

Aplicação da técnica óptica de Moiré de projeção para análise de deformação nos mancais cerâmicos do Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV)

Loiola MTC†, Araki SY†, Bock E†, Fujita IK†

† Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, São Paulo.

Resumo. Os Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV), tais como as bombas de sangue centrífugas, auxiliam o bombeamento sanguíneo do coração de um paciente com insuficiência cardíaca por um longo período. Estes dispositivos são desenvolvidos com um eixo rotor apoiado em dois mancais, podendo ocorrer desgaste por atrito devido à velocidade de giro do rotor e força de contato entre o eixo rotor e os mancais. Há a possibilidade de que, se ocorrer determinado desgaste, exista contaminação sanguínea por partículas liberadas do mancal após o atrito. Frente às necessidades de evitar os danos mecânicos deste dispositivo, o presente trabalho propôs a metodologia da técnica de *Moiré* de Projeção, sendo este fenômeno baseado no momento em que grades são projetadas sob a superfície do objeto, sofrendo interferências, em que gera o Retículo Modelo, ou seja, obtém – se franjas de *Moiré* sendo essas padronizadas em linhas mais claras e escuras. Esta técnica de *Moiré* aplicada nos mancais de um DAV permite a verificação de seu perfil e dos desgastes dos mesmos, resultando em um mapa de deformação através da utilização de software de tratamento de imagens das franjas. Os resultados para este projeto, através do tratamento das imagens obtidas, podem ser utilizados como metodologia alternativa para detectar os desgastes dos mancais no eixo rotor, para assim auxiliar na melhoria do projeto.

Palavras-Chave. *Dispositivo de Assistência Ventricular, mancais cerâmicos, Moiré de Projeção, franjas, desgaste, grade.*

Introdução. Os Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV) são equipamentos que têm o objetivo de substituir total ou parcialmente as funções de bombeamento de um coração. São utilizados para pacientes no estágio D da progressão cardíaca, ou seja, o paciente possui sintomas refratários e necessita de uma intervenção especial (1-5).

Os DAVs possuem dois subtipos: o primeiro é pulsátil, que utiliza um diafragma que avança por um meio mecânico ou pneumático para bombear o sangue para a aorta (6). O segundo tipo são as bombas de fluxo contínuo, como as axiais e as centrífugas implantáveis. Geralmente, essas bombas são menores que as pulsáteis, possuem uma confiabilidade maior por serem simples e requerem um sistema de controle de fluxo mais dinâmico (7).

As bombas centrífugas possuem mancais que podem ser de três tipos: cerâmico-poliméricos, de levitação magnética, ou levitação hidrodinâmica (2). Um dos estudos dos mancais é a relação da deformação com o tempo ativo da bomba, pois os desgastes dos mesmos podem causar vibrações prejudiciais, ocorrendo contaminação sanguínea devido as partículas livres do mancal na corrente sanguínea, prejudicando a saúde do paciente.

As principais técnicas utilizadas para análise dos desgastes são as microscópicas, usando a microscopia focal e pelo estudo de varredura, a partir do sistema piezométrico, obtendo as dimensões do objeto (7). Uma alternativa encontrada é a utilização de técnicas de *Moiré* de Projeção ou de Sombra para obter as deformações dos mancais. Há dois procedimentos realizados nestes materiais: os ensaios destrutivos, em que deforma o material e obtém as propriedades mecânicas deste e os ensaios não destrutivos - utilizados na técnica óptica de *Moiré* de Sombra - onde o material não sofre nenhum tipo de dano e determina a ocorrência de falhas de maneira individual. As técnicas ópticas para ensaios não destrutivos são divididas em: Técnica Fotoelástica e Técnica Fotomecânica (8).

A fotoelasticidade é uma técnica experimental utilizada para análise de tensões e deformações do material analisado, em que se baseia no uso de uma película fotoelástica sendo aplicada sobre a superfície do corpo de prova e, uma luz é projetada no objeto formando franjas fotoelásticas. Um exemplo desta técnica utilizada é a determinação da intensidade das tensões nas estruturas, evitando que ocorra trincas. As técnicas fotomecânicas obtêm um mapa de deslocamento de um corpo de prova e fornecem mapas de deformação e tensão. Estas técnicas fotomecânicas podem ser: a) Técnica de *Moiré*; b) Holografia interferométrica; e c) *Speckle* interferométrico (9).

