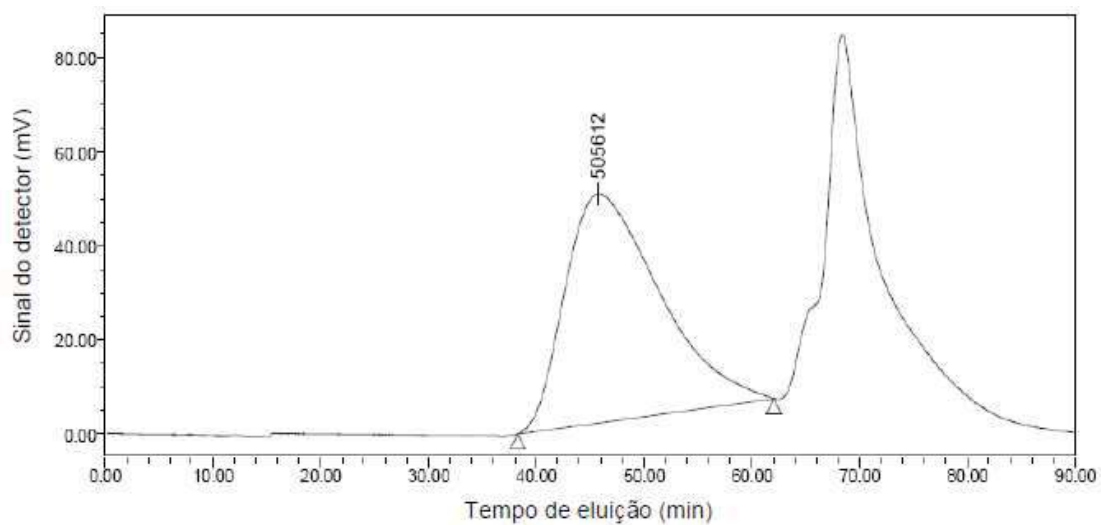


Figura 3. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PEO 300) 80:20 (teórico) (0,3%)

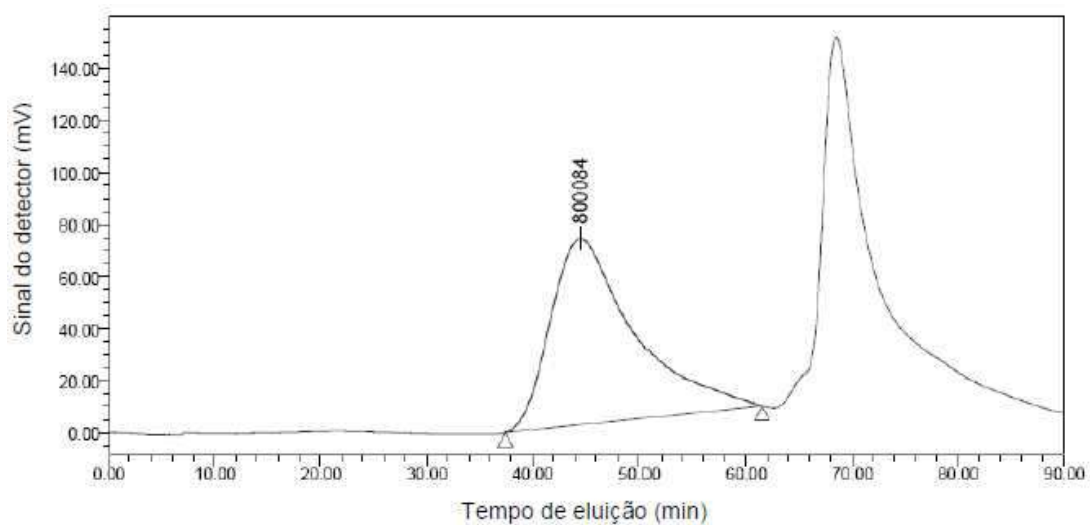


Figura 4. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PEO 300) 90:10 (teórico) (0,3%)

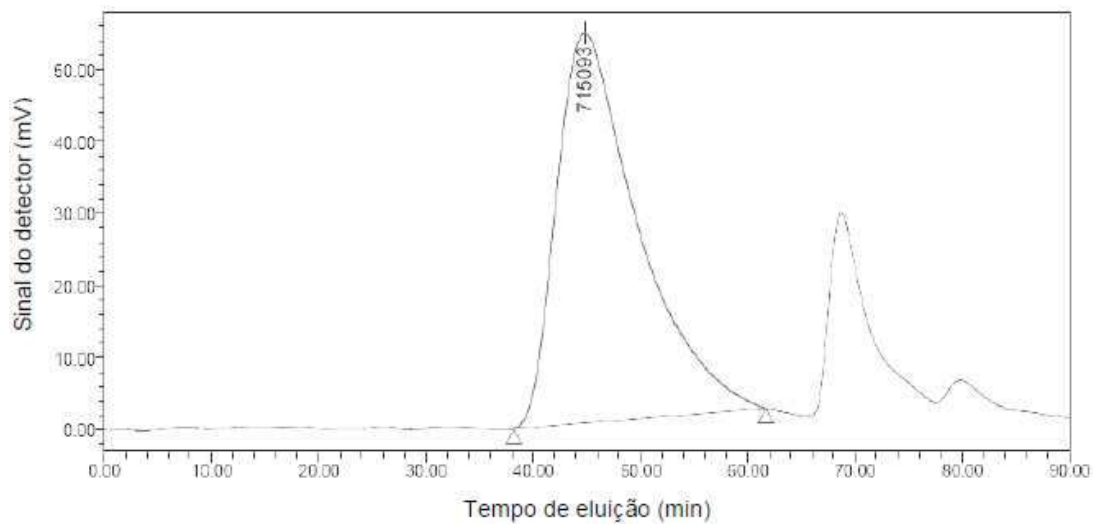


Figura 5. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 1000) 84:16(0,3%)

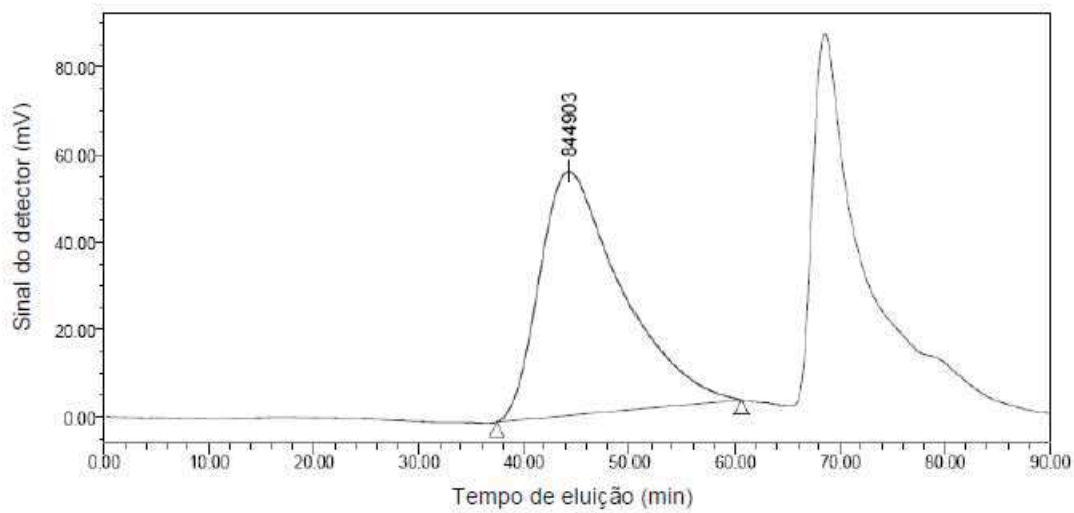


Figura 6. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 1000) 83:17(0,3%)

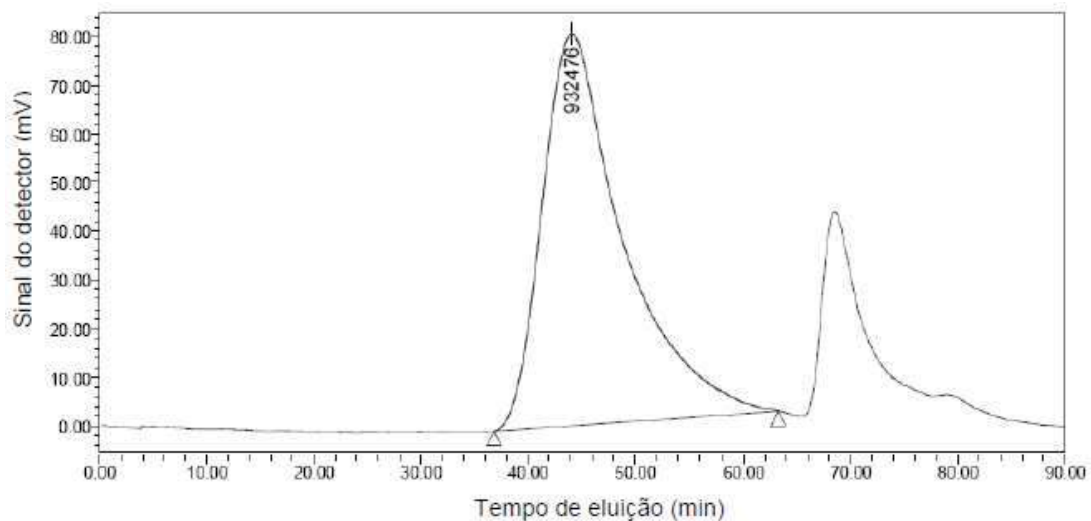


Figura 7. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 1000) 89:11(0,3%)

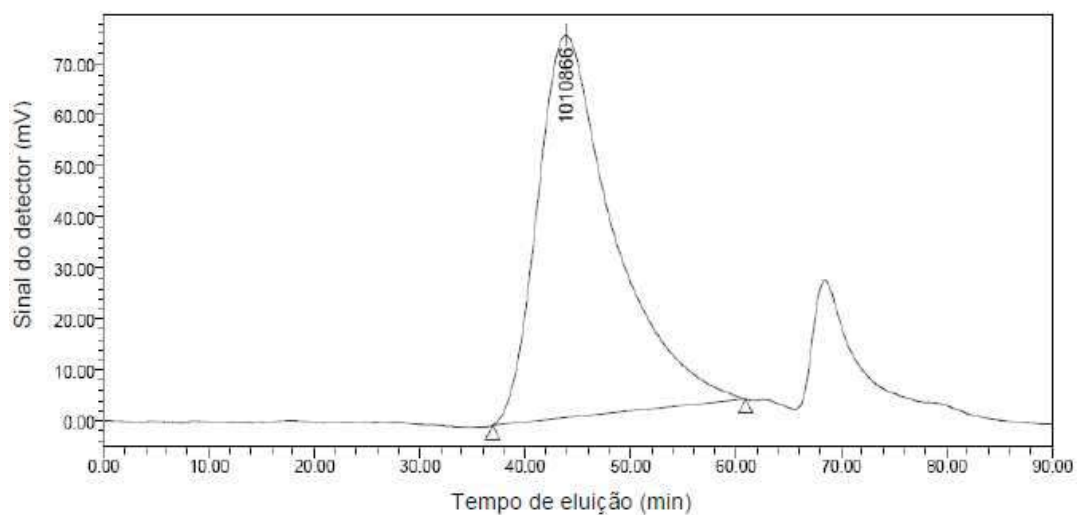


Figura 8. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 1000) 96:4(0,3%)

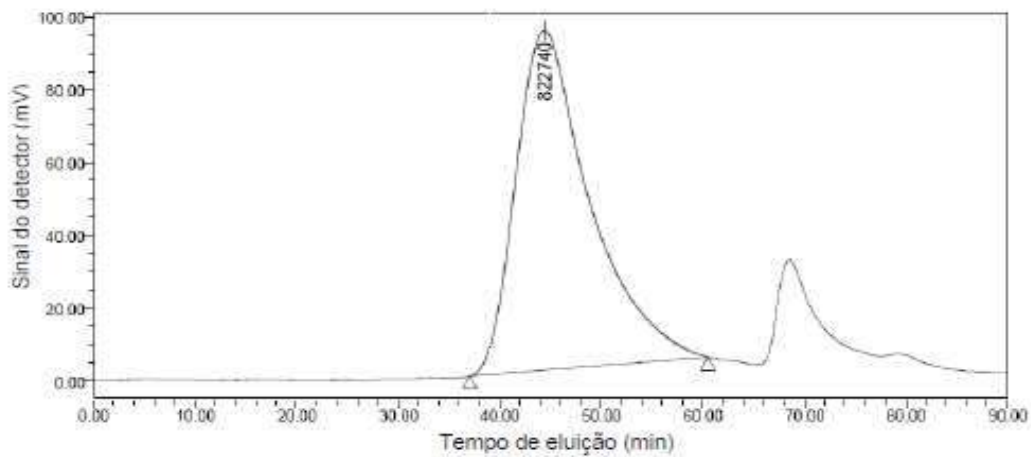


Figura 9. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 1000) 95:5(0,3%)

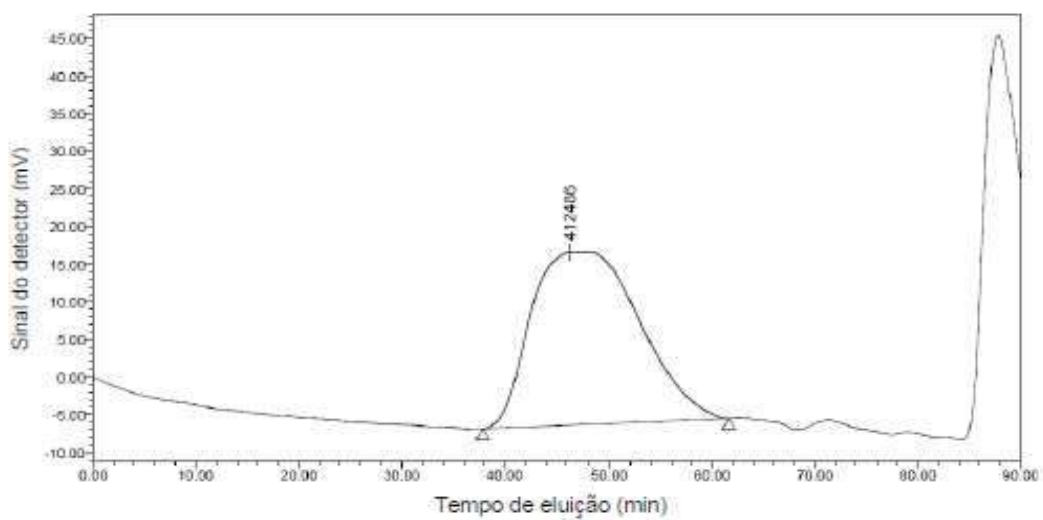


Figura 10. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 300) 74:26(0,3%)

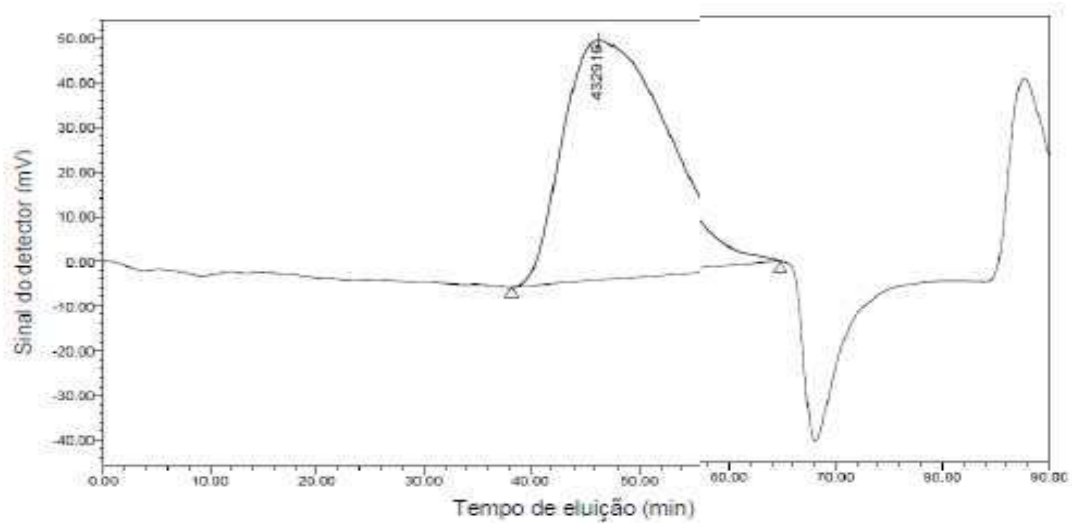


Figura 11. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 300) 86:14(0,3%)

