

PHANTOM DE FLUXO DE BAIXO CUSTO PARA SIMULACÃO DE VASOS SANGUÍNEOS

LOW COST FLOW PHANTOM FOR BLOOD VESSEL SIMULATION IN MEDICAL IMAGING

Diego Henrique Justino[I]
Vanderson Cordeiro Lima[II]
Matheus Alvarez[III]
Luis Carlos Geron[IV]

A5. Automação e Controle Processos (ACP)
S5: Instrumentação

RESUMO

Este estudo aborda o desenvolvimento de um *Phantom* de fluxo artesanal em território sul-americano. Sendo *Phantom* de fluxo um dispositivo usado para simular o comportamento de fluidos em diferentes cenários, como testes de engenharia, pesquisa científica e desenvolvimento de produtos. Estes dispositivos têm um alto valor agregado e inacessíveis para muitos pesquisadores e engenheiros da região sul-americana. O objetivo deste projeto é propor uma solução econômica e viável para a construção de um *Phantom* de fluxo artesanal. Isso permitiria aos pesquisadores e engenheiros sul-americanos explorarem e desenvolver estudos relacionados à hidrodinâmica, acústica e transferência de calor de maneira mais acessível e independente, para alcançar esse objetivo, foram realizadas pesquisas detalhadas sobre os princípios de funcionamento dos *Phantoms* de fluxo convencionais e os materiais e componentes necessários para sua construção. Com base nessas informações, foram desenvolvidos protótipos preliminares utilizando tecnologias e materiais de baixo custo. Os resultados preliminares mostraram que é possível construir um *Phantom* de fluxo artesanal funcional e eficiente. A configuração proposta foi capaz de simular com sucesso os padrões de fluxo de fluidos em diferentes situações de teste, demonstrando seu potencial para aplicações em pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico. Este estudo contribui para a democratização do acesso a equipamentos de pesquisa de ponta em território sul-americano. A construção de um *Phantom* de fluxo artesanal pode incentivar a colaboração científica e tecnológica entre instituições e pesquisadores da região, promovendo avanços nas áreas de engenharia, ciências físicas e ciências da saúde.

Palavras-chave: Phantom de fluxo. Hidrodinâmica. Simulador. Fluxo sanguíneo. Ultrassom.

[I] Estudante do Curso superior de Tecnologia em Mecatrônica da Fatec de Sertãozinho. E-mail: diegostz.74@gmail.com
[II] Estudante do Curso superior de Tecnologia em Mecatrônica da Fatec de Sertãozinho. E-mail: vanderson.limaa93@gmail.com
[III]Físico Médico, Núcleo Médico e Radioproteção UNESP – Botucatu. E-mail: matheus.alvarez@unesp.br
[IV] Prof. Me da Fatec Sertãozinho. E-mail: luis.geron@fatec.sp.gov.br



ABSTRACT

This study addresses the development of an artisanal flow Phantom in South American territory. Flow Phantom is a device used to simulate the behavior of fluids in different scenarios, such as engineering tests, scientific research and product development. These devices have a high added value and are inaccessible to many researchers and engineers in the South American region. The objective of this project is to propose an economical and viable solution for the construction of a homemade flow Phantom. This would allow South American researchers and engineers to explore and develop studies related to hydrodynamics, acoustics and heat transfer in a more accessible and independent way. To achieve this goal, detailed research was carried out on the operating principles of conventional flow Phantoms and the materials and components necessary for its construction. Based on this information, preliminary prototypes were developed using low-cost technologies and materials. Preliminary results showed that it is possible to build a functional and efficient artisanal flow Phantom. The proposed configuration was able to successfully simulate fluid flow patterns in different test situations, demonstrating its potential for applications in scientific research and technological development. This study contributes to the democratization of access to cutting-edge research equipment in South American territory. The construction of an artisanal flow Phantom can encourage scientific and technological collaboration between institutions and researchers in the region, promoting advances in the areas of engineering, physical sciences and health sciences.

Keywords: Flow phantom. Hydrodynamics. Simulator. Blood flow. Ultrasound.

Data de submissão do artigo: 15/07/2023.
Data de aprovação do artigo: 25/10/2023.
DOI: 10.33635/sitefa.v1i1.271

1 INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares (DCVs) dominam as estatísticas de mortalidade global, e o panorama não é diferente no Brasil, onde ultrapassam 300 mil fatalidades anualmente, representando uma parcela substancial das causas de morte (Ministério da Saúde, 2021). A capacidade de detectar precocemente tais enfermidades não só facilita um diagnóstico acertado como também potencializa a eficácia dos tratamentos e otimiza as terapias existentes.