A Holografia Interferométrica e o *Speckle* interferométrico são semelhantes e englobam métodos diferentes baseados no fenômeno de interferência da luz. O procedimento desta técnica baseia-se em que um feixe de luz, gerado por um laser, é direcionado no objeto obtendo um holograma. A onda refletida pelo objeto incide em uma superfície sensível a luz e que também obtém um holograma. Após a obtenção de ambas as imagens, a subtração desses interferogramas obtém padrões de franjas, sendo estas denominadas de franjas interferométricas. A partir dessas franjas, estas determinam a distribuição de deslocamento entre as duas posições (10).

A Técnica Óptica de *Moiré* gera mapas de deformações ou tensões do objeto em estudo. Esta técnica emprega o uso de uma fonte de projetor multimídia, câmera digital e grades de *Moiré*, podendo ser digitais ou físicas. O método de *Moiré* baseia em sobrepor dois retículos, gerando um ângulo entre a direção das linhas. Os retículos são constituídos por linhas claras e escuras de

mesma dimensão. As franjas de *Moiré* são geradas a partir dos padrões desses retículos as quais são exibidas por linhas escuras conforme o deslocamento relativo entre os retículos (10-11).

A posição das franjas gera mapas da distribuição de tensões, reproduzindo a topografia do objeto. Essa topografia obtém o desenho geométrico na forma tridimensional, fornecendo informações dos contornos topográficos, curvatura e formato dos objetos e as deformações dentro e fora do plano. Na literatura, a técnica de *Moiré* é composta por uma série de técnicas, sendo *Moiré* de Sombra e *Projeção*, porém neste trabalho o enfoque será de *Moiré* de *Projeção* (12-14).

Para analisar as diferenças destas técnicas, *Moiré* de Sombra é aplicada em apenas um retículo, devido a passagem de luz na grade real, em que projeta sua sombra (grade virtual) no corpo do objeto. A análise das franjas determina os deslocamentos dos eixos nos planos e o tipo de inclinação do corpo de referência. Diferente do que ocorre com *Moiré* de *Projeção*, em que seu método consiste em uma grade projetada diretamente no objeto com deslocamento de 90 graus formando padrões de linhas claras e escuras. Esse ensaio necessita de três ou quatro imagens com pequenos deslocamentos das franjas para obter os mapas de deformação e as franjas de *Moiré*. As vantagens destas técnicas estão associadas ao baixo custo dos aparatos experimentais, simplicidade no processamento de imagens e aplicada a qualquer tipo de corpo, independente da forma geométrica e cor.

A proposta deste trabalho é obter o perfil e analisar as deformações dos mancais, em equilíbrio estático, devido a um desgaste por atrito - por meio da velocidade de giro do rotor, material, força de contato entre o eixo rotor e os mancais - utilizando a técnica óptica de *Moiré* de *Projeção*, a fim de obter os mapas de deformação e os modelos digitais topográficos, fornecendo a forma do objeto, a deformação no plano e fora do plano, os contornos topográficos e sua inclinação.

Desenvolvimento. Para desenvolver os experimentos, o arranjo experimental inclui o uso de uma câmera fotográfica, um projetor multimídia, um computador (para a utilização de programas de processamento de imagem - ImageJ e Rising Sun), um suporte e o mancal de material cerâmico a ser estudado. A figura 1 mostra o ensaio de *Moiré* de *projeção*.

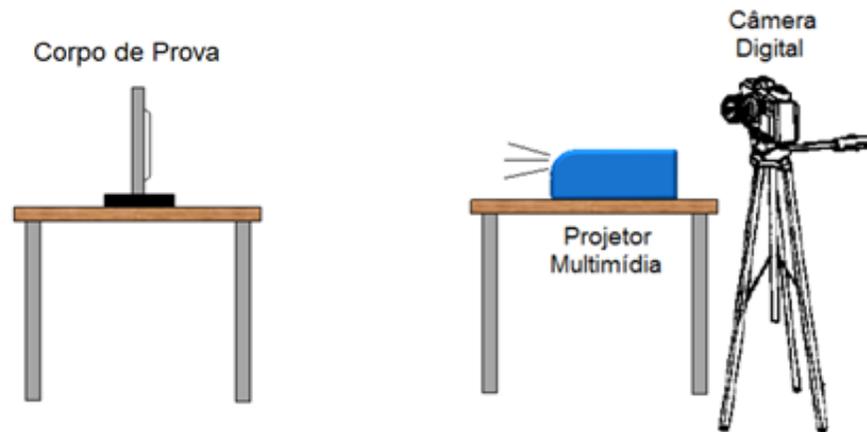


Figura 1. *Moiré* de Projeção com deslocamento das franjas de 90 graus.