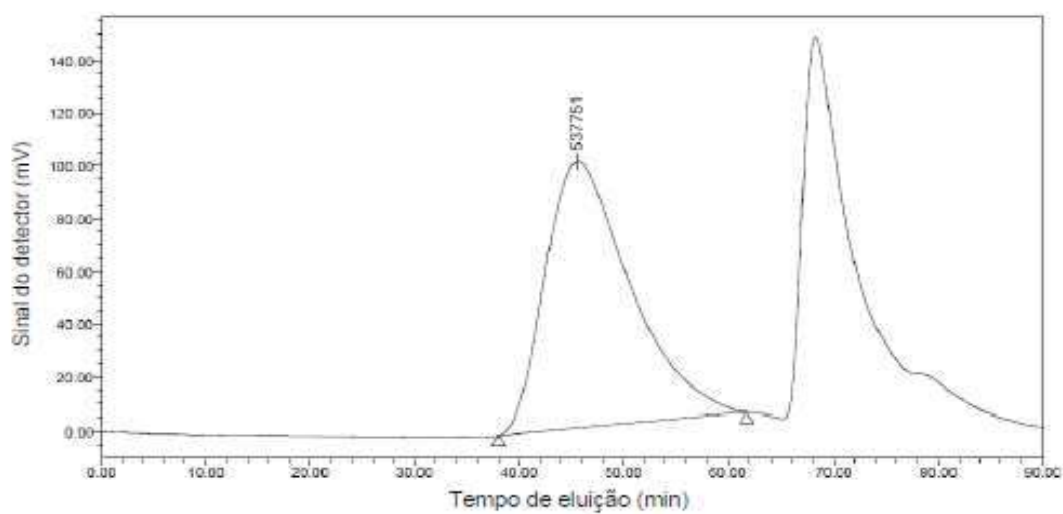


Figura 12. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 300) 84:16(0,3%)

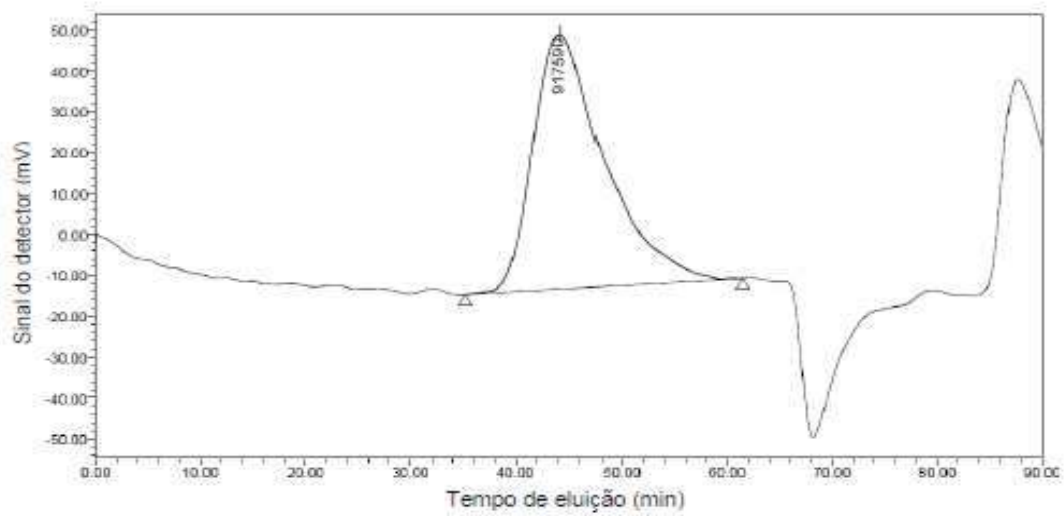


Figura 13. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 300) 89:11(0,3%)

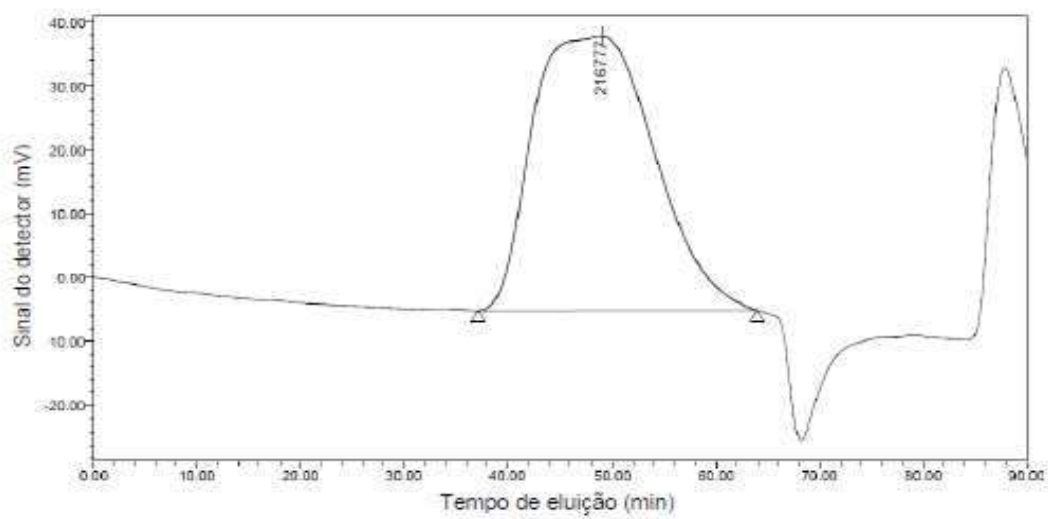


Figura 14. Cromatograma do copolímero de Poli(acrilamida-PPO 300) 78:22(0,3%)

ANEXO 3

Gráficos de perda de carga versus número de Reynolds

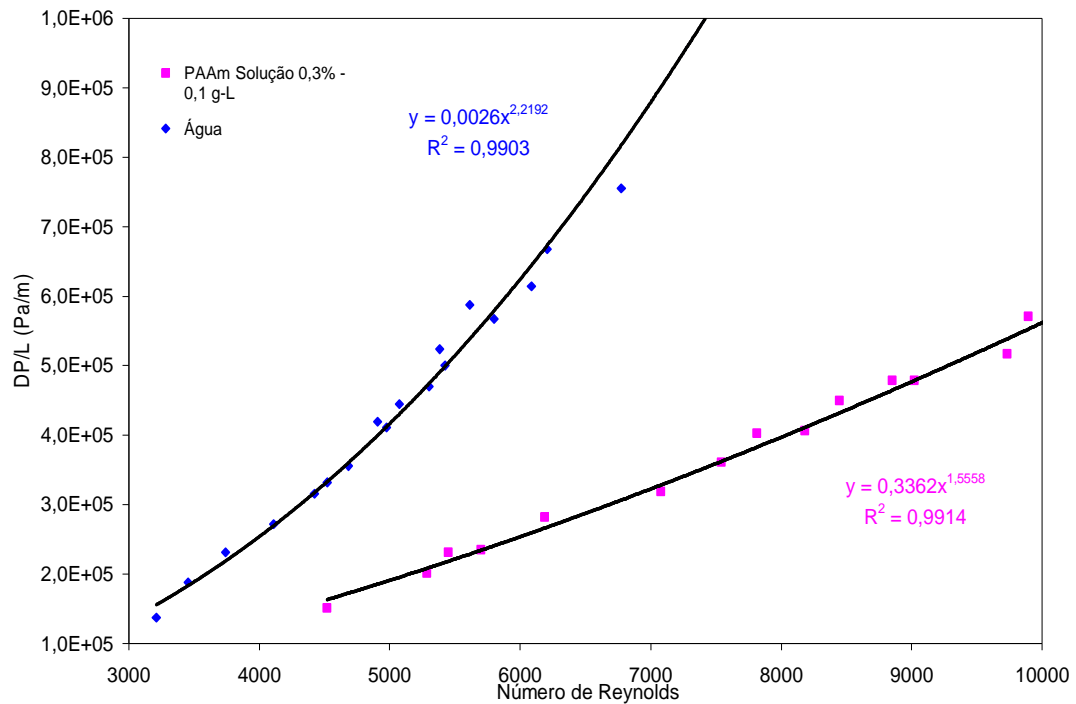


Figura 1. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM (solução) (0,3%)

PAAM Solução 0,3% - 0,1 g-L									
Reologia:	n =	0,8426	K =	4,8209E-03	Re_c =	2316			
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,0	24,16	3,5596E-06	4,2721	9,2987E-04	4521	4732	9,0	62053	151054
86,0	21,12	4,0720E-06	4,8870	9,1039E-04	5282	5529	12,0	82737	201405
86,0	19,78	4,3478E-06	5,2180	9,0105E-04	5699	5965	14,0	96527	234972
85,5	20,44	4,1830E-06	5,0202	9,0654E-04	5449	5704	13,8	95148	231616
85,5	18,32	4,6670E-06	5,6011	8,9105E-04	6186	6475	16,8	115832	281967
86,5	16,50	5,2424E-06	6,2917	8,7490E-04	7077	7407	19,0	131000	318891
86,5	15,62	5,5378E-06	6,6462	8,6738E-04	7540	7892	21,5	148237	360850
86,0	14,47	5,9433E-06	7,1329	8,5778E-04	8183	8565	24,2	166853	406166
86,0	15,06	5,7105E-06	6,8534	8,6320E-04	7813	8178	24,0	165474	402810
86,5	14,16	6,1088E-06	7,3314	8,5409E-04	8447	8841	26,8	184779	449804
86,5	13,38	6,4649E-06	7,7588	8,4650E-04	9019	9441	28,5	196501	478336
87,0	13,68	6,3596E-06	7,6325	8,4869E-04	8850	9263	28,5	196501	478336
86,5	12,53	6,9034E-06	8,2852	8,3780E-04	9731	10186	30,8	212359	516939
86,5	11,69	7,3995E-06	8,8805	8,2870E-04	10545	11038	34,0	234422	570647
86,0	12,28	7,0033E-06	8,4050	8,3591E-04	9894	10356	34,0	234422	570647
86,5	11,42	7,5744E-06	9,0905	8,2566E-04	10834	11340	37,2	256485	624355
86,5	11,31	7,6481E-06	9,1789	8,2440E-04	10956	11468	37,0	255106	620998
87,0	11,19	7,7748E-06	9,3309	8,2227E-04	11167	11688	39,2	270274	657922
86,5	11,05	7,8281E-06	9,3948	8,2139E-04	11255	11781	44,0	303369	738484
87,5	10,07	8,6892E-06	10,4283	8,0801E-04	12700	13293	49,8	343359	836830
87,5	9,16	9,5524E-06	11,4643	7,9605E-04	14172	14834	55,0	379212	923105

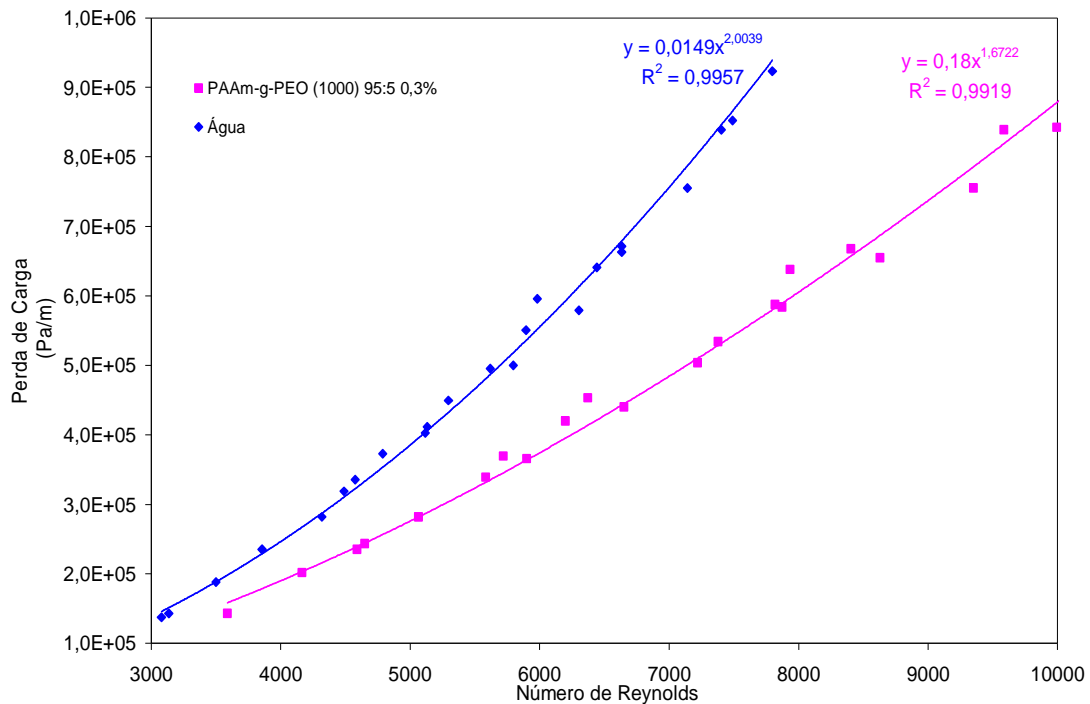


Figura 2. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(1000) 88:12 (0,3%)

PAAm-g-PEO (1000) 95:5 0,3%

Reologia: $n = 0,9415$ $K = 1,5870E-03$ $Re_c = 2180$

V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
85,5	33,00	2,5909E-06	3,1095	8,7858E-04	3590	8,5	58605	142662
85,5	28,69	2,9801E-06	3,5766	8,7142E-04	4163	12,0	82737	201405
86,0	26,00	3,3077E-06	3,9697	8,6612E-04	4649	14,5	99974	243364
86,0	26,32	3,2675E-06	3,9215	8,6674E-04	4589	14,0	96527	234972
86,0	23,97	3,5878E-06	4,3059	8,6201E-04	5066	16,8	115832	281967
86,0	23,97	3,5878E-06	4,3059	8,6201E-04	5066	16,8	115832	281967
86,5	22,00	3,9318E-06	4,7188	8,5741E-04	5582	20,2	139274	339031
87,0	21,00	4,1429E-06	4,9721	8,5479E-04	5900	21,8	150306	365885
86,0	21,37	4,0243E-06	4,8298	8,5624E-04	5721	22,0	151685	369242
86,0	19,81	4,3412E-06	5,2101	8,5245E-04	6199	25,0	172369	419593
86,5	19,41	4,4565E-06	5,3484	8,5115E-04	6373	27,0	186158	453161
87,0	18,75	4,6400E-06	5,5687	8,4914E-04	6651	26,2	180643	439734
86,5	17,25	5,0145E-06	6,0181	8,4529E-04	7221	30,0	206843	503512
86,5	16,90	5,1183E-06	6,1428	8,4428E-04	7379	31,8	219253	533723
86,5	16,00	5,4063E-06	6,4883	8,4158E-04	7819	35,0	241317	587431
86,5	15,90	5,4403E-06	6,5291	8,4127E-04	7872	34,8	239938	584074
86,5	15,78	5,4816E-06	6,5788	8,4090E-04	7935	38,0	262001	637782
87,0	15,03	5,7884E-06	6,9470	8,3822E-04	8406	39,8	274411	667993
87,0	14,66	5,9345E-06	7,1223	8,3700E-04	8631	39,0	268896	654566
87,0	13,59	6,4018E-06	7,6831	8,3330E-04	9351	45,0	310264	755268
86,0	13,12	6,5549E-06	7,8668	8,3215E-04	9588	50,0	344738	839187
86,5	12,69	6,8164E-06	8,1807	8,3025E-04	9994	50,2	346117	842543
86,5	11,85	7,2996E-06	8,7606	8,2693E-04	10745	55,0	379212	923105

