

Influência das propriedades reológicas do sangue em microcanal com contração simétrica

Solange M. Caetano¹, Susana F. T. Silva¹, Joana A. C. Calejo² e Carla S. Fernandes³

(1) Engenharia Biomédica, Escola de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5301-857 Bragança, Portugal

(2) Escola de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5301-857 Bragança, Portugal

(3) Departamento de Matemática, Escola de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5301-857 Bragança, Portugal

Introdução

A aterosclerose é caracterizada por lesões nas paredes dos vasos, por depósito de placas de gordura, principalmente colesterol, na camada íntima da artéria e que tem por fase inicial os defeitos no endotélio causados por diversos fatores de risco [1, 2]. A placa ateromatosa depositada na parede dos vasos, vai crescendo lentamente, provocando a estenose de um vaso, ou seja, diminuição do fluxo sanguíneo, ou até mesmo obstruir completamente a artéria [1, 2]. Os estudos de escoamentos sanguíneos *in vivo*, e mesmo *in vitro*, levantam por vezes problemas por questões éticas, pelo que ferramentas numéricas têm vindo a ganhar espaço na área da hemodinâmica. Neste trabalho recorreu-se à dinâmica de fluidos computacional para simular escoamentos laminares newtonianos e não-newtonianos em microcanais com estenose simétrica. As simulações foram realizadas para canais com secção retangular, apresentando graus de estenose distintos, o que permitiu estudar a influência do grau de contração nas propriedades do escoamento sanguíneo.

Simulação Numérica

As simulações dos escoamentos laminares newtonianos e não-newtonianos foram efetuadas recorrendo ao software comercial FLUENT, sendo as propriedades não-newtonianas do sangue descritas pelo modelo de Carreau.

Geometria e Geração de Malha

A resolução numérica das equações de Navier-Stokes foi efetuada para canais de secção retangular estenosados sendo o grau de constrangimento de 25 e 50 %. A discretização dos domínios geométricos foi efetuada recorrendo a elementos hexaédricos sendo estes de menor dimensão junto às paredes do canal, onde a velocidade do fluido é nula.

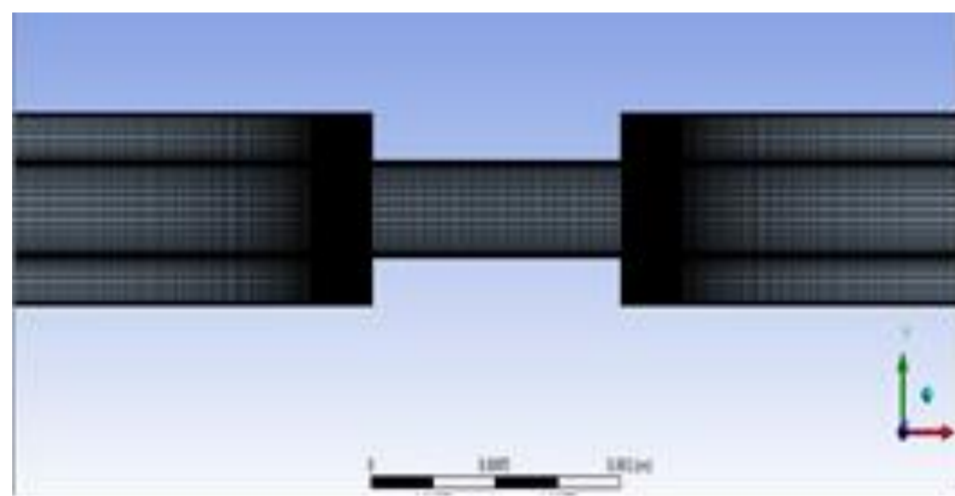


Fig 1. Malha do Microcanal com contração simétrica.

Condições de Fronteira

Na entrada dos vários canais foram impostas diferentes velocidades e nas paredes dos canais foi imposta uma velocidade nula.