Em termos de diagnóstico, a medicina tem se beneficiado amplamente das técnicas de imagens médicas. Notavelmente, no espectro cardiovascular, a ultrassonografia *doppler* tem sido aclamada por sua relevância na avaliação integral do sistema cardiovascular (Silva *et al.*, 2018).

Assegurar a integridade e fidedignidade dessas abordagens diagnósticas é um imperativo, e é neste contexto que o Controle de Qualidade (CQ) se torna um pilar central. A ANVISA, por meio da Instrução Normativa No 96/2021, institui a compulsoriedade do CQ em dispositivos de ultrassonografia, enfatizando a imperatividade da avaliação sistemática da eficácia de imagem e precisão diagnóstica (Brasil, 2021). O processo de CQ não é apenas uma prática ritualística, mas uma avaliação meticulosa que engloba desde a obtenção de imagens em *phantoms* médicos até a análise crítica de parâmetros essenciais, como nitidez, contraste e acurácia de medidas (Alves *et al.*, 2017), contudo, enfrentamos uma lacuna no mercado nacional: a escassez de *phantoms* de fluxo com a complexidade e precisão necessárias para



simular fielmente as particularidades do fluxo sanguíneo humano. Esse vácuo técnico compromete a calibração adequada das modalidades de imagem em fluxo e a consolidação de padrões robustos para as verificações habituais de CQ (Costa *et al*., 2019). Isso destaca a necessidade urgente de conceber *phantoms* de fluxo autóctones que cumpram com os critérios rigorosos estabelecidos e promovam uma avaliação ampla e precisa das técnicas de imagem.

Este estudo propõe um caminho pioneiro, abordando o design e implementação de um *Phantom* de Fluxo de produção artesanal, especificamente concebido para o contexto brasileiro. A aspiração central é orquestrar uma alternativa econômica e prática, edificando um simulador com atributos semelhantes aos do fluxo sanguíneo humano, utilizando recursos e materiais endógenos à região.

2 RELEVÂNCIA DO MEDIDOR DE FLUXO: CONTEXTUALIZANDO AS DOENÇAS CARDIOVASCULARES E A MEDICINA DIAGNÓSTICA

O medidor de fluxo desempenha um papel fundamental na área da medicina diagnóstica, especialmente quando se trata de doenças cardiovasculares. As doenças do coração e vasos sanguíneos representam uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo, tornando o diagnóstico precoce e preciso uma prioridade crítica para profissionais de saúde e pacientes.

2.1. Contextualização das doenças cardiovasculares e a ascensão da ultrassonografia como ferramenta diagnóstica

As doenças cardiovasculares (DCVs) compreendem uma série de patologias que comprometem a integridade do sistema cardiovascular, com impactos significativos na saúde pública global. As implicações destas doenças, em termos de morbidade e mortalidade, ressaltam a necessidade imperativa de ferramentas diagnósticas precisas. Uma dessas ferramentas é a Ultrassonografia, que, por meio da técnica *Doppler*, possibilita a visualização detalhada e em tempo real das estruturas cardíacas, bem como uma análise minuciosa do fluxo sanguíneo, a literatura científica, como exemplificado pelo estudo de (Stein *et al.*, 2020), consolidou a ultrassonografia como método de excelência no diagnóstico de variadas DCVs, desde doença arterial coronariana a condições valvulares. A especialização *Doppler*, por sua vez, tem sido apontada como uma ferramenta primordial na avaliação hemodinâmica e no estudo profundo das características do fluxo sanguíneo (Nanda *et al*., 2020).

2.2. A qualidade em foco: avaliando o desempenho dos equipamentos ultrassonográficos

Para que o diagnóstico por ultrassom alcance seu potencial máximo, a manutenção e monitorização contínua da qualidade dos equipamentos é de suma importância. O Controle de Qualidade (CQ) surge como um baluarte neste processo, estabelecendo padrões rígidos e procedimentos que garantem a excelência dos exames ultrassonográficos. Através deste controle, avaliam-se parâmetros técnicos que vão desde a resolução espacial até a sensibilidade do *Doppler*, garantindo resultados consistentes e precisos.

A literatura médica, exemplificada pelo trabalho de Rumack, Levine e Wilson (2018), defende com veemência a incorporação de protocolos rígidos de CQ, afirmando a necessidade de garantir que os resultados obtidos pelos equipamentos de ultrassom sejam não apenas precisos, mas também confiáveis.