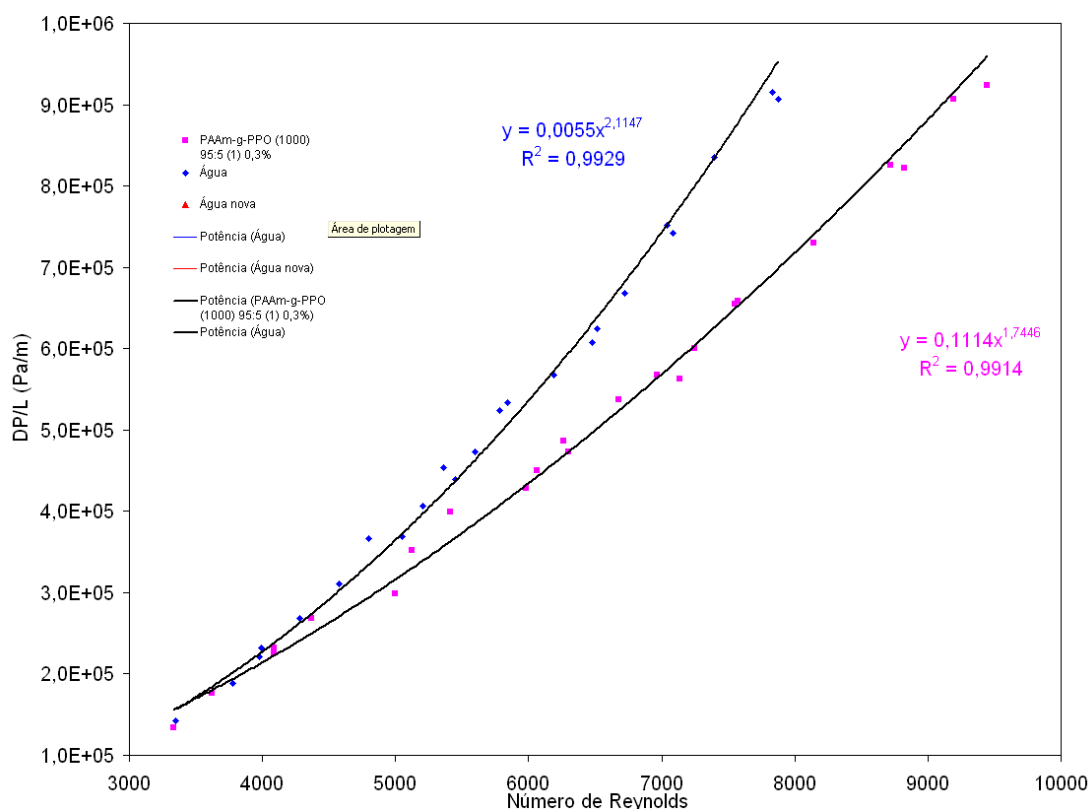


Figura 3. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(1000) 95:5 (1) (0,3%)

PAAm-g-PPO (1000) 95:5 (1) 0,3%												
Reologia:	n =	0,8426	K =	4,8209E-03	Re _c =	2316						
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa·s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	f(exp)	f(teórico)	DR(%)
86,0	31,47	2,7328E-06	3,2797	9,6937E-04	3329	3485	8,0	55158	134270	0,006429	0,009313	31,0
86,0	29,25	2,9402E-06	3,5286	9,5827E-04	3624	3793	10,5	72395	176229	0,007289	0,009110	20,0
86,0	26,34	3,2650E-06	3,9185	9,4260E-04	4091	4282	13,5	93079	226580	0,007600	0,008827	13,9
86,5	26,53	3,2605E-06	3,9130	9,4260E-04	4084	4275	13,8	95148	231616	0,007790	0,008830	11,8
86,0	24,88	3,4566E-06	4,1484	9,3417E-04	4370	4574	16,0	110316	268540	0,008036	0,008676	7,4
86,0	22,16	3,8809E-06	4,6576	9,1730E-04	4996	5230	17,8	122727	298750	0,007092	0,008378	15,3
86,0	21,69	3,9650E-06	4,7585	9,1421E-04	5122	5361	21,0	144790	352458	0,008016	0,008324	3,7
86,5	20,81	4,1567E-06	4,9886	9,0744E-04	5410	5662	23,8	164095	399453	0,008266	0,008207	0,7
86,5	18,85	4,5889E-06	5,5073	8,9343E-04	6066	6349	26,8	184779	449804	0,007637	0,007965	4,1
86,0	18,97	4,5335E-06	5,4409	8,9513E-04	5981	6261	25,5	175816	427985	0,007446	0,007995	6,9
86,5	18,34	4,7165E-06	5,6605	8,8958E-04	6262	6554	29,0	199948	486728	0,007823	0,007900	1,0
86,5	18,25	4,7397E-06	5,6884	8,8889E-04	6297	6591	28,2	194432	473301	0,007533	0,007888	4,5
86,0	17,25	4,9855E-06	5,9834	8,8184E-04	6677	6989	32,0	220632	537079	0,007726	0,007769	0,5
86,0	16,63	5,1714E-06	6,2064	8,7678E-04	6966	7291	33,8	233043	567290	0,007585	0,007683	1,3
86,5	16,38	5,2808E-06	6,3378	8,7389E-04	7137	7470	33,5	230974	562255	0,007209	0,007635	5,6
86,5	16,16	5,3527E-06	6,4241	8,7203E-04	7249	7588	35,8	246832	600858	0,007498	0,007604	1,4
86,0	15,47	5,5591E-06	6,6718	8,6685E-04	7574	7927	39,2	270274	657922	0,007612	0,007518	1,3
87,5	15,78	5,5450E-06	6,6548	8,6720E-04	7551	7904	39,0	268896	654566	0,007612	0,007523	1,2
86,0	14,53	5,9188E-06	7,1034	8,5834E-04	8144	8524	43,5	299922	730092	0,007452	0,007377	1,0
87,0	13,72	6,3411E-06	7,6103	8,4908E-04	8820	9232	49,0	337843	822403	0,007313	0,007225	1,2
86,5	13,78	6,2772E-06	7,5336	8,5044E-04	8717	9124	49,2	339222	825760	0,007493	0,007247	3,4
86,5	13,16	6,5729E-06	7,8885	8,4430E-04	9194	9624	54,0	372317	906322	0,007501	0,007147	4,9
86,0	12,78	6,7293E-06	8,0761	8,4118E-04	9448	9889	55,0	379212	923105	0,007289	0,007097	2,7

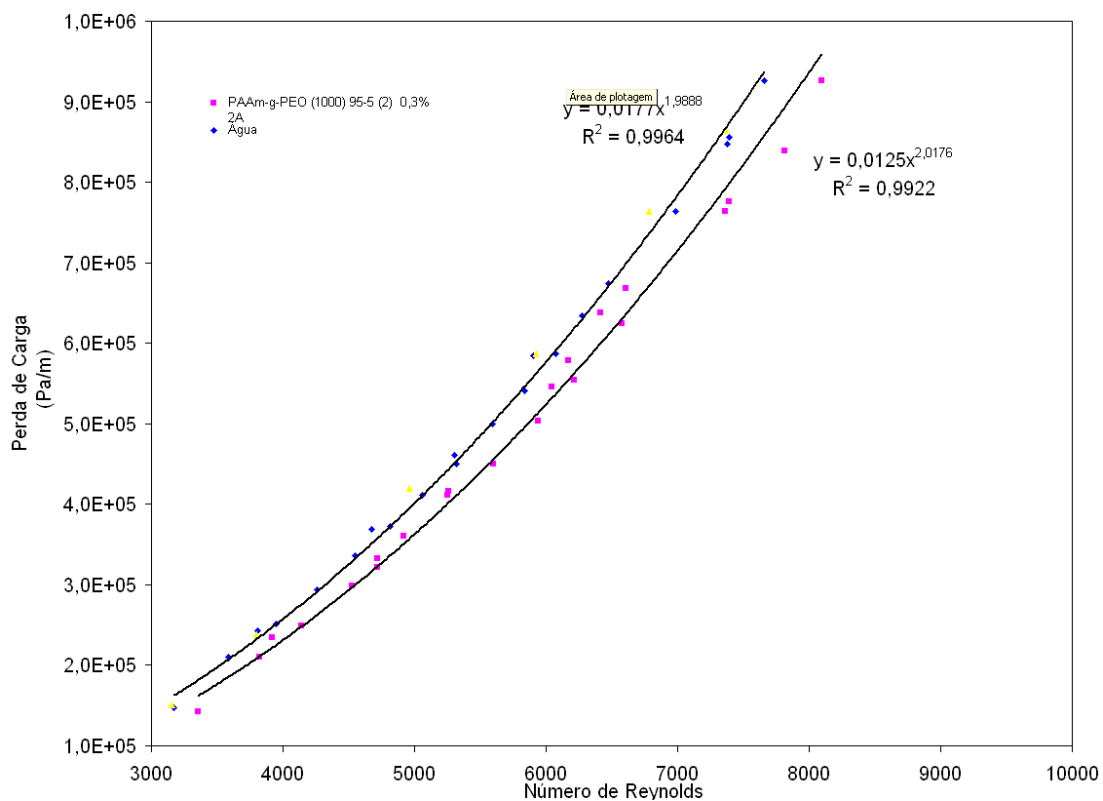


Figura 4. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(1000) 95:5 (2) (0,3%)

PAAM-g-PEO (1000) 95-5 (2) 0,3% ZA													
Reologia:		n =	K =	Re _c =									
		0,9801	1,1850E-03	2127									
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	f(exp)	f(teórico)	DR(%)	
85,5	32,36	2,6430E-06	3,1720	9,6891E-04	3355	3372	8,5	58605	142662	0,007302	0,010201	28,4	
85,5	28,47	3,0032E-06	3,6042	9,6645E-04	3822	3841	12,5	86184	209797	0,008317	0,009872	15,8	
85,0	26,16	3,2492E-06	3,8996	9,6493E-04	4142	4163	14,8	102042	248399	0,008412	0,009675	13,1	
85,5	27,78	3,0778E-06	3,6938	9,6598E-04	3919	3939	14,0	96527	234972	0,008869	0,009810	9,6	
86,0	24,25	3,5464E-06	4,2562	9,6325E-04	4528	4551	17,8	122727	298750	0,008493	0,009461	10,2	
85,5	23,15	3,6933E-06	4,4325	9,6248E-04	4720	4743	19,8	136516	332318	0,008711	0,009363	7,0	
86,0	23,28	3,6942E-06	4,4335	9,6247E-04	4721	4745	19,2	132379	322248	0,008443	0,009362	9,8	
85,0	22,10	3,8462E-06	4,6160	9,6170E-04	4919	4944	21,5	148237	360850	0,008722	0,009266	5,9	
86,0	20,97	4,1011E-06	4,9219	9,6047E-04	5252	5278	24,5	168922	411201	0,008742	0,009115	4,1	
86,0	20,94	4,1070E-06	4,9290	9,6045E-04	5259	5286	24,8	170990	416237	0,008823	0,009111	3,2	
86,0	19,69	4,3677E-06	5,2419	9,5927E-04	5600	5628	26,8	184779	449804	0,008431	0,008969	6,0	
86,0	18,59	4,6261E-06	5,5521	9,5817E-04	5938	5968	30,0	206843	503512	0,008412	0,008838	4,8	
86,5	17,88	4,8378E-06	5,8061	9,5732E-04	6215	6247	33,0	227527	553863	0,008461	0,008737	3,2	
85,5	18,16	4,7081E-06	5,6505	9,5784E-04	6045	6076	32,5	224080	545471	0,008798	0,008798	0,0	
86,5	18,00	4,8056E-06	5,7674	9,5745E-04	6173	6204	34,5	237869	579039	0,008965	0,008752	2,4	
86,0	16,81	5,1160E-06	6,1400	9,5626E-04	6580	6613	37,2	256485	624355	0,008529	0,008613	1,0	
85,5	17,13	4,9912E-06	5,9902	9,5673E-04	6416	6449	38,0	262001	637782	0,009154	0,008667	5,6	
86,0	16,75	5,1343E-06	6,1620	9,5619E-04	6604	6638	39,8	274411	667993	0,009060	0,008605	5,3	
86,0	15,06	5,7105E-06	6,8534	9,5417E-04	7361	7398	45,5	313711	763660	0,008373	0,008373	0,0	
86,0	15,00	5,7333E-06	6,8809	9,5409E-04	7391	7428	46,2	318538	775408	0,008434	0,008365	0,8	
86,5	14,28	6,0574E-06	7,2698	9,5305E-04	7817	7857	50,0	344738	839187	0,008177	0,008248	0,9	
86,0	13,72	6,2682E-06	7,5228	9,5240E-04	8095	8136	55,2	380591	926462	0,008431	0,008176	3,1	

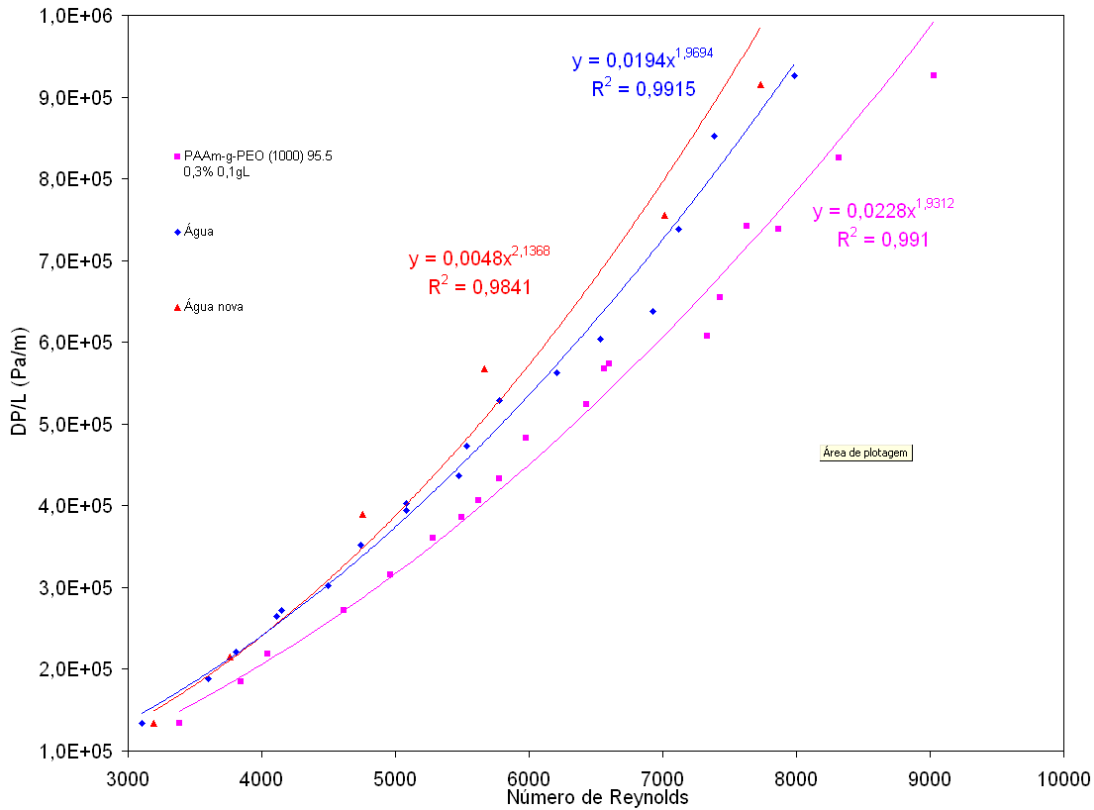


Figura 5. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(1000) 95:5 (0,3%)

