



## **Velocimetria Computacional por Imagens de Partículas versus análise numérica de escoamento em um Dispositivo de Assistência Ventricular**

Hernandes M\*, Drigo E§, Souza LF\*, Nishida BYT \*, Bock E\*, Andrade A§ e  
Lopes Jr GB‡

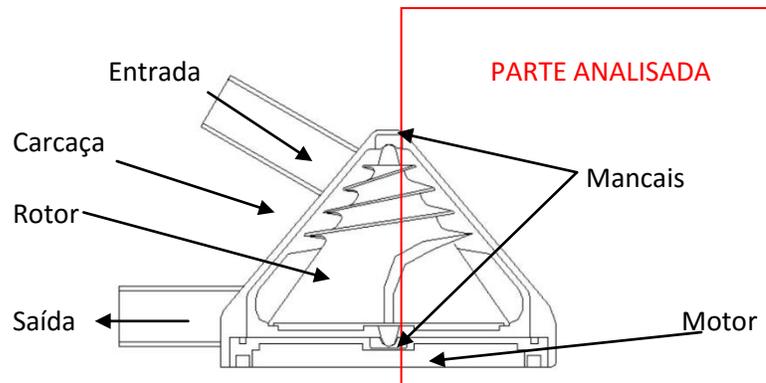
*\*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo IFSP, São Paulo. §Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia IDPC, São Paulo. ‡Universidade Federal do Triângulo Mineiro UFTM, Uberaba.*

**Resumo.** O Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais (BIOENG) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) trabalha no desenvolvimento de projetos de Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV) e pesquisas relacionadas ao tema. O objetivo principal desses dispositivos é o tratamento de pacientes portadores de insuficiência cardíaca congestiva auxiliando o coração a bombear o sangue. A importância da análise do escoamento é essencial para o desenvolvimento do protótipo, evitando áreas de estagnação e turbulência que podem acarretar na formação de trombos e hemólise, respectivamente. O emprego de análises computacionais auxilia a otimização do projeto e desenvolvimento de DAVs e podem ser conferidos com resultados experimentais de estudo de velocidade através das imagens de partículas. O estudo de visualização de escoamento foi realizado utilizando um estroboscópio com laser verde com comprimento de onda de 540nm e potência de 5000mW, fotografado e analisado com o programa PIVLab. Os resultados foram utilizados para validação de simulações numéricas utilizando Método dos Elementos Finitos no Ansys Fluent. Os testes em computador e em bancada tiveram resultados semelhantes com velocidades máximas de 3,5 m/s validando o método experimental e os resultados em Ansys Fluent.

**Palavras chaves.** *PIV Computacional, DAV, CFD, PIVLab.*

**Introdução.** A necessidade de transplantes cardíacos no Brasil em 2015 foi de 1622 indivíduos, sendo realizados apenas 353 procedimentos, porém a lista de espera sem contra indicação para a cirurgia foi de 236 pessoas, sendo 1.033 indivíduos com contra indicações para realização do transplante (1). O laboratório de Bioengenharia e Biomateriais (BIOENG) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) pesquisa o desenvolvimento de uma Bomba de Sangue Centrífuga Implantável (BSCI) que pode ajudar na carência de transplantes de órgãos de diversas formas, como: ponte para transplante (durante a espera na fila de órgãos), ponte para recuperação (durante a espera de melhora do órgão), ponte para candidatura (instalado em pacientes para melhora de saúde permitindo o transplante) ou terapia destino (para uso permanente em pacientes sem indicações para transplante) (2), (3).

A BSCI foi avaliada previamente em bancada e ensaios com animais (4). A modelagem de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) foi realizada empregando o Ansys e analisando a hemólise no interior da bomba (3).



**Figura 1.** Geometria do DAV estudado, a BSCI (4).

A Velocimetria por Imagem de Partículas (PIV) foi apresentada pela primeira vez na década de 60 como uma técnica pontual, e reaparecendo na década seguinte como uma ferramenta para análise de fluidos. Na década de 90 o estudo da velocidade se desenvolveu de uma maneira profissional, como uma ferramenta de análise de turbulência (5).