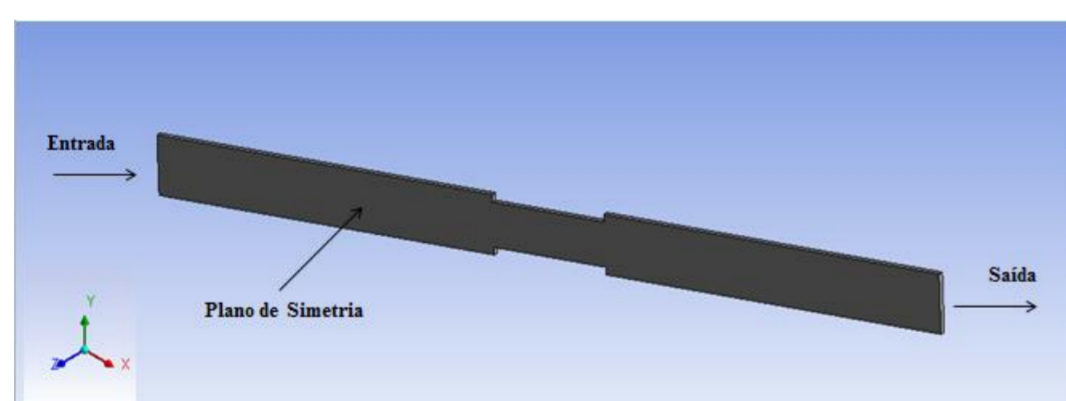


Fig 2. Representação dos planos de entrada, saída e de simetria..

Validação do Modelo Numérico

- Quedas de Pressão

Para escoamentos laminares newtonianos, a queda de pressão pode ser estimada através das seguintes relações:

$$\left. \begin{aligned} C_f &= \frac{P_o}{Re} \\ Re &= \frac{\rho U D_h}{\eta} \\ C_f &= \frac{2\Delta P D_h}{\rho u^2 L} \end{aligned} \right\} P_o = \frac{\Delta P}{L} \times \frac{D_h^2}{2 \times \eta u}$$

Para canais retangulares com secção igual à região anterior ao ateroma dos canais estudados, o número de Pousille é 19.

Grau de estenose	Re (-)	$P_{o\text{numérico}}$ (-)	Erro relativo (%)
50 %	0.1	18.91	0.50
	1	18.91	0.50
	10	18.91	0.50
25%	0.1	18.94	0.34
	1	18.94	0.34
	10	18.94	0.34

- Perfil de velocidade

$$v_x(y, z) = \frac{2(w+h)^2 P_o}{\pi^3 w^2} u \sum_{n, \text{impar}} \frac{1}{n^3} \left[1 - \frac{\cosh\left(n\pi \frac{y}{h}\right)}{\cosh\left(n\pi \frac{w}{2h}\right)} \right] \sin\left(n\pi \frac{z}{h}\right)$$

Grau de estenose	Re (-)	Erro relativo médio (%)	Erro relativo máximo (%)
50%	0.1	1.033	5.819
	1	1.033	5.819
	10	1.033	5.817
25%	0.1	0.535	1.829
	1	0.535	1.829
	10	0.535	1.827

Resultados e Discussão

Para os estudos não-newtonianos realizados nos canais com contração simétrica constatou-se que as propriedades não-newtonianas do sangue, descritas pelo modelo de Carreau, levam a um aumento da queda de pressão.