PAAM-g-PEO (1000) 95.5 0.3% 0,1g/L												
Reologia:	n =	0,9384	K =	1,7160E-03	Re _c =	2184						
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	f(exp)	f(teórico)	DR(%)
86,0	33,57	2,5618E-06	3,0746	9,2129E-04	3382	3437	8,0	55158	134270	0,007315	0,009912	26,2
86,0	29,75	2,8908E-06	3,4693	9,1446E-04	3845	3908	11,0	75842	184621	0,007899	0,009594	17,7
86,0	28,34	3,0346E-06	3,6420	9,1173E-04	4048	4114	13,0	89632	218189	0,008472	0,009469	10,5
85,5	24,90	3,4337E-06	4,1210	9,0481E-04	4615	4691	16,2	111695	271896	0,008245	0,009159	10,0
85,0	23,13	3,6749E-06	4,4104	9,0104E-04	4960	5042	18,8	129621	315534	0,008354	0,008993	7,1
86,0	22,06	3,8985E-06	4,6787	8,9776E-04	5281	5368	21,5	148237	360850	0,008489	0,008851	4,1
86,5	20,91	4,1368E-06	4,9648	8,9449E-04	5625	5717	24,2	166853	406166	0,008486	0,008711	2,6
86,0	21,25	4,0471E-06	4,8571	8,9570E-04	5495	5585	23,0	158579	386026	0,008427	0,008762	3,8
86,0	20,28	4,2406E-06	5,0894	8,9312E-04	5775	5869	25,8	177885	433020	0,008610	0,008653	0,5
86,0	19,62	4,3833E-06	5,2606	8,9131E-04	5981	6079	28,8	198569	483371	0,008995	0,008676	4,9
86,5	18,44	4,6909E-06	5,6298	8,8759E-04	6428	6533	31,2	215116	523652	0,008509	0,008420	1,1
86,0	17,88	4,8098E-06	5,7725	8,8622E-04	6601	6709	34,2	235801	574004	0,008871	0,008364	6,1
86,0	17,97	4,7868E-06	5,7436	8,8650E-04	6566	6673	33,8	233043	567290	0,008856	0,008375	5,7
87,0	16,38	5,3114E-06	6,3744	8,8082E-04	7334	7454	36,2	249590	607571	0,007701	0,008143	5,4
86,0	16,00	5,3750E-06	6,4508	8,8018E-04	7427	7549	39,0	268896	654566	0,008101	0,008117	0,2
86,0	15,60	5,5128E-06	6,6162	8,7881E-04	7629	7755	44,2	304748	741841	0,008728	0,008062	8,3
86,0	15,16	5,6728E-06	6,8082	8,7726E-04	7865	7994	44,0	303369	738484	0,008205	0,008000	2,6
86,0	14,37	5,9830E-06	7,1805	8,7439E-04	8322	8458	49,2	339222	825760	0,008248	0,007886	4,6
86,0	13,31	6,4613E-06	7,7545	8,7025E-04	9030	9178	55,2	380591	926462	0,007935	0,007724	2,7

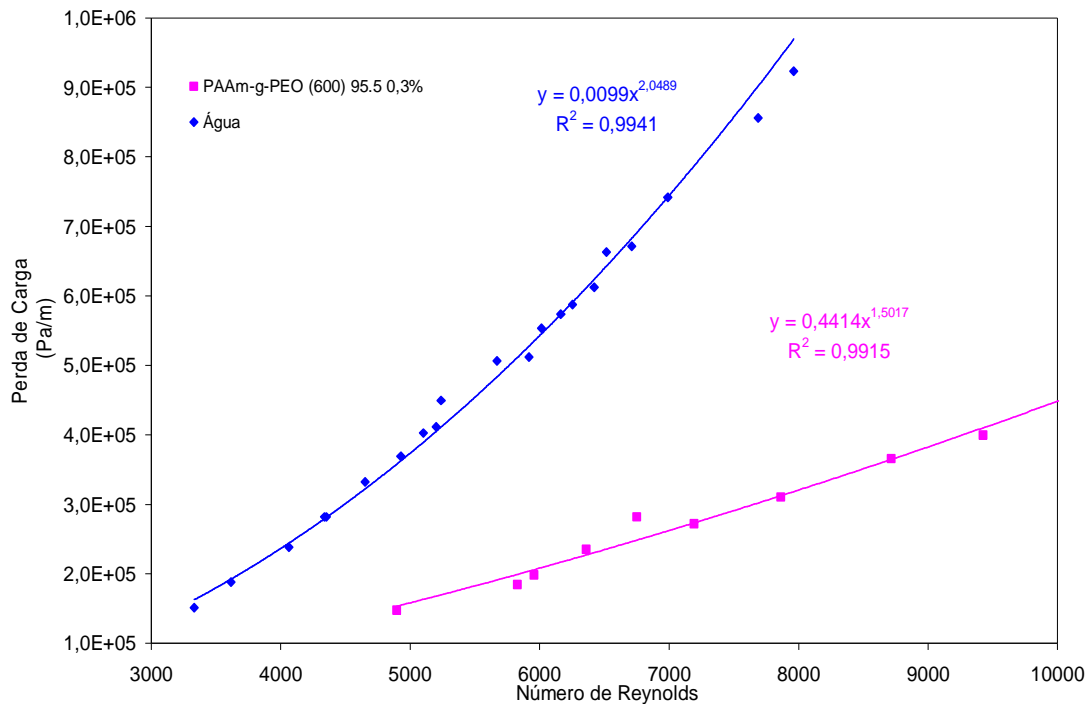


Figura 6. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(600) 95:5 (0,3%)

PAAm-g-PEO (600) 95.5 0,3%

Reologia: $n = 0,9101$ $K = 2,2520E-03$ $Re_c = 2223$

V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,5	24,19	3,5759E-06	4,2916	8,8107E-04	4896	8,8	60674	147697
86,5	20,62	4,1950E-06	5,0346	8,6851E-04	5827	11,0	75842	184621
86,0	20,09	4,2807E-06	5,1375	8,6693E-04	5957	11,8	81358	198048
86,5	19,03	4,5455E-06	5,4552	8,6227E-04	6359	14,0	96527	234972
86,0	16,90	5,0888E-06	6,1073	8,5356E-04	7192	16,2	111695	271896
86,0	17,91	4,8018E-06	5,7629	8,5803E-04	6751	16,8	115832	281967
86,0	15,57	5,5234E-06	6,6290	8,4729E-04	7864	18,5	127553	310499
86,5	14,25	6,0702E-06	7,2851	8,4014E-04	8716	21,8	150306	365885
87,0	13,34	6,5217E-06	7,8271	8,3473E-04	9425	23,8	164095	399453
87,0	12,35	7,0445E-06	8,4545	8,2897E-04	10252	27,5	189606	461553
86,0	11,78	7,3005E-06	8,7617	8,2631E-04	10658	29,5	203395	495120
87,0	12,06	7,2139E-06	8,6578	8,2720E-04	10521	30,0	206843	503512
87,0	11,29	7,7059E-06	9,2483	8,2231E-04	11305	32,2	222011	540436
86,5	10,78	8,0241E-06	9,6301	8,1932E-04	11815	33,8	233043	567290
86,5	10,70	8,0841E-06	9,7022	8,1877E-04	11911	34,8	239938	584074
86,5	10,60	8,1604E-06	9,7937	8,1808E-04	12034	37,2	256485	624355
87,0	10,14	8,5799E-06	10,2971	8,1440E-04	12709	40,0	275790	671349
87,0	10,09	8,6224E-06	10,3482	8,1404E-04	12778	40,0	275790	671349
86,5	8,54	1,0129E-05	12,1561	8,0234E-04	15229	45,0	310264	755268
86,5	8,45	1,0237E-05	12,2856	8,0158E-04	15406	50,2	346117	842543
86,5	8,05	1,0745E-05	12,8960	7,9809E-04	16242	55,0	379212	923105

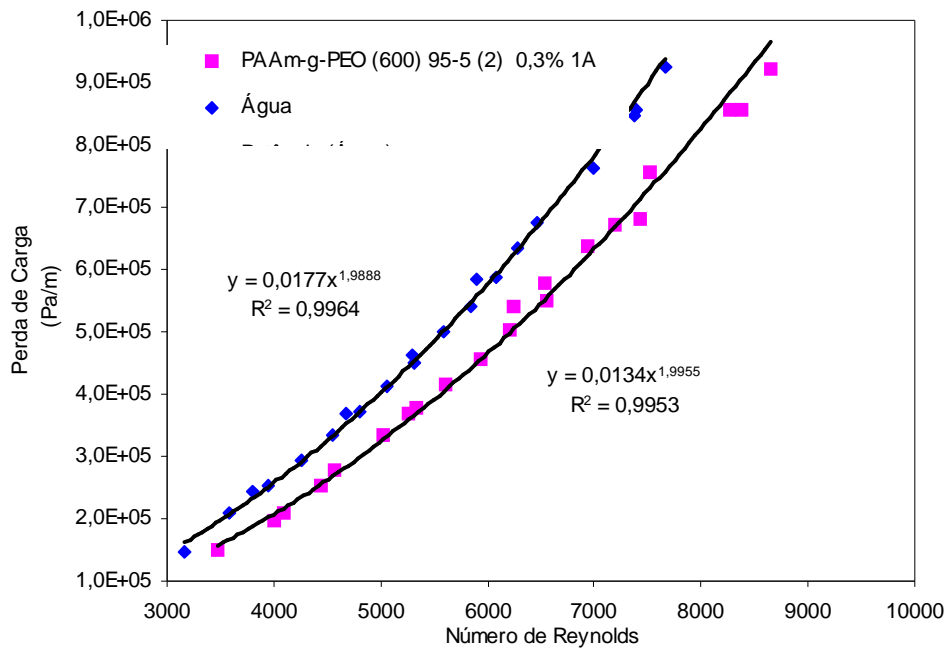


Figura 7. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(600) 95:5 (2) (0,3%)

PAAM-g-PEO (600) 95.5 (2) 0,3% 1A

Reologia: $n = 0,973$ $K = 1,1920E-03$ $Re_c = 2137$

V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
85,0	33,06	2,5711E-06	3,0857	9,0771E-04	3477	3501	9,0	62053	151054
85,5	29,06	2,9422E-06	3,5311	9,0441E-04	3994	4021	11,8	81358	198048
86,0	28,50	3,0175E-06	3,6215	9,0379E-04	4099	4127	12,5	86184	209797
86,0	26,34	3,2650E-06	3,9185	9,0187E-04	4444	4475	15,0	103421	251756
86,0	25,63	3,3554E-06	4,0270	9,0121E-04	4571	4603	16,5	113763	276932
86,0	23,37	3,6799E-06	4,4165	8,9896E-04	5025	5060	20,0	137895	335675
86,0	22,03	3,9038E-06	4,6851	8,9753E-04	5340	5377	22,5	155132	377634
85,5	22,22	3,8479E-06	4,6180	8,9788E-04	5261	5298	22,0	151685	369242
87,0	21,25	4,0941E-06	4,9136	8,9638E-04	5607	5646	24,8	170990	416237
86,0	19,87	4,3281E-06	5,1944	8,9503E-04	5937	5978	27,2	187537	456518
86,0	19,00	4,5263E-06	5,4323	8,9395E-04	6216	6259	30,0	206843	503512
85,5	17,94	4,7659E-06	5,7198	8,9271E-04	6554	6599	32,8	226148	550506
85,5	18,81	4,5455E-06	5,4552	8,9385E-04	6243	6286	32,2	222011	540436
86,0	18,09	4,7540E-06	5,7055	8,9277E-04	6537	6583	34,5	237869	579039
86,0	17,09	5,0322E-06	6,0394	8,9140E-04	6930	6978	38,0	262001	637782
86,0	15,97	5,3851E-06	6,4629	8,8977E-04	7430	7482	40,5	279238	679741
86,0	16,47	5,2216E-06	6,2667	8,9051E-04	7198	7248	40,0	275790	671349
86,0	15,78	5,4499E-06	6,5407	8,8948E-04	7522	7574	45,0	310264	755268
87,0	14,56	5,9753E-06	7,1712	8,8727E-04	8267	8325	51,0	351633	855970
86,5	14,30	6,0490E-06	7,2597	8,8698E-04	8372	8430	51,0	351633	855970
87,0	13,94	6,2410E-06	7,4902	8,8623E-04	8645	8705	55,0	379212	923105

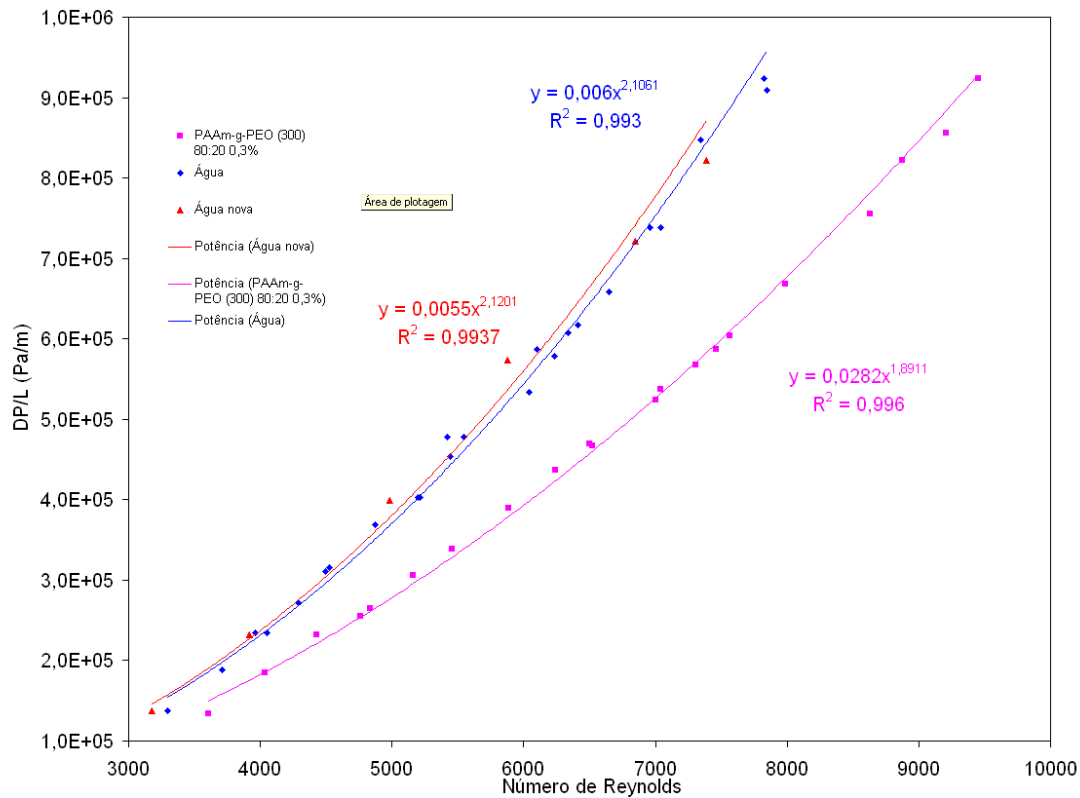


Figura 8. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PEO(300) 77:23 (0,3%)

PAAM-g-PEO (300) 80:20 0,3%												
Reologia:		n =	0,9138	K =	2,0310E-03	Re _c =	2218					
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	f(exp)	f(teórico)	DR(%)
86,0	33,85	2,5406E-06	3,0491	8,5067E-04	3607	3692	8,0	55158	134270	0,007438	0,009592	22,5
87,0	30,87	2,8183E-06	3,3823	8,4310E-04	4037	4132	11,0	75842	184621	0,008311	0,009320	10,8
87,0	28,34	3,0699E-06	3,6843	8,3691E-04	4430	4534	13,8	95148	231616	0,008787	0,009101	3,4
87,0	26,53	3,2793E-06	3,9357	8,3216E-04	4759	4871	15,2	104800	255113	0,008482	0,008936	5,1
86,5	26,00	3,3269E-06	3,9928	8,3113E-04	4834	4948	15,8	108937	265183	0,008566	0,008900	3,7
86,5	24,47	3,5349E-06	4,2425	8,2679E-04	5163	5285	18,2	125485	305464	0,008740	0,008751	0,1
87,5	23,53	3,7187E-06	4,4629	8,2319E-04	5456	5584	20,2	139274	339031	0,008766	0,008629	1,6
87,5	21,94	3,9881E-06	4,7864	8,1824E-04	5886	6025	23,2	159958	389383	0,008753	0,008463	3,4
87,5	20,78	4,2108E-06	5,0536	8,1442E-04	6244	6391	26,0	179264	436377	0,008800	0,008336	5,6
81,5	18,59	4,3841E-06	5,2616	8,1159E-04	6524	6677	27,8	191674	466588	0,008680	0,008244	5,3
87,0	19,91	4,3697E-06	5,2443	8,1182E-04	6500	6654	28,0	193053	469945	0,008800	0,008251	6,7
86,0	18,37	4,6815E-06	5,6186	8,0701E-04	7006	7171	31,2	215116	523652	0,008543	0,008095	5,5
86,0	18,28	4,7046E-06	5,6462	8,0667E-04	7043	7209	32,0	220632	537079	0,008676	0,008084	7,3
86,0	17,68	4,8643E-06	5,8378	8,0435E-04	7303	7476	33,8	233043	567290	0,008573	0,008009	7,0
86,0	17,34	4,9596E-06	5,9523	8,0301E-04	7459	7635	35,0	241317	587431	0,008539	0,007966	7,2
86,5	17,22	5,0232E-06	6,0286	8,0213E-04	7563	7741	36,0	248211	604214	0,008562	0,007938	7,9
86,5	16,38	5,2808E-06	6,3378	7,9868E-04	7985	8173	39,8	274411	667993	0,008565	0,007829	9,4
86,5	15,25	5,6721E-06	6,8074	7,9377E-04	8630	8833	45,0	310264	755268	0,008394	0,007675	9,4
86,0	14,28	6,0224E-06	7,2278	7,8968E-04	9210	9427	51,0	351633	855970	0,008438	0,007548	11,8
86,0	14,78	5,8187E-06	6,9833	7,9203E-04	8872	9081	49,0	337843	822403	0,008685	0,007621	14,0
86,0	13,94	6,1693E-06	7,4041	7,8804E-04	9454	9677	55,0	379212	923105	0,008672	0,007498	15,7