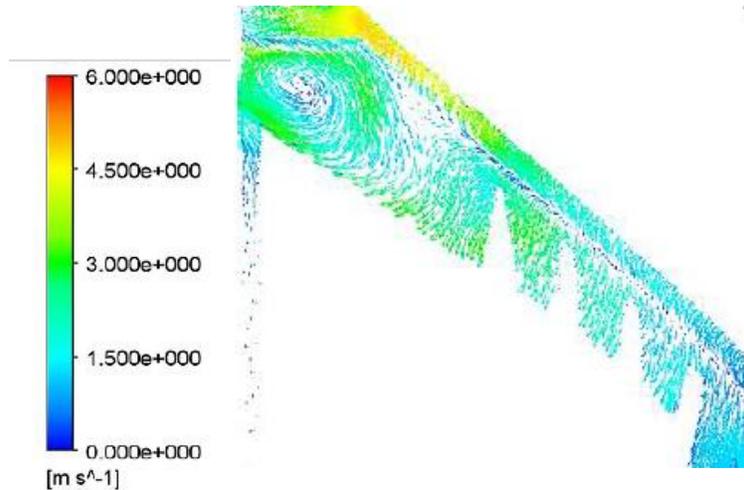
**Objetivo.** Este estudo apresenta análise de escoamento experimental comparado com os resultados encontrados com modelagem de dinâmica dos fluidos computacional, utilizando uma ferramenta de PIV digital resolvida no tempo em MatLab, o PivLab, e modelagem de elementos finitos da dinâmica dos fluidos, o Ansys Fluent, respectivamente (6).

**Métodos.** A partir de uma BSCI existente em acrílico foi realizado a análise numérica utilizando CFD e realizado o teste em bancada com fluido com lamelas de PVC, sendo analisado a velocimetria das partículas por imagem. Os resultados das velocidades encontradas no dispositivo foram comparados e discutidos (7, 8).

A entrada e saída da BSCI analisada está 31 mm de distância do rotor com diâmetro interno de 9mm. O rotor possui uma altura de 35mm, com diâmetros do topo 7,67mm e na base 48,84mm, enquanto os diâmetros internos da carcaça são de 15,38mm e 66,00mm respectivamente, fig.1.

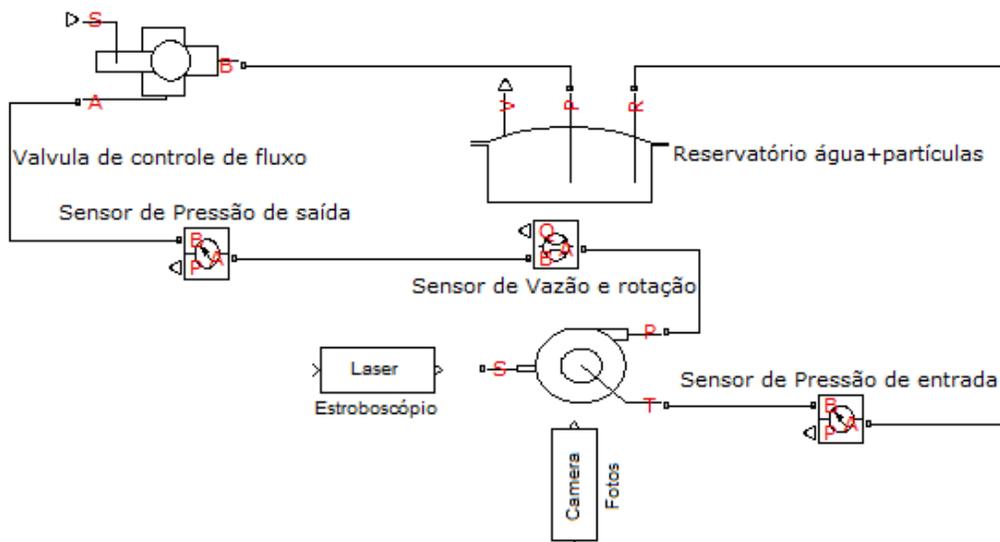
A análise numérica utilizou software com pacote CFD, Ansys Fluent, com aplicação de malha diferencial, considerando 220 elementos/mm<sup>3</sup> no subdomínio inercial e 333 elementos/mm<sup>3</sup> no subdomínio não inercial (9). A vazão foi fixada em de 5 l/minuto com um diferencial de pressão entre entrada e saída de 100mmHg com o rotor girando entre 2050 e 2200 rpm. A modelagem da turbulência k-ε padrão, e as velocidades máximas encontradas na região

são apresentadas na fig. 2, com o maior valor de 4,5 m/s.