2.3. A arte da medição: fluxo sanguíneo e sua quantificação via ultrassonografia *doppler*

A capacidade de quantificar o fluxo sanguíneo através da Ultrassonografia *Doppler* é uma verdadeira revolução na medicina diagnóstica. Tal método avalia, com precisão, a velocidade, direção e volume do fluxo sanguíneo, permitindo uma compreensão aprofundada das condições hemodinâmicas do paciente. Estudos recentes, como o realizado por (Tessler *et al*., 2019), realçam a relevância de técnicas refinadas para a coleta e análise corretas do fluxo sanguíneo, sublinhando sua importância no diagnóstico e acompanhamento de patologias cardiovasculares.

2.4. A fronteira da precisão: o papel dos simuladores de fluxo sanguíneo na padronização de testes de desempenho

No contexto da avaliação de desempenho dos equipamentos ultrassonográficos, os simuladores de fluxo sanguíneo surgem como ferramentas essenciais. Estes dispositivos permitem a simulação padronizada de fluxos sanguíneos, oferecendo uma base sólida para a calibração e avaliação dos dispositivos ultrassonográficos. O estudo de (Tsang *et al*., 2020) ilustra o desenvolvimento de simuladores específicos que reproduzem fielmente as características do fluxo sanguíneo humano, salientando sua importância no cenário de testes de desempenho e na garantia da excelência diagnóstica.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E METODOLOGIA DA PESQUISA

Para dar início ao projeto foi realizada uma extensa revisão bibliográfica para obter conhecimento aprofundado sobre os princípios de funcionamento dos *Phantoms* de fluxo convencionais, os materiais e componentes utilizados em sua construção, bem como as aplicações e estudos relacionados na área de comportamento de fluidos. características técnicas e operacionais de máquinas, equipamentos e softwares, os experimentos realizados em campo, nas fábricas, nos laboratórios são exemplos que contemplam a metodologia de um trabalho científico.

3.1 Materiais

Para a construção do simulador de fluxo sanguíneo, foram utilizados os seguintes materiais:

1.Bomba d'água: Foi utilizada uma bomba d'água de baixo custo, facilmente encontrada em lojas de materiais de construção. Essa bomba permitiu a criação de um fluxo contínuo e controlado para simular o fluxo sanguíneo nos vasos.

2.Controlador PWM (*Pulse WidthModulation*): Foi utilizado um controlador PWM para regular a velocidade da bomba d'água. Isso possibilitou ajustar a velocidade do fluxo sanguíneo de acordo com as necessidades do teste.

3.Fonte de Alimentação: Uma fonte de alimentação de 12V e 5A foi utilizada para fornecer energia tanto para a bomba d'água quanto para o controlador PWM.

4.Tubos: Tubos de silicone transparente foram utilizados para conectar a bomba d'água aos vasos sanguíneos simulados no interior do simulador. Esses tubos permitiram a circulação do líquido simulador.

5.Impressora 3D: Foi utilizada uma impressora 3D modelo *Ender*



6. Para a confecção das estruturas do simulador. Essa impressora permitiu criar o molde e furações precisos e personalizados para posterior simulação dos vasos sanguíneos e tecidos.

7.Para o preenchimento do simulador de tecido, foi utilizada uma mistura de glicerina, gelatina incolor e água. Essa combinação proporcionou uma substância que apresenta características acústicas e viscosidade similares ao sangue humano, permitindo a simulação do fluxo sanguíneo com maior fidelidade.

Identificação de materiais e Componentes Pesquisar e identificar os materiais e componentes facilmente disponíveis na região sul-americana que possam ser utilizados na construção do *Phantom* de fluxo artesanal. Considerar critérios como custo, acessibilidade, durabilidade e disponibilidade desses materiais.

Após pesquisas de mercado e estudos.

3.2 Métodos

O desenvolvimento do simulador de fluxo sanguíneo e a validação das medidas foram realizados seguindo os seguintes passos:

1.Confecção das estruturas do simulador: Utilizando a impressora 3D modelo Ender 6, foram produzidos os modelos dos vasos simulados. A geometria desejada foi levada em consideração para garantir a semelhança com as estruturas reais do sistema vascular.

2.Montagem do sistema de fluxo: A bomba d'água foi conectada aos tubos de silicone, que por sua vez foram conectados aos vasos simulados no interior do simulador. O controlador PWM foi utilizado para controlar a velocidade da bomba e, consequentemente, o fluxo sanguíneo simulado.

