

MAURICIO LANE

**ESCOAMENTO DE FLUIDOS NÃO
NEWTONIANOS ATRAVÉS DE CANAIS
CONVERGENTES-DIVERGENTES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Rio de Janeiro,
Dezembro de 2004.**



Mauricio Lane

**ESCOAMENTO DE FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS ATRAVÉS DE
CANAIS CONVERGENTES-DIVERGENTES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-RIO como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica

Orientadores: Prof. Paulo Roberto de Souza Mendes
Prof. Mônica Feijó Naccache

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Rio de Janeiro,
Dezembro de 2004



Mauricio Lane

**ESCOAMENTO DE FLUIDOS NÃO
NEWTONIANOS ATRAVÉS DE CANAIS
CONVERGENTES-DIVERGENTES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Mônica Feijó Naccache

Orientadora

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Paulo Roberto de Souza Mendes

Co-Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Roney Leon Thompson

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Oldrich Joel Romero Guzmán

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 22 de dezembro de 2004.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade.

Mauricio Lane

Graduou-se em Engenharia Mecânica Pela UFF (Universidade Federal Fluminense). Coursou Pós-graduação em Engenharia de Petróleo na PUC-RJ. Atualmente trabalha como Engenheiro de Reservatório para a Shell Brasil Exploração e Produção.

Ficha catalográfica

Lane, Maurício.

Escoamento de fluidos não newtonianos através de canais convergentes-divergentes / Mauricio Lane; orientadores: Paulo Roberto de Souza Mendes, Mônica Feijó Naccache. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.

71 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Fluidos não Newtonianos. 3. Meio poroso. 4. Viscosidade extensional. I. Mendes, Paulo Roberto de Souza. II. Naccache, Mônica Feijó. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDD: 621

Agradecimentos

Aos Professores Mônica Naccache e Paulo Roberto Mendes Souza, pelo apoio, estímulo e orientação.

Devo agradecer, também, aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Aos colegas do curso de Engenharia Mecânica pelo apoio e companheirismo nos momentos decisivos desta jornada.

A minha esposa, Daniele, pelo amor, carinho, apoio, paciência e compreensão durante toda trajetória deste trabalho. As minhas duas filhas, Luísa e Laura, pelo companheirismo.

Aos meus pais Theodoro (em memória) e Marina, por servirem de exemplo e estímulo em toda a minha trajetória. As minhas duas irmãs, Irene e Renata, pelo apoio e incentivo.

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram nesta jornada das mais variadas maneiras.

RESUMO

Neste trabalho foi analisado o escoamento de fluidos não Newtonianos através de canais axisimétricos convergentes divergentes. A solução da conservação de massa e de conservação de momento foi obtida numericamente via volumes finitos utilizando o programa de computador Fluent. A equação constitutiva de fluidos Newtonianos generalizados foi utilizada para modelar o comportamento não Newtoniano, utilizando a equação constitucional de Shunk-Scriven para cálculo da viscosidade, que assume como sendo a média geométrica ponderada pelo classificador de escoamento R entre a viscosidade de cisalhamento e a viscosidade de extensão. Os resultados de perda de pressão e vazão são comparados com os resultados calculados pela relação simplificada proposta por Souza Mendes e Naccache, 2002 entre a perda de carga e vazão de fluidos viscoelásticos fluindo através do meio poroso, para analisar a sua performance.

Palavras-chave

Fluidos não Newtonianos, canal convergente-divergente, viscosidade extensional.

ABSTRACT

In this work, the flow of non-Newtonian fluids through axisymmetric converging-diverging channels is analyzed. The solution of mass and momentum conservation equations is obtained numerically via finite volume technique using the Fluent software. The Generalized Newtonian Fluid constitutive equation was used to model the non-Newtonian fluid behavior, using the Shunk-Scriven model for the viscosity, where a weighted geometric mean by the flow classifier R between shear and extensional viscosities is assumed. The results of pressure drop and flow rate are compared to the ones predicted by a previously proposed simplified relation (Souza Mendes and Naccache, 2002) between pressure drop and flow rate, for viscoelastic fluids flow through porous media, in order to analyze its performance.

Keywords

Non-Newtonian Fluids, converging-diverging channels, extensional viscosity.