Para realizar o procedimento experimental, é necessária uma sala com baixa intensidade de luz, para assim ter uma boa visualização das franjas no objeto. Neste projeto, estão sendo estudado os mancais de Dispositivos de Assistência Ventricular.

Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV). DAVs são equipamentos utilizados em pacientes com insuficiência cardíaca avançada, mais especificamente para aqueles que estão no estágio D da progressão cardíaca e que, portanto, precisam de assistência especial.

O primeiro tipo de DAV desenvolvido foi o de fluxo pulsátil, através de propulsão pneumática. No entanto, as máquinas necessárias para este procedimento apresentavam um barulho inconveniente, eram muito grandes e tinham problemas mecânicos com frequência. Posteriormente, foram criados DAVs de fluxo contínuo, como a bomba axial ilustrada na Figura 2, através de um pequeno sistema de alta rotação.

Deste modo, como não havia necessidade de válvulas, o problema apresentado na primeira geração de DAVs havia sido solucionado, pois neste modelo as máquinas passaram a ser menores, mais leves e silenciosas.

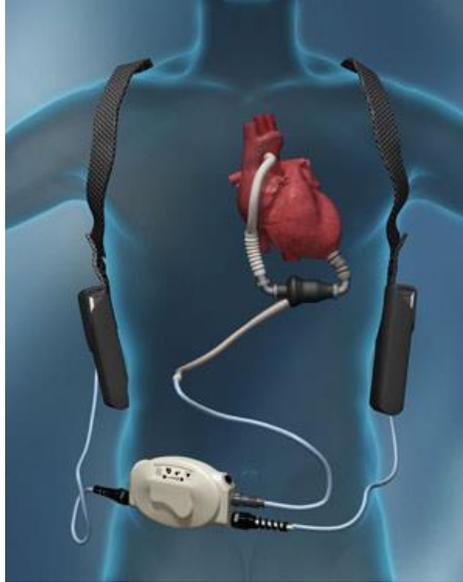


Figura 2. Esquema de implantação de um DAV de fluxo contínuo, a bomba de sangue axial.

O segundo tipo de DAV são as Bombas Centrífugas Implantáveis, caracterizadas por um bombeamento contínuo do sangue através de um rotor apoiado em dois mancais cerâmico-poliméricos. Os mancais que serão o projeto de estudo analisado possuem como propriedade do material ligações de caráter mistas de elementos metálicos e não metálicos. Estes geralmente são duros, frágeis e com um certo período de uso, sofrem desgastes, assim como na figura 3.



Figura 3. Foto e radiografia da Bomba de Sangue Centrífuga Implantável.

Essas bombas centrífugas possuem um sistema de fluxo mais dinâmico e são menores que as pulsáteis, então o método para encontrar as deformações destes mancais é de extremo interesse, pois previne que haja uma hemólise no paciente - destruição das hemácias causadas por atrito.

Os experimentos. O desenvolvimento dos programas de aplicação *ImageJ* e *Rising Sun* foi realizado para o tratamento de imagens, a fim de reconhecer se determinadas imagens estavam adequadas ou não para o estudo.

Os experimentos foram realizados no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e no Instituto Federal de São Paulo (IFSP). Foram realizados os métodos de *Moiré* de Sombra e *Projeção* e foram analisadas as diferenças destas duas técnicas e pode observar que *Moiré* de Sombra possui dificuldade em relação à obtenção de imagens visto que as franjas vão perdendo nitidez à medida que se afastam do objeto. Além disso, o reflexo causado pela luz do projetor provoca um efeito negativo na imagem, o que torna seu tratamento mais complicado e, também é preciso que haja um posicionamento do projetor em relação à grade e ao objeto de modo a formar um ângulo adequado para observar o *Moiré* de sombra. Diferente de *Moiré* de *Projeção*, em que a imagem do objeto foi obtida com maior facilidade, mesmo que foi um processo que tiveram algumas dificuldades em relação à fixação do objeto para obter as imagens e uma câmera que tivesse maior precisão.