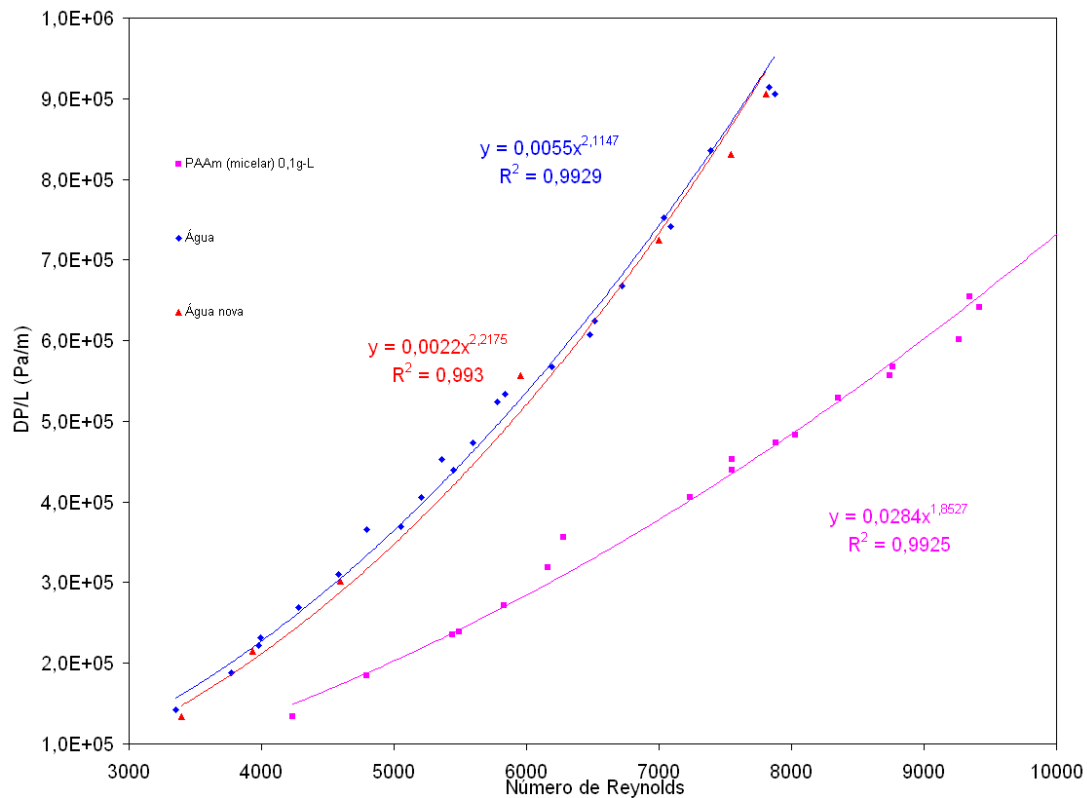


Figura 9. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM micelar (0,3%)

PAAM (micelar) 0,1g-L												
Reologia:	$n =$	0,9123	$K =$	1,806E-03	$Re_c =$	2220						
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	f(exp)	f(teórico)	DR(%)
85,0	32,57	2,6098E-06	3,1321	7,4328E-04	4238	4340	8,0	55158	134270	0,007049	0,009195	23,3
86,0	29,44	2,9212E-06	3,5059	7,3597E-04	4791	4907	11,0	75842	184621	0,007736	0,008911	13,2
85,5	25,81	3,3127E-06	3,9757	7,2790E-04	5494	5626	14,2	97906	238329	0,007765	0,008605	9,8
86,0	26,19	3,2837E-06	3,9409	7,2846E-04	5441	5572	14,0	96527	234972	0,007792	0,008626	9,7
85,5	24,44	3,4984E-06	4,1986	7,2442E-04	5830	5970	16,2	111695	271896	0,007943	0,008475	6,3
86,0	23,37	3,6799E-06	4,4165	7,2122E-04	6159	6307	19,0	131000	318691	0,008420	0,008357	0,8
86,0	22,97	3,7440E-06	4,4934	7,2012E-04	6276	6427	21,2	146169	355815	0,009076	0,008317	9,1
86,0	20,16	4,2659E-06	5,1197	7,1193E-04	7233	7407	24,2	166853	406166	0,007980	0,008020	0,5
86,0	19,37	4,4399E-06	5,3285	7,0944E-04	7555	7736	27,0	186158	453161	0,008220	0,007932	3,6
86,0	19,38	4,4376E-06	5,3257	7,0947E-04	7550	7732	26,2	180643	439734	0,007984	0,007933	0,7
86,0	18,31	4,6969E-06	5,6370	7,0595E-04	8032	8225	28,8	198569	483371	0,007834	0,007808	0,3
86,0	18,63	4,6162E-06	5,5401	7,0702E-04	7882	8071	28,2	194432	473301	0,007941	0,007846	1,2
86,0	17,66	4,8698E-06	5,8444	7,0371E-04	8354	8554	31,5	217185	528688	0,007971	0,007730	3,1
86,5	17,03	5,0793E-06	6,0959	7,0112E-04	8745	8955	33,2	228906	557220	0,007723	0,007640	1,1
87,0	17,09	5,0907E-06	6,1096	7,0098E-04	8767	8977	33,8	233043	567290	0,007827	0,007635	2,5
86,0	16,06	5,3549E-06	6,4267	6,9787E-04	9263	9485	35,8	246832	600858	0,007492	0,007529	0,5
87,0	16,00	5,4375E-06	6,5258	6,9694E-04	9418	9644	38,2	263380	641139	0,007753	0,007497	3,4
86,5	16,02	5,3995E-06	6,4802	6,9737E-04	9347	9571	39,0	268896	654566	0,008028	0,007511	6,9
87,0	14,87	5,8507E-06	7,0217	6,9248E-04	10199	10444	43,5	299922	730092	0,007626	0,007346	3,8
87,0	14,38	6,0501E-06	7,2610	6,9044E-04	10578	10832	49,0	337843	822403	0,008033	0,007277	10,4
86,5	14,16	6,1088E-06	7,3314	6,8986E-04	10689	10946	49,2	339222	825760	0,007912	0,007258	9,0
87,5	13,69	6,3915E-06	7,6708	6,8713E-04	11229	11498	54,2	373696	909678	0,007962	0,007167	11,1
87,0	13,40	6,4925E-06	7,7920	6,8618E-04	11422	11696	55,0	379212	923105	0,007830	0,007136	9,7

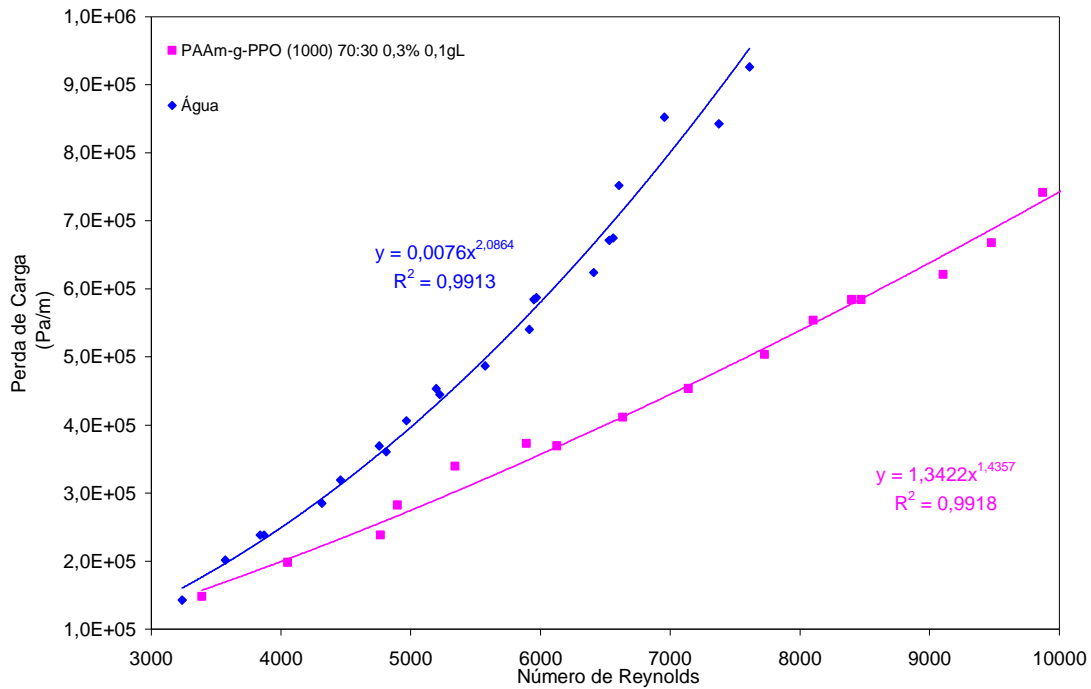


Figura 10. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(1000) 84:16 (0,3%)

PAAm-g-PPO (1000) 70:30 0,3% 0,1g/L								
Reologia:		n = 0,8491	K = 4,2620E-03	Re_c = 2307				
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,0	32,60	2,6380E-06	3,1660	9,2087E-04	3391	8,8	60674	147697
87,0	28,25	3,0796E-06	3,6960	8,9961E-04	4052	11,8	81358	198048
87,0	24,53	3,5467E-06	4,2565	8,8064E-04	4767	14,2	97906	238329
87,0	23,96	3,6311E-06	4,3578	8,7753E-04	4897	16,8	115832	281967
86,5	22,09	3,9158E-06	4,6995	8,6759E-04	5342	20,2	139274	339031
87,0	20,40	4,2647E-06	5,1183	8,5648E-04	5893	22,2	153064	372599
86,0	19,50	4,4103E-06	5,2930	8,5216E-04	6125	22,0	151685	369242
86,0	18,19	4,7279E-06	5,6742	8,4326E-04	6636	24,5	168922	411201
86,0	17,07	5,0381E-06	6,0465	8,3521E-04	7139	27,0	186158	453161
87,0	16,12	5,3970E-06	6,4772	8,2658E-04	7728	30,0	206843	503512
86,5	15,38	5,6242E-06	6,7499	8,2146E-04	8103	33,0	227527	553863
86,5	14,91	5,8015E-06	6,9626	8,1762E-04	8398	34,8	239938	584074
87,0	14,88	5,8468E-06	7,0170	8,1666E-04	8474	34,8	239938	584074
87,0	13,98	6,2232E-06	7,4687	8,0901E-04	9104	37,0	255106	620998
87,0	13,50	6,4444E-06	7,7343	8,0475E-04	9478	39,8	274411	667993
87,0	13,03	6,6769E-06	8,0133	8,0046E-04	9873	44,2	304748	741841
87,0	11,97	7,2682E-06	8,7229	7,9028E-04	10885	50,0	344738	839187
87,0	11,18	7,7818E-06	9,3393	7,8218E-04	11775	55,0	379212	923105

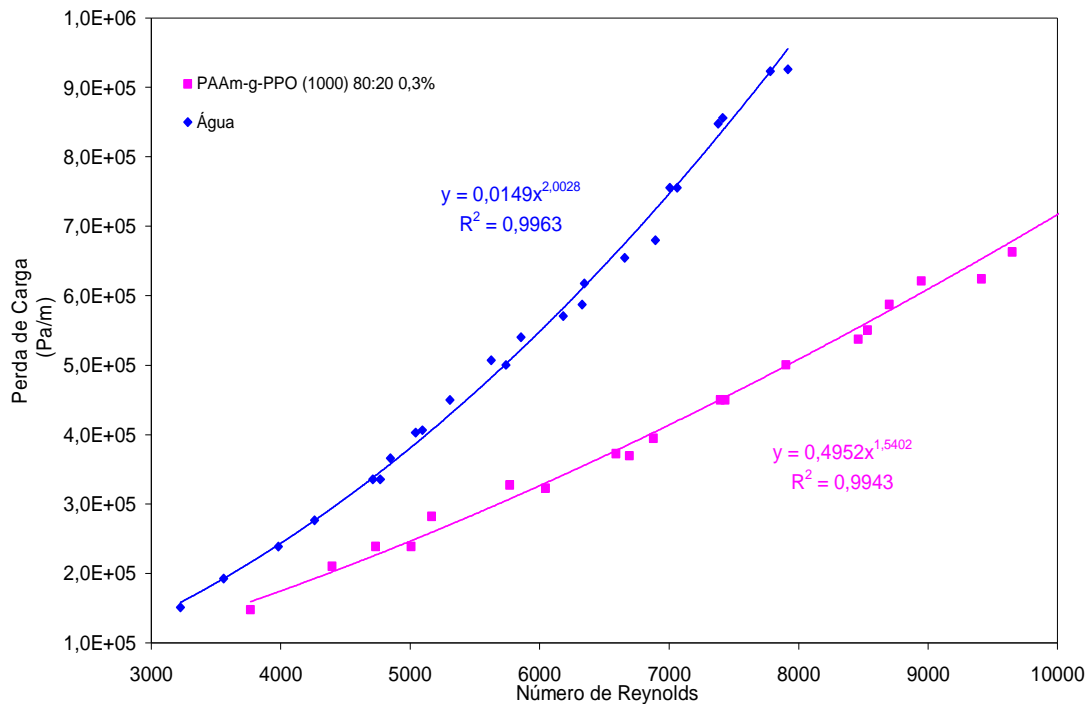


Figura 11. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(1000) 83:17 (0,3%)

PAAM-g-PPO (1000) 80:20 0,3%								
Reologia:		n =	0,9322	K =	1,866E-03	Re _c =	2193	
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,0	29,72	2,8937E-06	3,4728	9,3318E-04	3765	8,8	60674	147697
86,0	25,69	3,3476E-06	4,0176	9,2400E-04	4399	12,5	86184	209797
86,5	22,88	3,7806E-06	4,5373	9,1641E-04	5009	14,2	97906	238329
86,5	24,13	3,5847E-06	4,3022	9,1972E-04	4732	14,2	97906	238329
85,5	21,97	3,8917E-06	4,6706	9,1462E-04	5166	16,8	115832	281967
86,0	19,07	4,5097E-06	5,4123	9,0552E-04	6046	19,2	132379	322248
86,0	19,93	4,3151E-06	5,1788	9,0823E-04	5768	19,5	134448	327283
86,0	17,59	4,8891E-06	5,8677	9,0057E-04	6591	22,2	153064	372599
86,0	17,34	4,9596E-06	5,9523	8,9970E-04	6693	22,0	151685	369242
86,0	16,90	5,0888E-06	6,1073	8,9813E-04	6879	23,5	162027	394418
86,0	15,72	5,4707E-06	6,5657	8,9374E-04	7432	26,8	184779	449804
86,5	15,88	5,4471E-06	6,5373	8,9400E-04	7397	26,8	184779	449804
86,5	14,93	5,7937E-06	6,9533	8,9027E-04	7901	29,8	205464	500155
86,5	13,89	6,2275E-06	7,4739	8,8592E-04	8534	32,8	226148	550506
86,5	14,00	6,1786E-06	7,4152	8,8640E-04	8463	32,0	220632	537079
86,0	13,56	6,3422E-06	7,6116	8,8483E-04	8702	35,0	241317	587431
86,0	12,60	6,8254E-06	8,1915	8,8043E-04	9412	37,2	256485	624355
86,0	13,21	6,5102E-06	7,8132	8,8326E-04	8949	37,0	255106	620998
86,0	12,31	6,9862E-06	8,3845	8,7904E-04	9649	39,5	272343	662957
86,5	11,47	7,5414E-06	9,0508	8,7450E-04	10470	45,8	315780	768695
87,0	11,79	7,3791E-06	8,8561	8,7579E-04	10229	44,5	306817	746876
86,5	11,03	7,8422E-06	9,4119	8,7218E-04	10916	51,0	351633	855970
86,5	10,34	8,3656E-06	10,0399	8,6837E-04	11696	55,0	379212	923105
86,5	10,31	8,3899E-06	10,0692	8,6820E-04	11732	55,0	379212	923105