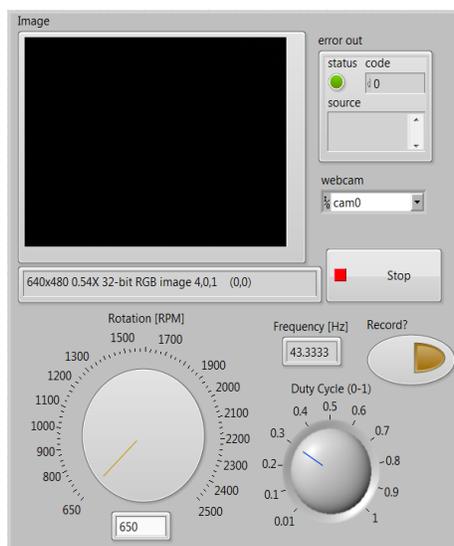
**Figura 2.** Gráfico da velocidade encontrada na simulação em Ansys Fluent (7)

O estudo de visualização de escoamento foi realizado no Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, em São Paulo, sendo montada uma bancada com a bomba de sangue em acrílico transparente acoplada ao motor, monitorando a rotação, vazão e pressões de entrada e saída do sistema, considerando os mesmos parâmetros realizados no ensaio de simulação computacional, fig.3.



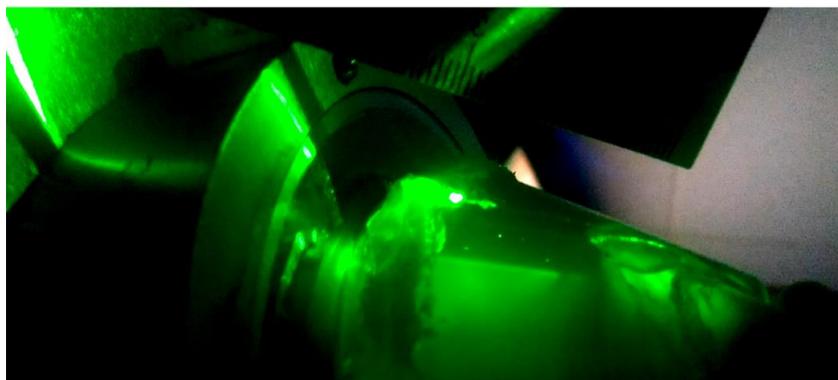
**Figura 3.** Montagem do sistema de PIV realizado em bancada, o reservatório foi preenchido com 5 l de água com partículas lamelares.

O fluido empregado foi água com partículas reflexivas de PVC lamelares com granulometria entre 0,1 e 0,5 mm. Para “congelar” a imagem do rotor durante a passagem do fluxo, foi montado um estroboscópio utilizando um laser com comprimento de onda de 540nm e potência de 5000mW controlado em LabView para ligar e desligar na frequência da rotação do rotor, permitindo a fotografia sequencial de imagens do rotor na mesma posição com a variação das partículas no interior da bomba, conforme a interface abaixo, Fig.4.



**Figura 4.** Interface do LabView do controle para piscar o laser durante o experimento (5).

Para a análise do fluxo, foi fotografada a lateral da bomba, na região onde apresentam as maiores velocidades (3), posicionado o laser ortogonalmente à câmera, de forma a gerar uma seção de corte na lateral da BSCI, sendo colocada uma escala de referência na região, possibilitando a calibração da análise da imagem, reduzindo a área de análise, causando uma redução nas partículas analisadas, fig.5.