Sumário

1	Introdução	10
1.1	Motivação	10
1.2	Revisão bibliográfica	11
2	Formulação matemática	20
2.1	Descrição do problema	20
2.2	Equação constitutiva	21
2.3	As funções α_i	22
2.4	Condições de contorno	24
2.5	Modelo teórico	24
3	Formulação numérica	27
3.1	Método de volumes finitos	27
3.2	Definição da malha utilizada	29
3.3	Funções definidas pelo usuário	31
3.4	Acoplamento das UDFs ao Fluent	31
4	Resultados	33
4.1	Comparativo de três fluidos em uma mesma geometria	33
4.2	Comparativo de dois fluidos em três geometrias	46
5	Considerações Finais	68

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 – Meio poroso real.	20
Figura 2.2 – Meio poroso idealizado.	20
Figura 2.3 – Domínio.	24
Figura 3.1 - Volume de controle típico.	28
Figura 3.2 – Malha típica	30
Figura 3.3 – Gráfico da integral da velocidade.	30
Figura 4.1 – Geometria # 1 ($R_o = 0.075$ m, $R_1 = 0.025$ m e $L = 0.15$ m).	33
Figura 4.2 – Variação da viscosidade extensional.	35
Figura 4.3 – Classificador de escoamento R, Fluido # 1.	35
Figura 4.4 - Classificador de escoamento R, Fluido # 2.	36
Figura 4.5 - Classificador de escoamento R, Fluido # 3.	36
Figura 4.6 - Classificador de escoamento R, Fluido # 4.	37
Figura 4.7 – Campo de viscosidade, Fluido # 1.	37
Figura 4.8 - Campo de viscosidade, Fluido # 2.	38
Figura 4.9 - Campo de viscosidade, Fluido # 3.	38
Figura 4.10 - Campo de viscosidade, Fluido # 4.	39
Figura 4.11 - Campo de velocidade, Fluido # 1.	39
Figura 4.12 - Campo de velocidade, Fluido # 2.	40
Figura 4.13 - Campo de velocidade, Fluido # 3.	41
Figura 4.14 - Campo de velocidade, Fluido # 4.	41
Figura 4.15 – Comparação dos resultados do fluido # 2.	42
Figura 4.16 - Comparação dos resultados do fluido # 3.	42
Figura 4.17 - Comparação dos resultados do fluido # 4.	42
Figura 4.18 – Variação da viscosidade extensional.	43
Figura 4.19 – Geometria generalizada.	43
Figura 4.20 – Campo do classificador R, Caso GAF5.	44
Figura 4.21 - Campo do classificador R, Caso GAF6.	44
Figura 4.22 - Campo do classificador R, Caso GBF5.	45

Figura 4.23 - Campo do classificador R, Caso GBF6.	46
Figura 4.24 - Campo do classificador R, Caso GCF5.	47
Figura 4.25 - Campo do classificador R, Caso GCF6.	48
Figura 4.26 - Campo de viscosidade, Caso GAF5.	49
Figura 4.27 - Campo de viscosidade, Caso GAF6.	50
Figura 4.28 - Campo de viscosidade, Caso GBF5.	51
Figura 4.29 - Campo de viscosidade, Caso GBF6.	54
Figura 4.30 - Campo de viscosidade, Caso GCF5.	54
Figura 4.31 - Campo de viscosidade, Caso GCF6.	55
Figura 4.32 – Linhas de corrente, Caso GAF5.	55
Figura 4.33 - Linhas de corrente, Caso GAF6.	56
Figura 4.34 - Linhas de corrente, Caso GBF5.	56
Figura 4.35 - Linhas de corrente, Caso GBF6.	57
Figura 4.36 - Linhas de corrente, Caso GCF5.	57
Figura 4.37 - Linhas de corrente, Caso GCF6.	58
Figura 4.38 – Campo de velocidade, Caso GAF5.	59
Figura 4.39 - Campo de velocidade, Caso GAF6.	59
Figura 4.40 - Campo de velocidade, Caso GBF5.	60
Figura 4.41 - Campo de velocidade, Caso GBF6.	61
Figura 4.42 - Campo de velocidade, Caso GCF5.	61
Figura 4.43 - Campo de velocidade, Caso GCF6.	61
Figura 4.44 – Comparação dos resultados, Caso GAF5.	62
Figura 4.45 - Comparação dos resultados, Caso GAF6.	63
Figura 4.46 - Comparação dos resultados, Caso GBF5.	63
Figura 4.47 - Comparação dos resultados, Caso GBF6.	63
Figura 4.48 - Comparação dos resultados, Caso GCF5.	64
Figura 4.49 - Comparação dos resultados, Caso GCF6.	65