Resultados. Os resultados obtidos através do tratamento das imagens e dos mapas de deformações mostram coerência com outros obtidos anteriormente, confirmando que as técnicas de *Moiré* são válidas e possam ser utilizados como metodologia alternativa para detectar os desgastes dos mancais, em equilíbrio estático, do eixo rotor e suas deformações. Assim, a técnica visa auxiliar na melhoria do projeto de DAVs e prever irregularidades do aparelho evitando que haja desgaste do mancal. Espera-se que as deformações encontradas a partir das técnicas de *Moiré* de *Projeção* sejam semelhantes aos resultados já obtidos de outras técnicas, como por exemplo, de microscopia óptica.

O resultado obtido pelo Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais (BIOENG) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP-SP) foi de 0,01mm. Um exemplo de corpo de prova analisado durante o estudo, utilizado como modelo de eixo de mancal, foi o cone que resultou na obtenção dos mapas de deformação e os modelos digitais topográficos. Seguem as franjas e os modelos topográficos encontrados em um cone, Figuras 4 e 5.

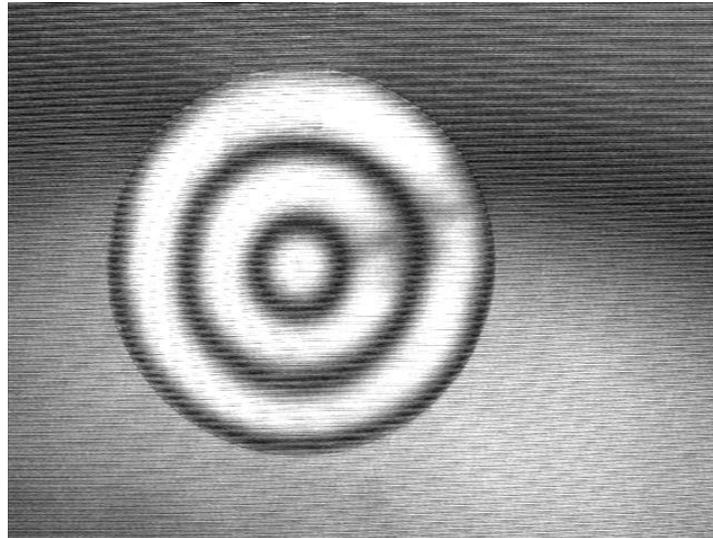


Figura 4. Franjas obtidas em um cone para a criação do seu modelo digital topográfico.