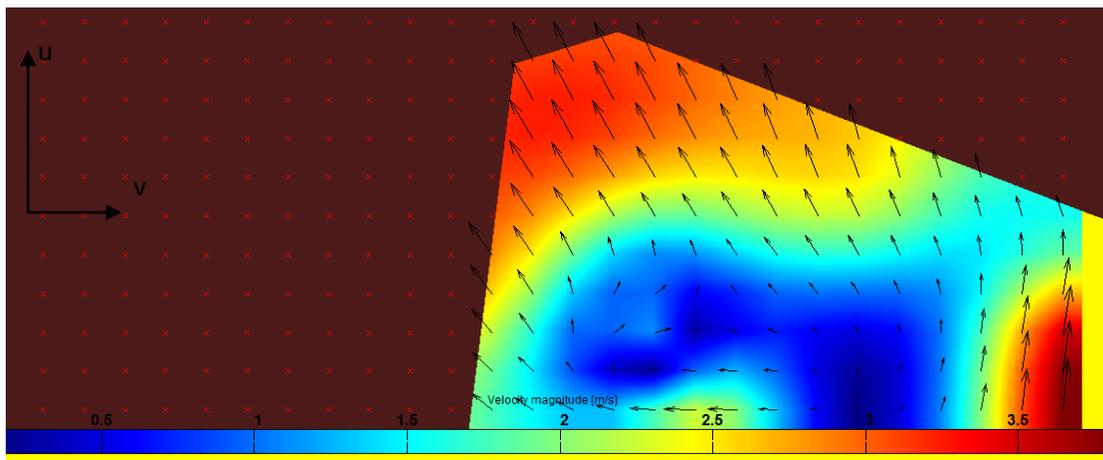


**Figura 5.** Fotografia do sistema obtida na montagem experimental com partículas dispersas e em pequenas quantidades.

Com a montagem do sistema foi filmado o sistema com uma câmera de 13 megapixel com velocidade de quadros de  $\frac{1}{30}$  segundos. Com esses dados foi realizado a escolha dos quadros sequenciais com o maior numero de partículas e realizado o tratamento da imagem no software MatLab empregando o pacote PivLAB, sendo excluída da análise regiões externas ao dispositivo e aumentando o brilho da imagem para facilitar a captura das lamelas de PVC e o fluxo da água.

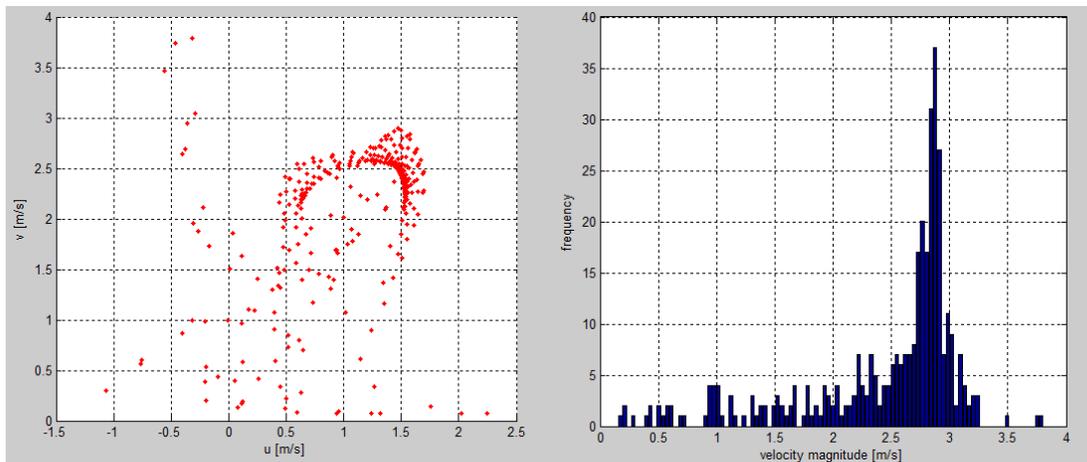
A análise do PivLab consiste na vetorização das partículas e movimentações dos fluxos, analisando a mudança de localização entre quadros e considerando uma calibração com uma distância previamente fixada, neste caso uma régua na lateral da BSCI. Com os vetores gerados é possível a análise de pontos de turbulência e distribuição das velocidades no interior do dispositivo.

**Resultados.** Os vetores gerados demonstram o funcionamento centrífugo axial, onde as partículas percorrem a direção diagonal da bomba. As maiores velocidades foram encontradas na região da base da bomba e na área das primeiras aletas, divergindo do Ansys, onde os máximos de velocidades estão apenas na base da BSCI, fig.6.



**Figura 6.** Análise com PivLab da velocidade com velocidades máximas de 3 a 3,5m/s na base e próximo à aleta do rotor (m/s).

Os gráficos abaixo demonstram a distribuição das velocidades com predominância no eixo (v) em relação ao (u), bem como a magnitude e frequência das velocidades, fig.7, mostrando o funcionamento centrifugo da bomba, com o fluido circulando no sentido ortogonal ao eixo do rotor.