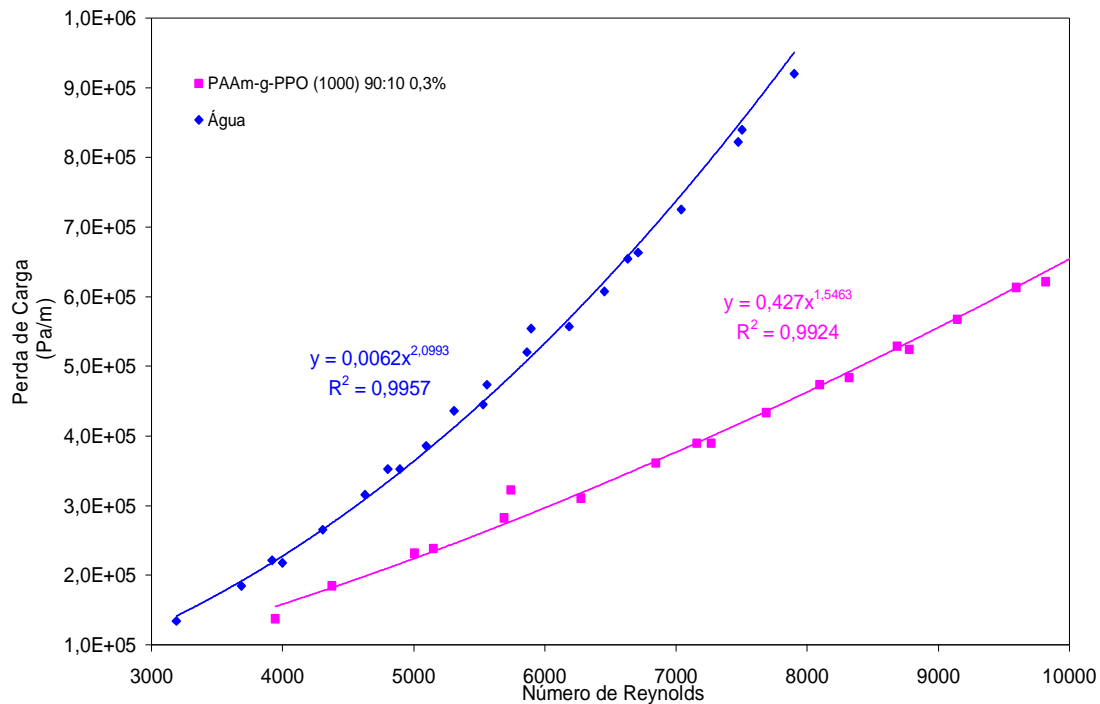


Figura 12. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(1000) 89:11 (0,3%)

PAAM-g-PPO (1000) 90:10 0,3%								
Reologia: n = 0,9228 K = 1,959E-03 Re _c = 2206								
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,0	29,66	2,8995E-06	3,4799	8,8962E-04	3946	8,2	56537	137627
86,0	26,94	3,1923E-06	3,8312	8,8304E-04	4377	11,0	75842	184621
86,0	23,78	3,6165E-06	4,3403	8,7457E-04	5007	13,8	95148	231616
86,0	23,16	3,7133E-06	4,4565	8,7279E-04	5151	14,2	97906	238329
86,0	21,12	4,0720E-06	4,8870	8,6660E-04	5689	16,8	115832	281967
86,0	19,28	4,4606E-06	5,3534	8,6052E-04	6276	18,5	127553	310499
86,0	20,94	4,1070E-06	4,9290	8,6603E-04	5742	19,2	132379	322248
86,0	17,78	4,8369E-06	5,8050	8,5516E-04	6849	21,5	148237	360850
87,0	17,02	5,1116E-06	6,1347	8,5152E-04	7269	23,2	159958	389383
86,0	17,06	5,0410E-06	6,0500	8,5244E-04	7160	23,2	159958	389383
86,0	15,97	5,3851E-06	6,4629	8,4810E-04	7688	25,8	177885	433020
86,0	14,84	5,7951E-06	6,9550	8,4331E-04	8321	28,8	198569	483371
86,0	15,22	5,6505E-06	6,7814	8,4496E-04	8097	28,2	194432	473301
86,5	14,34	6,0321E-06	7,2394	8,4071E-04	8688	31,5	217185	528688
86,0	14,12	6,0907E-06	7,3097	8,4008E-04	8779	31,2	215116	523652
87,0	13,75	6,3273E-06	7,5937	8,3761E-04	9147	33,8	233043	567290
85,5	12,65	6,7589E-06	8,1117	8,3335E-04	9820	37,0	255106	620998
86,0	13,00	6,6154E-06	7,9395	8,3474E-04	9596	36,5	251659	612606
86,0	12,25	7,0204E-06	8,4255	8,3092E-04	10230	39,5	272343	662957
87,0	11,59	7,5065E-06	9,0089	8,2663E-04	10995	44,5	306817	746876
86,0	11,75	7,3191E-06	8,7841	8,2825E-04	10700	45,0	310264	755268
87,0	11,03	7,8876E-06	9,4663	8,2348E-04	11598	50,0	344738	839187
85,0	10,22	8,3170E-06	9,9817	8,2011E-04	12279	54,0	372317	906322
86,0	10,03	8,5743E-06	10,2904	8,1819E-04	12689	55,0	379212	923105

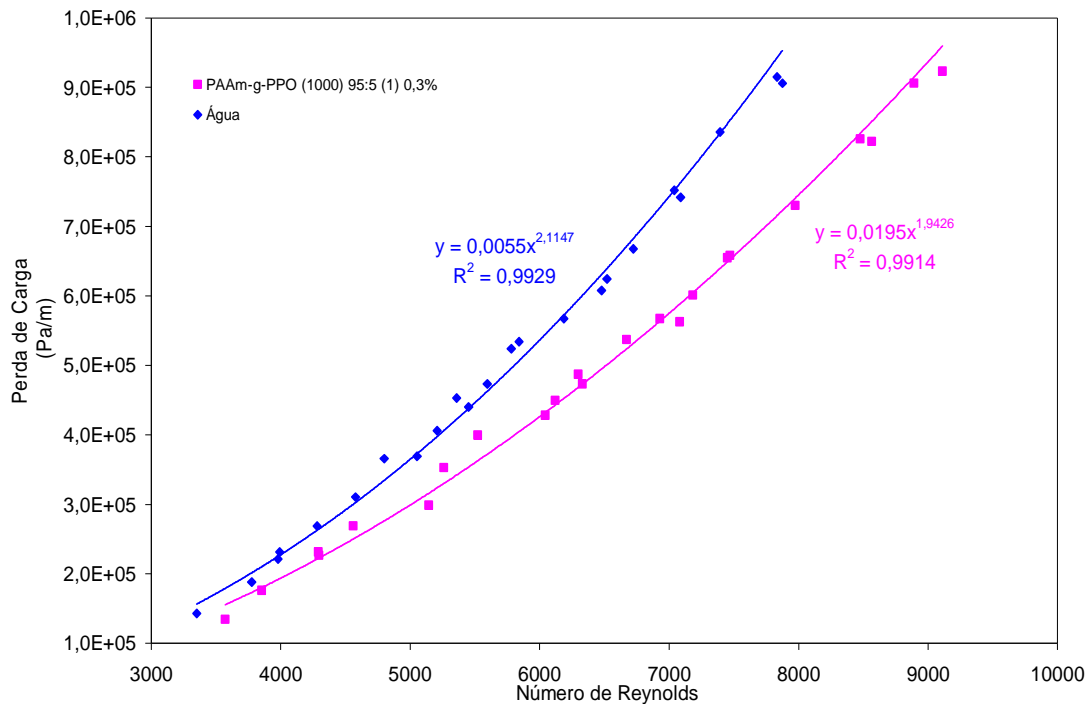


Figura 13. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(1000) 96:4 (1) (0,3%)

PAAm-g-PPO (1000) 95:5 (1) 0,3%									
Reologia:		n = 0,9606	K = 1,3970E-03	Re_c = 2154					
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	
86,0	31,47	2,7328E-06	3,2797	9,3631E-04	3571	8,0	55158	134270	
86,0	29,25	2,9402E-06	3,5286	9,3362E-04	3853	10,5	72395	176229	
86,0	26,34	3,2650E-06	3,9185	9,2977E-04	4297	13,5	93079	226580	
86,5	26,53	3,2605E-06	3,9130	9,2982E-04	4291	13,8	95148	231616	
86,0	24,88	3,4566E-06	4,1484	9,2769E-04	4559	16,0	110316	268540	
86,0	22,16	3,8809E-06	4,6576	9,2346E-04	5142	17,8	122727	298750	
86,0	21,69	3,9650E-06	4,7585	9,2268E-04	5258	21,0	144790	352458	
86,5	20,81	4,1567E-06	4,9886	9,2097E-04	5523	23,8	164095	399453	
86,5	18,85	4,5889E-06	5,5073	9,1739E-04	6121	26,8	184779	449804	
86,0	18,97	4,5335E-06	5,4409	9,1783E-04	6044	25,5	175816	427985	
86,5	18,34	4,7165E-06	5,6605	9,1640E-04	6298	29,0	199948	486728	
86,5	18,25	4,7397E-06	5,6884	9,1622E-04	6330	28,2	194432	473301	
86,0	17,25	4,9855E-06	5,9834	9,1440E-04	6671	32,0	220632	537079	
86,0	16,63	5,1714E-06	6,2064	9,1308E-04	6930	33,8	233043	567290	
86,5	16,38	5,2808E-06	6,3378	9,1232E-04	7083	33,5	230974	562255	
86,5	16,16	5,3527E-06	6,4241	9,1184E-04	7183	35,8	246832	600858	
86,0	15,47	5,5591E-06	6,6718	9,1048E-04	7471	39,2	270274	657922	
87,5	15,78	5,5450E-06	6,6548	9,1057E-04	7451	39,0	268896	654566	
86,0	14,53	5,9188E-06	7,1034	9,0823E-04	7974	43,5	299922	730092	
87,0	13,72	6,3411E-06	7,6103	9,0577E-04	8566	49,0	337843	822403	
86,5	13,78	6,2772E-06	7,5336	9,0613E-04	8477	49,2	339222	825760	
86,5	13,16	6,5729E-06	7,8885	9,0449E-04	8892	54,0	372317	906322	
86,0	12,78	6,7293E-06	8,0761	9,0365E-04	9112	55,0	379212	923105	

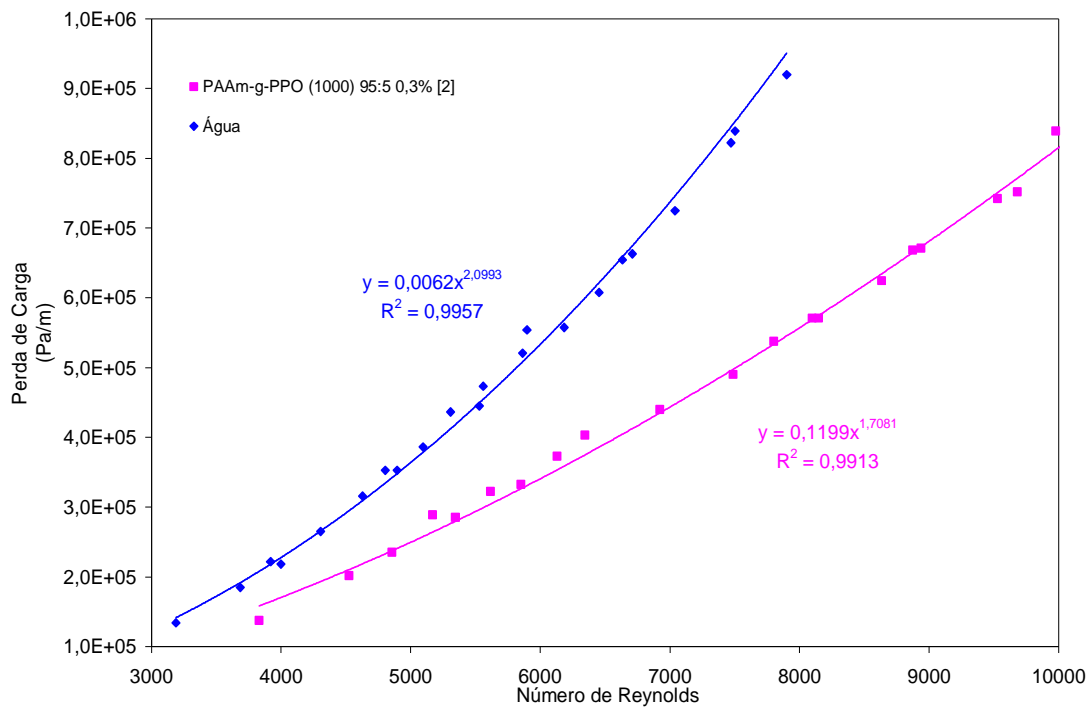


Figura 14. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(1000) 95:5 (2) (0,3%)

PAAM-g-PPO (1000) 95:5 0,3% [2]

Reologia: $n = 0,9270$ $K = 1,768E-03$ $Re_c = 2200$

V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,0	32,25	2,6667E-06	3,2004	8,4333E-04	3833	8,2	56537	137627
86,0	27,62	3,1137E-06	3,7369	8,3384E-04	4527	12,0	82737	201405
86,0	25,87	3,3243E-06	3,9897	8,2986E-04	4856	14,0	96527	234972
86,0	23,65	3,6364E-06	4,3642	8,2445E-04	5347	17,0	117211	285323
87,0	24,69	3,5237E-06	4,2290	8,2634E-04	5169	17,2	118590	288680
86,5	22,72	3,8068E-06	4,5688	8,2169E-04	5616	19,2	132379	322248
87,0	22,00	3,9545E-06	4,7460	8,1941E-04	5851	19,8	136516	332318
86,5	20,94	4,1309E-06	4,9576	8,1681E-04	6131	22,2	153064	372599
86,0	20,16	4,2659E-06	5,1197	8,1489E-04	6346	24,0	165474	402810
86,0	18,59	4,6261E-06	5,5521	8,1008E-04	6923	26,2	180643	439734
86,0	17,28	4,9769E-06	5,9730	8,0578E-04	7488	29,2	201327	490085
86,0	16,63	5,1714E-06	6,2064	8,0352E-04	7802	32,0	220632	537079
86,0	16,06	5,3549E-06	6,4267	8,0148E-04	8100	34,0	234422	570647
86,0	15,97	5,3851E-06	6,4629	8,0115E-04	8149	34,0	234422	570647
86,0	15,13	5,6841E-06	6,8217	7,9800E-04	8635	37,2	256485	624355
86,0	14,75	5,8305E-06	6,9975	7,9652E-04	8874	39,8	274411	667993
86,0	14,65	5,8703E-06	7,0453	7,9612E-04	8939	40,0	275790	671349
86,0	13,60	6,3235E-06	7,5892	7,9181E-04	9682	44,8	308885	751911
86,0	13,80	6,2319E-06	7,4792	7,9266E-04	9531	44,2	304748	741841
86,0	13,22	6,5053E-06	7,8073	7,9017E-04	9980	50,0	344738	839187
85,5	12,06	7,0896E-06	8,5085	7,8523E-04	10945	55,0	379212	923105
86,0	11,91	7,2208E-06	8,6661	7,8418E-04	11163	55,2	380591	926462