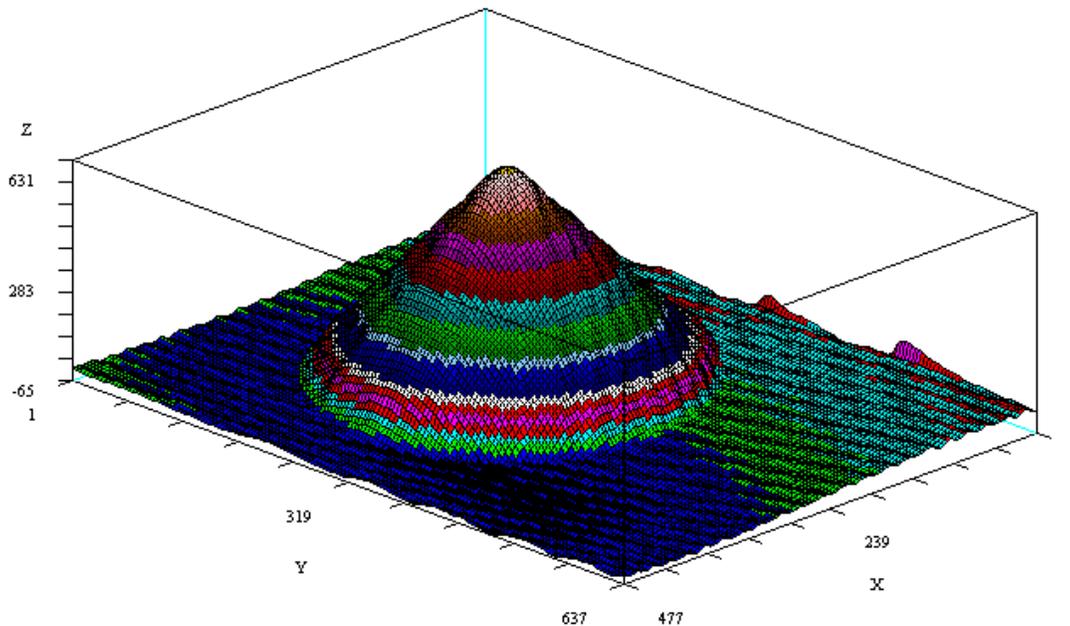


Figura 5. Modelo digital topográfico do cone estudado como modelo de eixo do mancal.

A partir das imagens e por meio dos softwares utilizados (ImageJ e Rising sun), o tratamento das imagens obtém-se o desenho do objeto na forma tridimensional, fornecendo informações de deformação no plano e fora do plano, contornos topográficos, inclinação, curvatura e forma dos objetos.

Após obter o perfil topográfico do cone, iniciou-se os experimentos dos mancais e pode-se obter seu perfil, analisar seus desgastes e comparar com os resultados já feitos no Laboratório de Bioengenharia. Segue o perfil tridimensional do mancal, Figura 6.

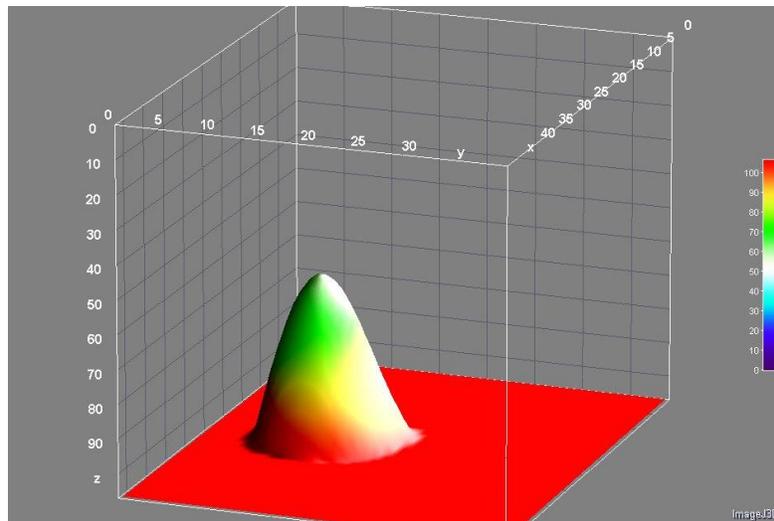


Figura 6. Perfil topográfico tridimensional do mancal do DAV.

Como análise, pode-se observar que o mancal possui um formato cônico e o desgaste é quase mínimo em sua superfície. Não obtivemos nenhum valor numérico para obter a comparação com o estudo já feito na Bioengenharia.

Conclusão. Embora as técnicas de *Moiré* de sombra e projeção sejam pouco conhecidas, nos últimos anos vem sendo estudadas mais a fundo, devido à simplicidade destas técnicas, ao baixo custo dos aparatos utilizados no experimento e à agilidade no processamento das imagens, podendo ser aplicadas a qualquer tipo de corpo de prova.

De acordo com os resultados, utilizando a técnica *Moiré* de Projeção, foi possível detectar os desgastes dos mancais do DAV a partir dos mapas de deformação. Já a técnica *Moiré* de Sombra, não foi possível obter resultados, uma vez que houve dificuldade em capturar as imagens do objeto.

É possível notar diferenças entre *Moiré* de projeção e sombra, visto que a última técnica utiliza a grade de *Ronchi* para obter a sombra no objeto. Já na de projeção não é necessária a utilização desta grade, sendo este método com resultados mais precisos, pois *Moiré* de sombra necessita de ajustes na iluminação para conseguir projetar a sombra no objeto e, deste modo, obter imagens adequadas para o tratamento através dos softwares.



Como proposta de minimizar o reflexo causado pela luz do projetor na imagem, dificultando o seu tratamento, estão sendo utilizadas alternativas de evitar esses problemas para próximos experimentos.