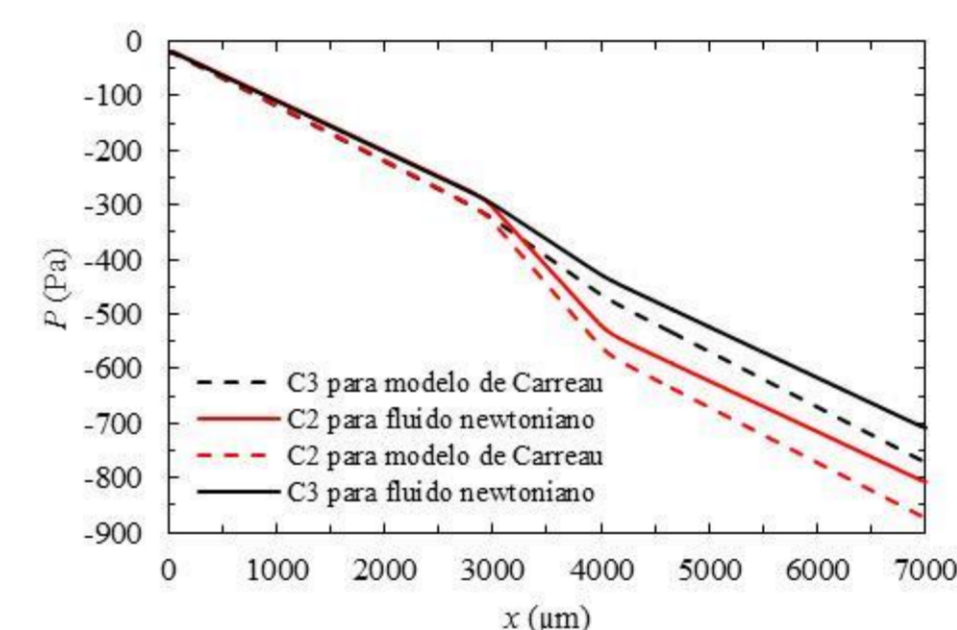


Fig. 3 Pressão para os canais estenosados com contração simétrica e diferentes modelos reológicos

O perfil de velocidade no plano de simetria para o fluido não-newtoniano (modelo de Carreau), apresenta o comportamento global típico de um escoamento em canal de secção retangular em regime laminar e estado estacionário – velocidade mínima nas paredes e máxima no centro do canal.

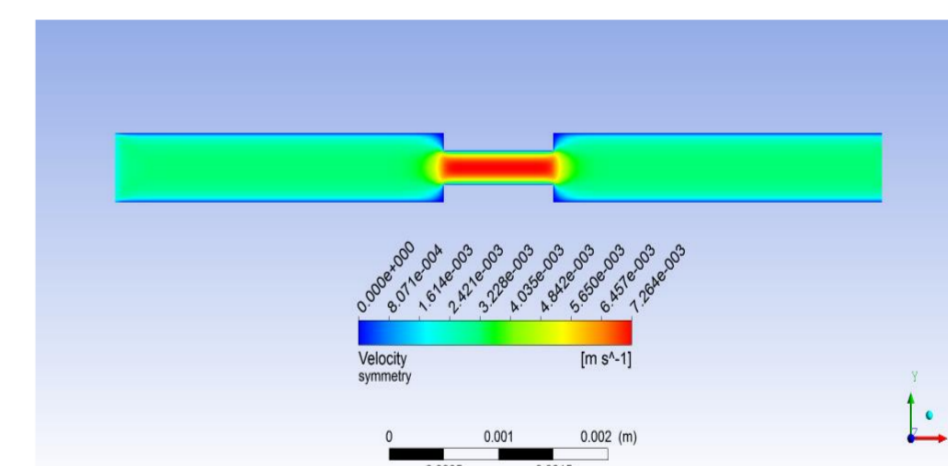


Fig. 4 Perfil de velocidades no plano de simetria para o modelo de Carreau.

Dada a presença do ateroma, a velocidade máxima é alcançada na região em que existe o ateroma, onde a área de secção reta é menor.

Conclusões

Comparando o fluido newtoniano com o modelo de Carreau, verificou-se que as quedas de pressão assumem valores mais elevados quando se admite o modelo de Carreau não havendo alterações a nível dos perfis de velocidade.

Verificou-se que a existência do ateroma no microcanal altera os perfis típicos de queda de pressão e velocidade, verificando-se um aumento da queda de pressão e velocidade máxima com o aumento do grau de estenose.

Os resultados aqui apresentados fornecem conhecimentos fundamentais para uma melhor compreensão do fluxo sanguíneo na microcirculação.

Referências

- [1] A. e. A. Carvalho, "Desenvolvimento de Placas de Ateroma em Pacientes Diabéticos e hipertensos.," pp. 73-77, 2010.
 [2] D. Caiado, "Modelação Matemática do Sistema Cardiovascular," Universidade do Algarve, Algarve, 2009.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT, COMPETE, QREN e União Europeia (FEDER) no âmbito do Projeto EXPL/EMS-SIS/2215/2013.