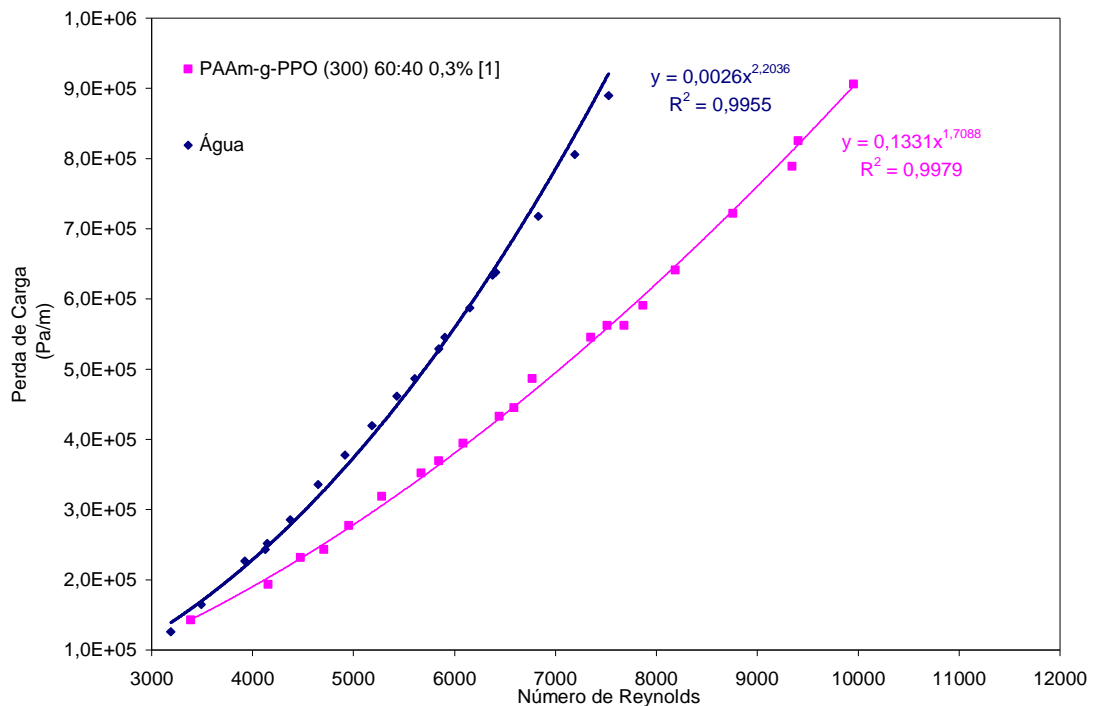


Figura 15. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 74:26 (1) (0,3%)

PAAM-g-PPO (300) 60:40 0,3% [1]

Reologia: $n = 0,9167$ $K = 2,1090E-03$ $Re_c = 2214$

V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
86,0	33,75	2,5481E-06	3,0582	9,0943E-04	3387	8,5	58605	142662
87,0	28,29	3,0753E-06	3,6908	8,9529E-04	4152	11,5	79290	193013
86,0	26,10	3,2950E-06	3,9545	8,9016E-04	4474	13,8	95148	231616
86,0	24,91	3,4524E-06	4,1434	8,8671E-04	4706	14,5	99974	243364
86,5	23,91	3,6177E-06	4,3418	8,8326E-04	4951	16,5	113763	276932
86,0	22,41	3,8376E-06	4,6057	8,7893E-04	5277	19,0	131000	318891
86,0	20,40	4,2157E-06	5,0595	8,7208E-04	5843	22,0	151685	369242
86,5	21,09	4,1015E-06	4,9224	8,7407E-04	5672	21,0	144790	352458
85,5	19,53	4,3779E-06	5,2541	8,6934E-04	6087	23,5	162027	394418
86,5	18,36	4,7113E-06	5,6543	8,6404E-04	6591	26,5	182711	444769
86,5	18,75	4,6133E-06	5,5367	8,6555E-04	6442	25,8	177885	433020
86,0	17,81	4,8287E-06	5,7952	8,6227E-04	6769	29,0	199948	486728
85,5	16,41	5,2102E-06	6,2531	8,5682E-04	7350	32,5	224080	545471
86,0	16,18	5,3152E-06	6,3790	8,5540E-04	7510	33,5	230974	562255
86,0	15,85	5,4259E-06	6,5119	8,5393E-04	7680	33,5	230974	562255
86,5	15,59	5,5484E-06	6,6589	8,5235E-04	7868	35,2	242695	590787
86,5	15,03	5,7552E-06	6,9071	8,4975E-04	8186	38,2	263380	641139
86,5	14,12	6,1261E-06	7,3522	8,4534E-04	8759	43,0	296475	721700
86,5	13,22	6,5431E-06	7,8527	8,4072E-04	9407	49,2	339222	825760
87,0	13,38	6,5022E-06	7,8037	8,4116E-04	9343	47,0	324054	788835
87,0	12,62	6,8938E-06	8,2736	8,3707E-04	9954	54,0	372317	906322

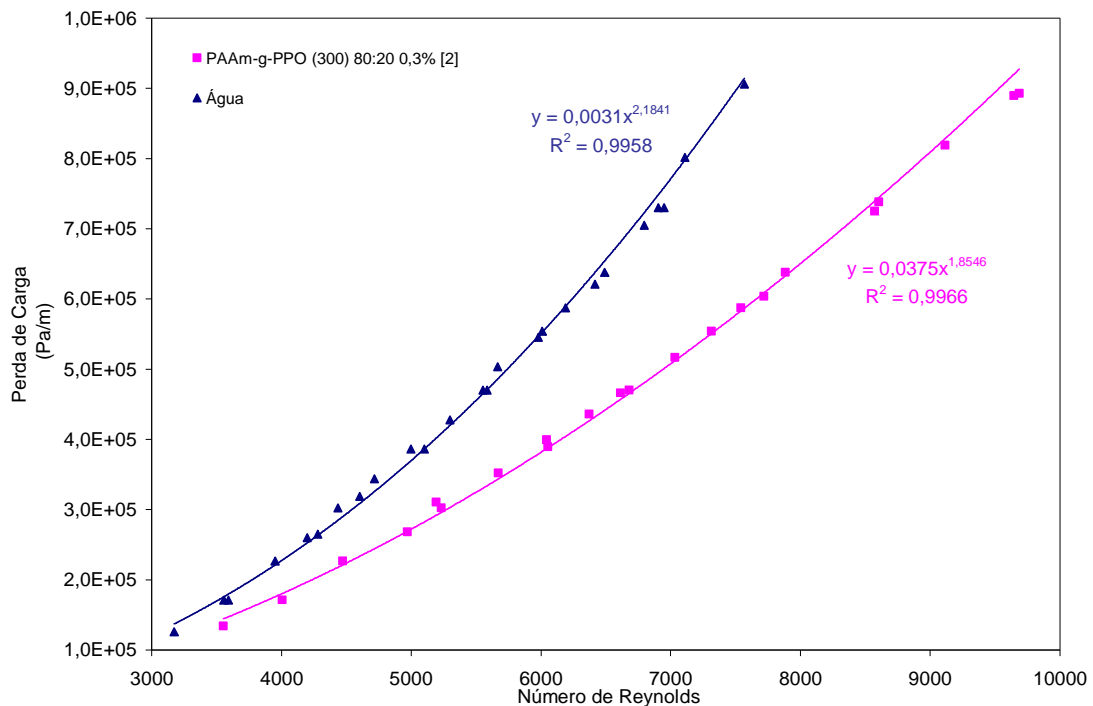


Figura 16. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 84:16 (2) (0,3%)

PAAm-g-PPO (300) 80:20 0,3% [2]								
Reologia:		$n = 0,9154$	$K = 2,0970E-03$	$Re_c = 2216$				
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
85,5	32,65	2,6187E-06	3,1428	8,9037E-04	3554	8,0	55158	134270
85,0	29,06	2,9250E-06	3,5104	8,8208E-04	4007	10,2	70327	171194
85,5	26,40	3,2386E-06	3,8869	8,7451E-04	4475	13,5	93079	226580
85,5	23,96	3,5684E-06	4,2827	8,6736E-04	4971	16,0	110316	268540
87,0	23,41	3,7164E-06	4,4602	8,6439E-04	5195	18,5	127553	310499
85,0	22,72	3,7412E-06	4,4900	8,6390E-04	5232	18,0	124106	302107
85,5	21,22	4,0292E-06	4,8357	8,5850E-04	5671	21,0	144790	352458
86,0	20,09	4,2807E-06	5,1375	8,5411E-04	6056	23,2	159958	389383
85,0	19,90	4,2714E-06	5,1263	8,5427E-04	6041	23,8	164095	399453
85,5	19,06	4,4858E-06	5,3837	8,5074E-04	6371	26,0	179264	436377
86,5	18,63	4,6430E-06	5,5724	8,4826E-04	6613	27,8	191674	466588
85,5	18,25	4,6849E-06	5,6226	8,4762E-04	6678	28,0	193053	469945
86,0	17,50	4,9143E-06	5,8979	8,4420E-04	7033	30,8	212359	516939
86,0	16,88	5,0948E-06	6,1145	8,4162E-04	7314	33,0	227527	553863
85,0	16,22	5,2404E-06	6,2893	8,3962E-04	7541	35,0	241317	587431
85,5	15,97	5,3538E-06	6,4254	8,3810E-04	7718	36,0	248211	604214
86,0	15,75	5,4603E-06	6,5532	8,3670E-04	7885	38,0	262001	637782
86,0	14,53	5,9188E-06	7,1034	8,3102E-04	8605	44,0	303369	738484
85,5	14,50	5,8966E-06	7,0767	8,3128E-04	8570	43,2	297854	725057
86,0	13,78	6,2409E-06	7,4901	8,2730E-04	9115	48,8	336464	819046
86,0	13,03	6,6002E-06	7,9212	8,2339E-04	9685	53,2	366801	892895
85,0	12,93	6,5739E-06	7,8896	8,2367E-04	9643	53,0	365422	889538

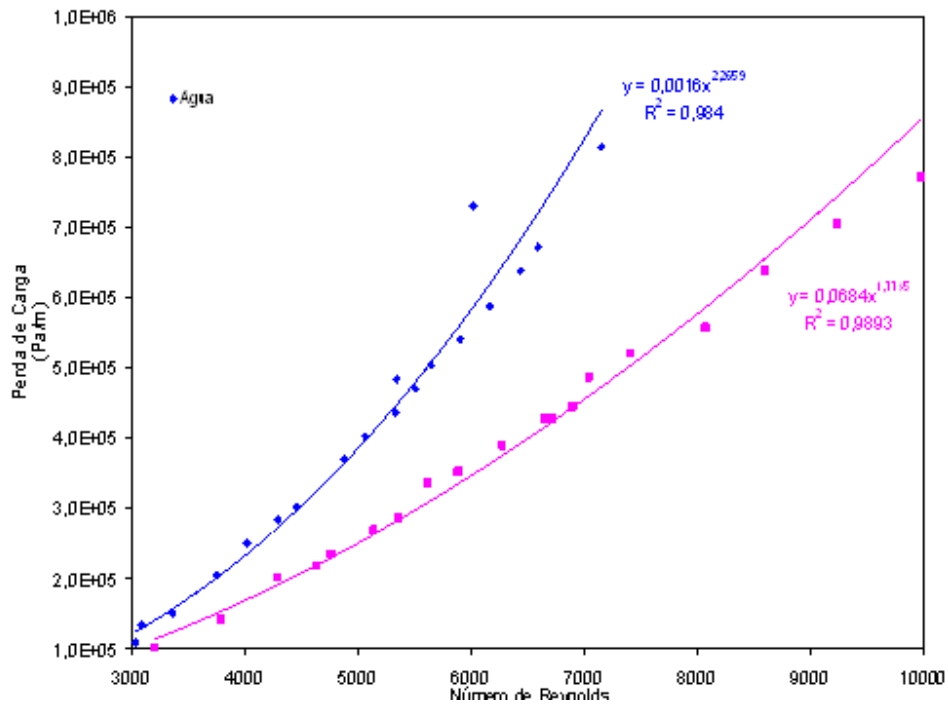


Figura 17. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 92:8 2h (1) (0,3%)

PAAM-g-PPO (300) 90:10 2h [11]								
Reologia:		n = 0,939	K = 1,7799E-03	Re_c = 2184				
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa·s)	Re	DP (psi)	DP (Pa)	DP/L (Pa/m)
84,0	33,13	2,5355E-06	3,0429	9,6202E-04	3206	6,0	41369	100702
80,0	26,96	2,9674E-06	3,5613	9,5283E-04	3788	8,5	58605	142662
86,0	25,78	3,3359E-06	4,0036	9,4605E-04	4289	12,0	82737	201405
81,0	22,00	3,6818E-06	4,4187	9,4037E-04	4763	14,0	96527	234972
84,0	23,43	3,5851E-06	4,3027	9,4190E-04	4630	13,0	89632	218189
85,0	21,50	3,9535E-06	4,7448	9,3630E-04	5136	16,0	110316	268540
85,0	19,75	4,3038E-06	5,1652	9,3146E-04	5620	20,0	137895	335675
86,0	20,90	4,1148E-06	4,9384	9,3402E-04	5359	17,0	117211	285323
85,0	18,91	4,4950E-06	5,3946	9,2900E-04	5886	21,0	144790	352458
85,0	17,81	4,7726E-06	5,7278	9,2561E-04	6272	23,2	159958	389383
85,0	16,87	5,0385E-06	6,0470	9,2255E-04	6643	25,5	175816	427985
86,5	16,57	5,2203E-06	6,2651	9,2056E-04	6898	26,5	182711	444769
84,0	16,50	5,0909E-06	6,1099	9,2197E-04	6717	25,5	175816	427985
84,0	16,09	5,2206E-06	6,2655	9,2055E-04	6898	26,5	182711	444769
85,0	15,97	5,3225E-06	6,3878	9,1947E-04	7041	29,0	199948	486728
86,0	15,41	5,5808E-06	6,6978	9,1681E-04	7404	31,0	213737	520296
88,0	14,54	6,0523E-06	7,2636	9,1229E-04	8070	33,2	228906	557220
84,5	13,15	6,4259E-06	7,7120	9,0896E-04	8599	38,0	262001	637782
85,5	12,44	6,8730E-06	8,2486	9,0524E-04	9235	42,0	289580	704917
85,0	11,50	7,3913E-06	8,8707	9,0123E-04	9976	46,0	317159	772052

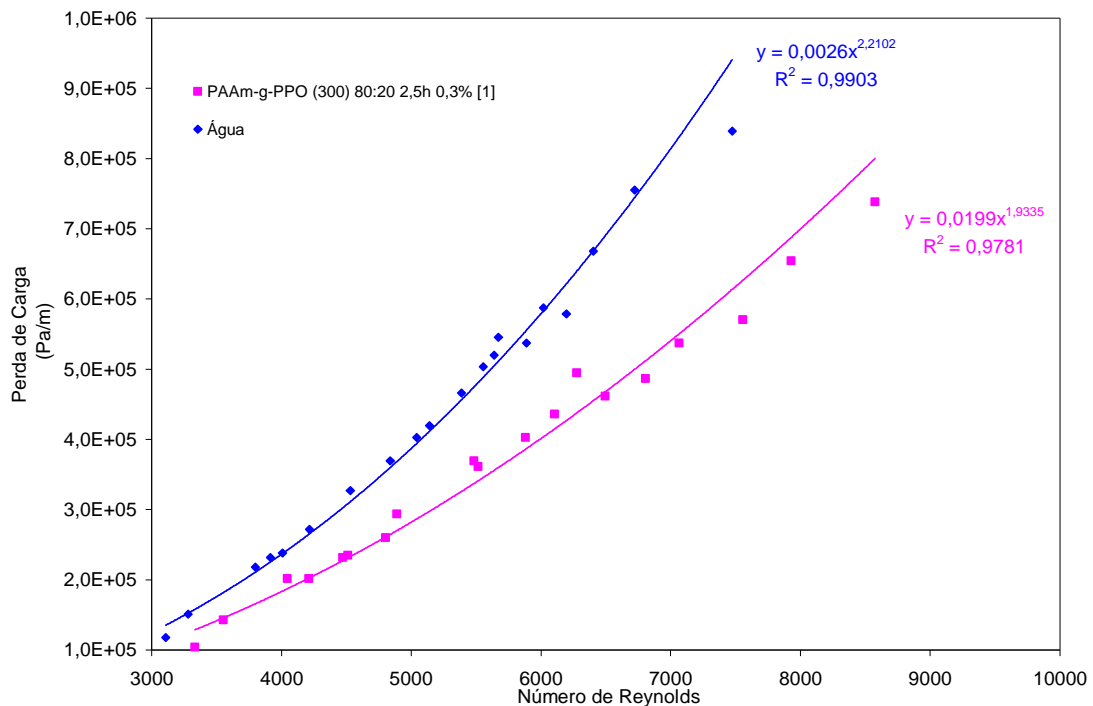


Figura 18. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 86:14 2,5h (1) (0,3%)