Agradecimentos. Primeiramente, gostaríamos de agradecer ao Professor Isac Fujita por aprimorar cada vez mais nosso conhecimento. Os autores agradecem os projetos e bolsas da CAPES, CNPq e FAPESP pelo auxílio financeiro dessa pesquisa.

Referências.

- (1) Braunwald, E. *Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*. Boston : Elsevier, 2012.
- (2) Bock, E., Ribeiro, A., Silva, M., Antunes, P., Fonseca, J., Legendre, D., Andrade, A. New centrifugal blood pump with dual impeller and double pivot bearing system: wear evaluation in bearing system, performance tests, and preliminary hemolysis tests. *Artificial Organs*, 32(4), 329-333, 2008.
- (3) Souza, R. L., Chabu, I. E., Drigo, E., Andrade, A. J. P., Leao, T. F., Bock, E. G. P. A strategy for designing of customized electromechanical actuators of blood pumps. *Artificial organs*, 2019.
- (4) Rodrigues, M., Cruz, N., Rocha, J., Sá, R., Bock, E. Surface roughness of biomaterials and process parameters of titanium dioxide gritblasting for productivity enhancement. *The Academic Society Journal*, v. 3, n. 2, p. 169-176, 2019.
- (5) Bock, E., Leão, T., Uebelhart, B., Galantini, D., Andrade, A., & Cavalheiro, A. (2013). A ceramic pivot bearing Implantable Centrifugal Blood Pump. *The International Journal of Artificial Organs*, v. 36, n. 8, p. 543, 2013.
- (6) Slaughter, M. S. *et al.* Advanced Heart Failure Treated with Continuous-Flow Left Ventricular Assist Device. *N Engl J Med*, v. 361, n. 23, p. 2241–2251, 2009.
- (7) Florentino, P.C. *et al.* Dilatometria da Zircônia pelo Processo de Colagem de Barbotina em Moldes de Gesso para Eixos no DAV. *The Academic Society Journal*, vol. 2, n. 3, p. 113-119, 2018.
- (8) Gazzola, Jonathan. Aplicação de Técnica Óptica no Estudo da Distribuição de Tensões em Modelos Reduzidos de Feixe de Toras e Peças Serradas. 151 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- (9) Fujita, Isac Kiyoshi. Aplicação de técnica de Moiré de sombra na medição de tensões em elementos estruturais submetidos a ensaio de tração. 2015. 64p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.



- (10) Gazzola, Jonathan; Affonso, Eudir Alves; Fabbro, Inácio Maria dal. Aplicação da técnica óptica de Moiré de sombra na determinação do mapa de deformações de corpos carregados axialmente. *Sinergia*, São Paulo, v. 14, n.3, p. 211-216, 2013.
- (11) Hertz, H. R. G. *et al.* Desenvolvimento da Técnica de Moiré de Sombra como Alternativa de Baixo Custo para Análise Postural. *Scientia Medica*, Porto Alegre. v.15, n. 4, pg 235-242, 2005.
- (12) Paulo, Miriam F. Ferramenta computacional de supressão do sinal de atividade ventricular em eletrocardiograma. 2016. Pós-graduação Stricto Sensu em Automação e Controle de Processos- Instituto Federal de educação ciência e tecnologia de São Paulo.
- (13) Porto, Flávia; Gurgel, Jonas Lírio e Farinatti, Paulo de Tarso Veras. Topografia de Moiré como método de avaliação postural: revisão do estado da arte. *Rev. Bras. Geriatr. Gerontol.* vol.14, n.3, pp.567-577, 2011.
- (14) Uebelhart B, Silva BU, Fonseca J, Bock E, Leme J, da Silva C, Leão T. Study of a centrifugal blood pump in a mock loop system. *Artificial organs*, v. 37, n. 11, p. 946-949, 2013.
- (15) SAITO, Marcia Tiemi. Utilização de técnicas de análise de franjas para a avaliação de dimensões de lesões na pele. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- (16) E Bock, A Andrade, J Dinkhuysen, C Arruda, J Fonseca, J Leme. Introductory tests to in vivo evaluation: magnetic coupling influence in motor controller. *Asaio Journal*, v. 57, n. 5, p. 462-465, 2011.
- (17) G Lopes, E Bock, L Gómez. Numerical Analyses for Low Reynolds Flow in a Ventricular Assist Device. *Artificial organs*, 41 (6), E30-E40, 2017.