**Figura 7.** Gráficos de dispersão das velocidades nos eixos u e v e frequência das velocidades

**Discussão e Conclusões.** A visualização de escoamento utilizando o estrobo com laser se mostrou prática por suas dimensões, porém há uma redução na área analisada, podendo ter causado um falso resultado nas aletas superiores, que acusaram alta velocidade, conforme fig.4, mas a região está escura e de difícil análise.

Desconsiderando a região superior, as maiores velocidades foram localizadas na base do dispositivo, sendo condizente com os ensaios realizados com simulações CFD. Sobre a estagnação do fluxo, não foram percebidas zonas de recirculação durante o ensaio.

A divergência das dimensões das lamelas de PVC ( $5.000\mu\text{m}$ ) e as hemácias ( $8\mu\text{m}$ ), que eram representadas, pode ter influenciado os resultados, sendo os próximos ensaios aconselhável o uso de micropartículas de prata.

A validação de simulações computacionais é de grande importância e a praticidade do sistema de visualização de escoamento em bancada torna uma solução rápida e eficiente na análise de protótipos de futuros dispositivos-

**Agradecimentos.** Os autores agradecem à CAPES, CNPQ, IFSP, IDPC e FAPESP pelo financiamento parcial dessa pesquisa.

### Referências.

- (1) ABTO. Dimensionamento dos Transplantes no Brasil e em cada estado 2015, São Paulo:ABTO;2016.
- (2)Bock, E.; Leão, T.; Uebelhart, B.; Galantini, D.; Andrade, A.; Cavalheiro, A.; Santos Filho, D. A ceramic pivot bearing Implantable Centrifugal Blood Pump. Int J Artif Organs. 2013; 36, p. 543.
- (3) Lopes Jr. G, Gómez L, Bock E. Mesh Independency Analyses and Grid Density Estimation

- for Ventricular Assist Devices in Multiple Reference Frames Simulations. *Technische Mechanik*. 2016; 36(3):190-8.
- (4) Bock, EGP. Projeto, construção e testes de um dispositivo de assistência ventricular: bomba de sangue centrífuga implantável [tese]. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas; 2011
- (5). Dante Measurement Technology A/S. Particle Image Velocumetry (PIV) [ atualizado em 25 de maio de 1998]. Disponível em : <http://www.dantecmt.com/scientific/piv/pivmain.htm>
- (6) Drigo E, Leme J, Leão T, Bock E, Fonseca J, Utiyama B, Sá R, Andrade G, Andrade A. Flow Visualization Studies in a Centrifugal Blood Pump. 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering. 2015, Rio de Janeiro (RJ), Brazil.
- (7) Sato K, Orihashi K, Kurosaki T, Tokumine A, Fukunaga S, Ninomiya S, e Sueda T. Analysis of Flow Patterns in a Ventricular Assist Device: A Comparative Study of Particle Image Velocimetry and Computational Fluid Dynamics. *Int J Artif Organs*, 2009, 33(4):352–359.
- (8) Su B; Chua LP, and Wang X. Validation of an Axial Flow Blood Pump: Computational Fluid Dynamics Results Using Particle Image Velocimetry. *Artificial Organs*. 2012, 36(4):359–367.
- (9) Lopes Jr G, Bock E, Gomez L. Gomez Numerical Analyses for Low Reynolds Flow in a Ventricular Assist Device. *Artificial Organs* 2017, 41(6):E30–E40.
- 

**Abstract.** The Bioengineering and Biomaterials Laboratory (BIOENG) of the Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo (IFSP) works on the development of Ventricular Assist Devices (VAD) projects and research related to the topic. The main goal of the portable devices of congestive heart failure is helping the heart to pump blood. The importance of flow analysis is essential for prototype development, avoiding areas of stagnation and turbulence that can lead to the formation of thrombi and hemolysis, respectively. The use of computational analysis helps the optimization of the design and development of VADs and can be obtained with experimental results of study of speed through the images of particles. The flow printing study was performed with a 540nm green laser stroboscope with 5000mW power, photographed and analyzed with the PivLab program. The results were compared with finite element simulations using Ansys Fluent. The tests in computer and in bench got similar results, with maximum speeds of 3.5 m / s, thus, validating the experiment in Ansys Fluent.

**Keywords.** PIVLab, VAD, ICBP, CFD.