PAAM-g-PPO (300) 80:20 2,5h 0,3% [1]								
Reologia:		n =	0,9302	K =	1,8125E-03	Re _c =	2196	
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
84,0	34,06	2,4662E-06	2,9599	8,9801E-04	3332	6,2	42747	104059
82,0	31,32	2,6181E-06	3,1422	8,9427E-04	3552	8,5	58605	142662
85,0	27,69	3,0697E-06	3,6841	8,8439E-04	4212	12,0	82737	201405
84,0	28,41	2,9567E-06	3,5485	8,8671E-04	4046	12,0	82737	201405
83,5	25,50	3,2745E-06	3,9299	8,8041E-04	4513	14,0	96527	234972
85,0	26,18	3,2468E-06	3,8966	8,8094E-04	4472	13,8	95148	231616
84,0	24,21	3,4696E-06	4,1641	8,7686E-04	4801	15,5	106869	260148
84,0	23,81	3,5279E-06	4,2340	8,7585E-04	4888	17,5	120658	293715
84,0	21,38	3,9289E-06	4,7153	8,6929E-04	5484	22,0	151685	369242
82,5	20,88	3,9511E-06	4,7420	8,6895E-04	5517	21,5	148237	360850
84,5	20,15	4,1935E-06	5,0329	8,6534E-04	5880	24,0	165474	402810
82,0	18,88	4,3432E-06	5,2125	8,6323E-04	6105	26,0	179264	436377
85,0	18,47	4,6021E-06	5,5232	8,5975E-04	6495	27,5	189606	461553
84,0	18,85	4,4562E-06	5,3482	8,6168E-04	6275	29,5	203395	495120
82,0	16,47	4,9787E-06	5,9752	8,5504E-04	7065	32,0	220632	537079
83,0	15,66	5,3001E-06	6,3610	8,5131E-04	7554	34,0	234422	570647
83,5	15,06	5,5445E-06	6,6542	8,4864E-04	7928	39,0	268896	654566
83,0	13,91	5,9669E-06	7,1612	8,4430E-04	8575	44,0	303369	738484
82,0	17,06	4,8066E-06	5,7686	8,5714E-04	6804	29,0	199948	486728

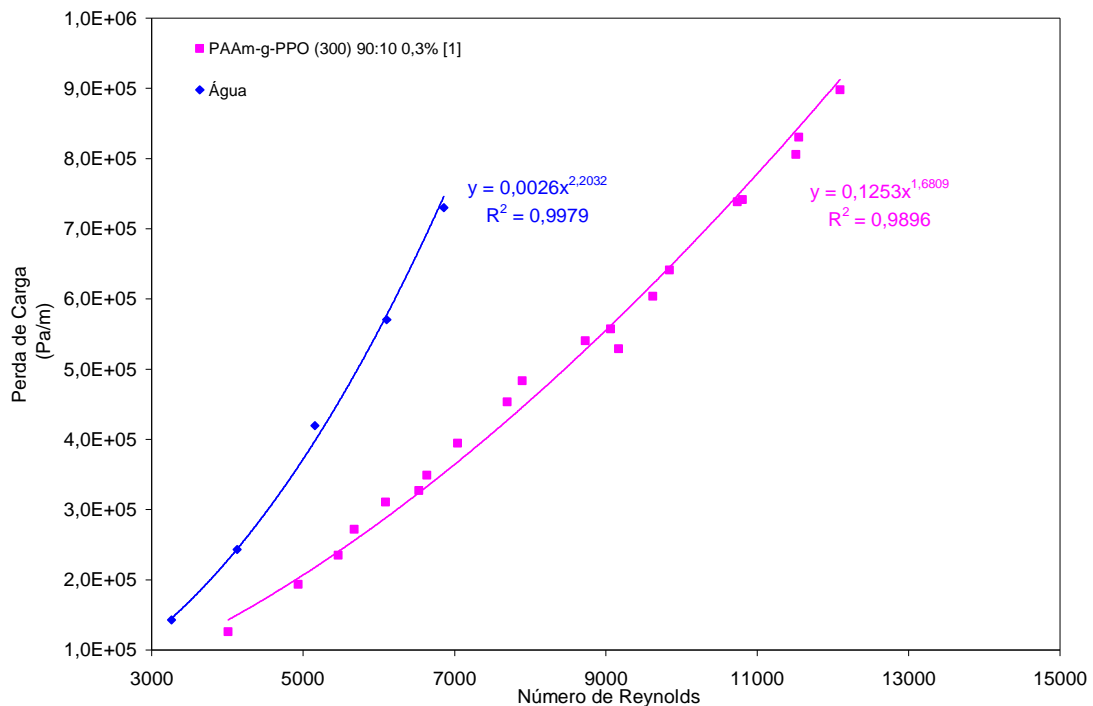


Figura 19. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 89:11 (1) (0,3%)

PAAM-g-PPO (300) 90:10 0,3% [1]

Reologia: $n = 0,9221$ $K = 1,9580E-03$ $Re_c = 2207$

V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
87,0	29,78	2,9214E-06	3,5061	8,8229E-04	4008	7,5	51711	125878
86,5	24,41	3,5436E-06	4,2529	8,6912E-04	4936	11,5	79290	193013
87,0	22,34	3,8944E-06	4,6738	8,6275E-04	5464	14,0	96527	234972
86,0	21,32	4,0338E-06	4,8411	8,6039E-04	5676	16,2	111695	271896
86,5	20,09	4,3056E-06	5,1674	8,5603E-04	6089	18,5	127553	310499
86,0	18,72	4,5940E-06	5,5135	8,5172E-04	6530	19,5	134448	327283
87,0	18,65	4,6649E-06	5,5986	8,5071E-04	6638	20,8	143411	349102
87,0	17,65	4,9292E-06	5,9158	8,4706E-04	7045	23,5	162027	394418
87,0	16,25	5,3538E-06	6,4254	8,4163E-04	7701	27,0	186158	453161
87,0	15,87	5,4820E-06	6,5793	8,4008E-04	7900	28,8	198569	483371
86,0	13,66	6,2958E-06	7,5559	8,3107E-04	9171	31,5	217185	528688
86,0	13,81	6,2274E-06	7,4738	8,3178E-04	9063	33,2	228906	557220
85,5	14,22	6,0127E-06	7,2161	8,3405E-04	8727	32,2	222011	540436
87,0	13,22	6,5809E-06	7,8981	8,2820E-04	9619	36,0	248211	604214
85,5	12,72	6,7217E-06	8,0670	8,2684E-04	9841	38,2	263380	641139
87,0	11,94	7,2864E-06	8,7448	8,2166E-04	10735	44,0	303369	738484
87,0	11,87	7,3294E-06	8,7964	8,2128E-04	10804	44,2	304748	741841
86,5	11,13	7,7718E-06	9,3273	8,1754E-04	11508	48,0	330948	805619
87,5	11,22	7,7986E-06	9,3595	8,1732E-04	11551	49,5	341290	830795
86,5	10,63	8,1373E-06	9,7660	8,1462E-04	12093	53,5	368870	897930

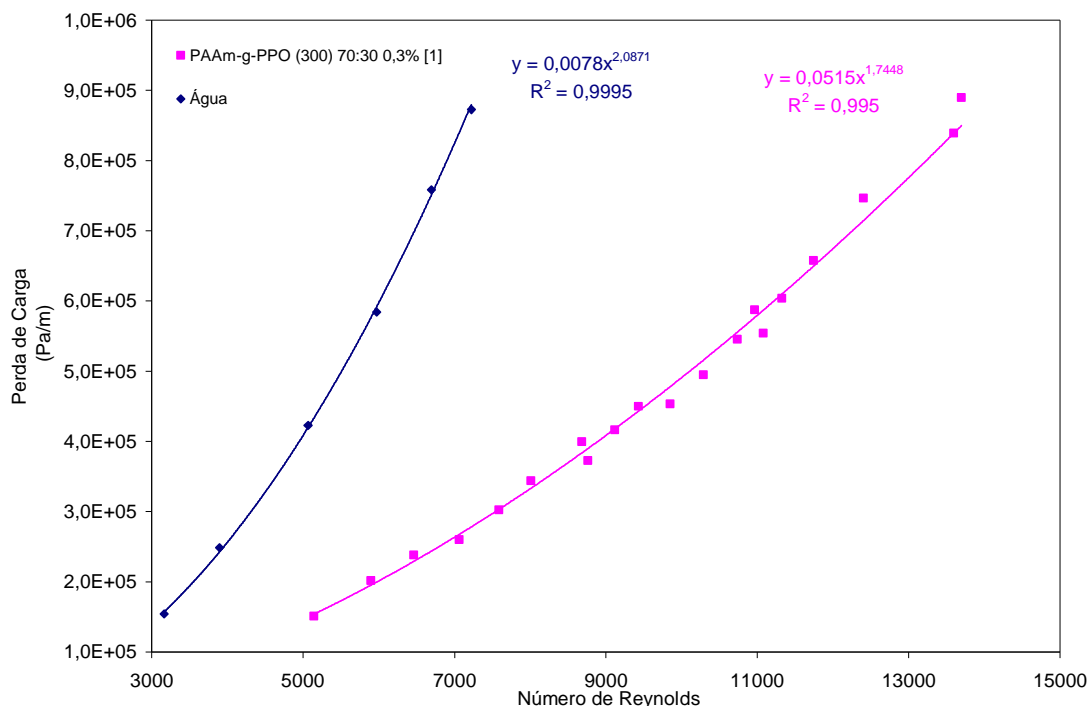


Figura 20. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 78:22 (1) (0,3%)

PAAM-g-PPO (300) 70:30 0,3% [1]								
Reologia:		n = 0,898	K = 2,5060E-03	Re_c = 2240				
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)
85,5	23,22	3,6822E-06	4,4192	8,6121E-04	5139	9,0	62053	151054
86,0	20,62	4,1707E-06	5,0055	8,5034E-04	5896	12,0	82737	201405
86,0	18,97	4,5335E-06	5,4409	8,4313E-04	6463	14,2	97906	238329
86,0	17,50	4,9143E-06	5,8979	8,3623E-04	7064	15,5	106869	260148
86,5	16,50	5,2424E-06	6,2917	8,3073E-04	7585	18,0	124106	302107
85,5	15,52	5,5090E-06	6,6117	8,2654E-04	8012	20,5	141343	344067
86,5	14,60	5,9247E-06	7,1105	8,2043E-04	8680	23,8	164095	399453
87,0	14,56	5,9753E-06	7,1712	8,1972E-04	8762	22,2	153064	372599
85,0	13,72	6,1953E-06	7,4353	8,1670E-04	9118	24,8	170990	416237
87,0	13,62	6,3877E-06	7,6662	8,1416E-04	9431	26,8	184779	449804
86,0	12,94	6,6461E-06	7,9763	8,1087E-04	9852	27,0	186158	453161
86,0	12,44	6,9132E-06	8,2969	8,0762E-04	10289	29,5	203395	495120
86,0	11,97	7,1846E-06	8,6226	8,0445E-04	10735	32,5	224080	545471
86,5	11,81	7,3243E-06	8,7903	8,0287E-04	10966	35,0	241317	587431
86,0	11,63	7,3947E-06	8,8747	8,0209E-04	11082	33,0	227527	553863
86,5	11,47	7,5414E-06	9,0508	8,0048E-04	11324	36,0	248211	604214
87,0	11,16	7,7957E-06	9,3560	7,9778E-04	11746	39,2	270274	657922
86,0	10,50	8,1905E-06	9,8298	7,9377E-04	12403	44,5	306817	746876
86,0	9,66	8,9027E-06	10,6846	7,8705E-04	13597	50,0	344738	839187
86,5	9,65	8,9637E-06	10,7578	7,8650E-04	13699	53,0	365422	889538

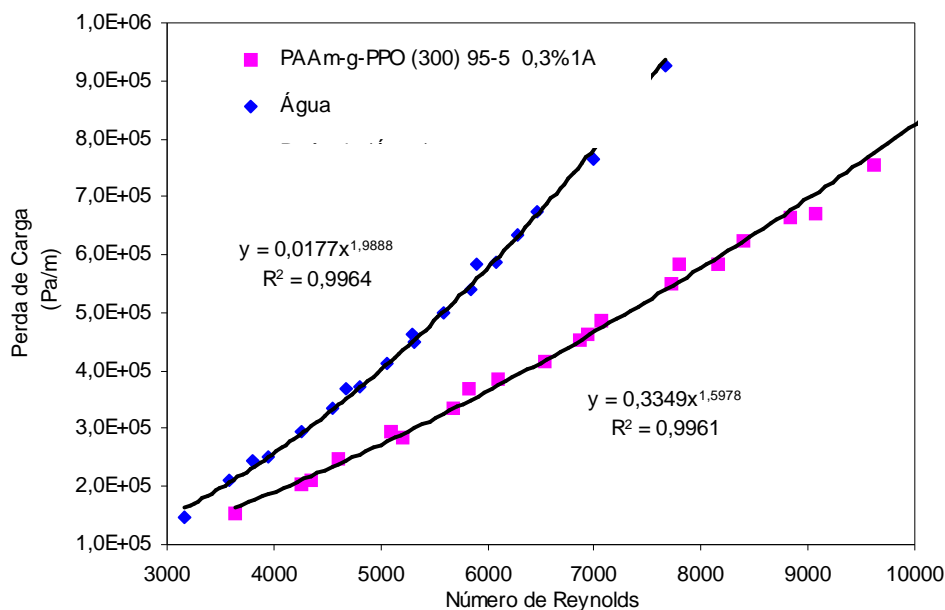


Figura 21. Gráfico de perda de carga pelo comprimento da tubulação (DP/L) em função de Reynolds para a solução 0,1g/L de PAAM-g-PPO(300) 95:5 (0,3%)

PAAM-g-PPO (300) 95-5 0,3%1A										
Reologia:	n =	0,9523	K =	1,4830E-03	Re _c =	2165				
V (mL)	t (s)	Vazão (m³/s)	u (m/s)	Visc. (Pa*s)	Re	Re(Newton)	DP (psi)	DP(Pa)	DP/L (Pa/m)	
86,0	31,66	2,7164E-06	3,2600	9,1377E-04	3629	3675	9,2	63432	154410	
85,5	27,06	3,1596E-06	3,7920	9,0721E-04	4252	4305	12,2	84116	204762	
85,5	26,44	3,2337E-06	3,8810	9,0620E-04	4357	4411	12,5	86184	209797	
86,0	25,22	3,4100E-06	4,0925	9,0391E-04	4606	4663	14,8	102042	248399	
86,0	22,90	3,7555E-06	4,5071	8,9976E-04	5096	5160	17,5	120658	293715	
86,0	22,47	3,8273E-06	4,5934	8,9895E-04	5198	5263	17,0	117211	285323	
86,5	20,78	4,1627E-06	4,9958	8,9535E-04	5676	5747	20,0	137895	335675	
87,0	19,53	4,4547E-06	5,3463	8,9246E-04	6094	6170	23,0	158579	386026	
87,0	20,38	4,2689E-06	5,1233	8,9428E-04	5828	5901	22,0	151685	369242	
86,0	18,06	4,7619E-06	5,7150	8,8963E-04	6535	6617	24,8	170990	416237	
86,0	17,23	4,9913E-06	5,9903	8,8763E-04	6865	6951	27,0	186158	453161	
86,0	17,06	5,0410E-06	6,0500	8,8721E-04	6937	7024	27,5	189606	461553	
86,0	16,75	5,1343E-06	6,1620	8,8644E-04	7071	7160	29,0	199948	486728	
86,5	15,50	5,5806E-06	6,6976	8,8292E-04	7717	7813	32,8	226148	550506	
86,5	14,69	5,8884E-06	7,0669	8,8066E-04	8163	8265	34,8	239938	584074	
86,0	15,25	5,6393E-06	6,7681	8,8248E-04	7802	7899	34,8	239938	584074	
87,0	14,37	6,0543E-06	7,2660	8,7950E-04	8404	8509	37,2	256485	624355	
85,5	13,46	6,3522E-06	7,6235	8,7748E-04	8838	8949	39,5	272343	662957	
87,0	13,36	6,5120E-06	7,8154	8,7644E-04	9071	9185	40,0	275790	671349	
86,5	12,57	6,8815E-06	8,2588	8,7414E-04	9611	9731	45,0	310264	755268	
87,0	11,87	7,3294E-06	8,7964	8,7152E-04	10267	10396	51,0	351633	855970	
87,5	11,88	7,3653E-06	8,8395	8,7131E-04	10320	10449	51,5	355080	864362	
86,0	11,19	7,6854E-06	9,2237	8,6955E-04	10791	10926	55,2	380591	926462	