3.Preparação do simulador de tecido: A mistura de glicerina, gelatina incolor e água foi cuidadosamente preparada e injetada nos vasos sanguíneos e tecidos simulados. Esse preenchimento foi feito de maneira a garantir que o simulador apresentasse características acústicas e viscosidade próximas às do sangue humano.

4.Validação das medidas: Para validar as medidas de fluxo sanguíneo obtidas pelo simulador desenvolvido, foi utilizado um equipamento de ultrassom *GeVolusonS8*. As medidas de fluxo sanguíneo foram realizadas tanto no simulador desenvolvido neste trabalho quanto em um Phantoma de ultrassom comercialmente disponível (*Sun Nuclear* 403D). Essas medidas foram comparadas para avaliar a precisão e a confiabilidade do simulador.

Com base nas informações obtidas na revisão bibliográfica e na identificação de materiais, projetar e construir protótipos preliminares do *Phantom* de fluxo artesanal. Utilizar tecnologias e técnicas de baixo custo, adaptando os princípios dos *Phantoms* de fluxo convencionais para a construção caseira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a abordagem de fabricação descrita neste estudo, foi possível desenvolver um protótipo funcional que permitiu a aquisição de imagens de teste. Para este propósito, utilizou-se um aparelho de ultrassom do modelo *GE Voluson* S8.

O molde impressora em 3D encontra-se explícito da Figura 1.

O protótipo desenvolvido pelo grupo de pesquisa apresentou resultados visuais altamente satisfatórios em comparação com um fantoma (*Sun Nuclear* 403D) cedido para fins de teste, não revelando discrepâncias significativas. Isso sugere que o protótipo é eficaz na captura de imagens de forma confiável e precisa, validando sua utilidade potencial em

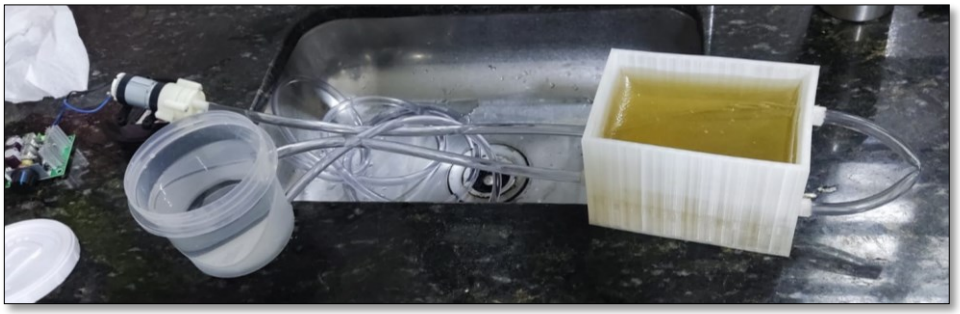
aplicações clínicas e de pesquisa. Estes resultados promissores destacam a relevância do método de fabricação apresentado neste artigo na produção de dispositivos médicos avançados para aquisição de imagens médicas.

Figura 1 – Estrutura impressa 3D



Fonte: autores (2023)

Figura 2 – Protótipo montado



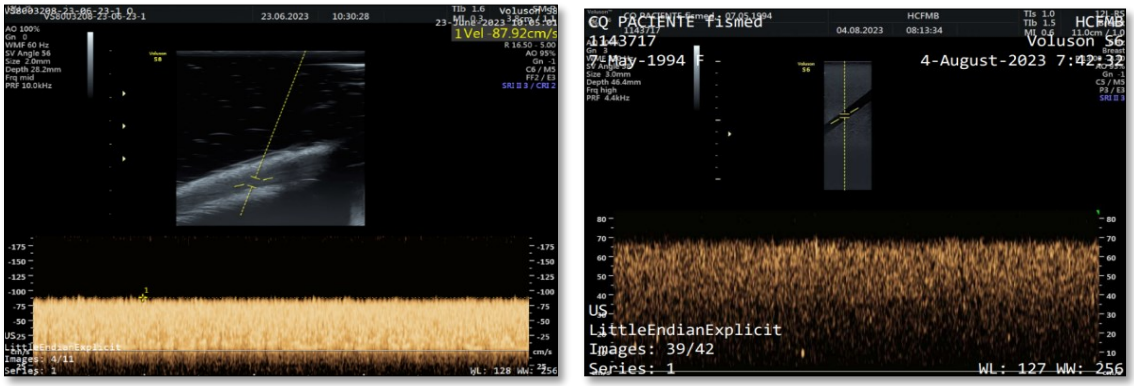
Fonte: autores (2023)

Figura 3 – Simulador de tecido



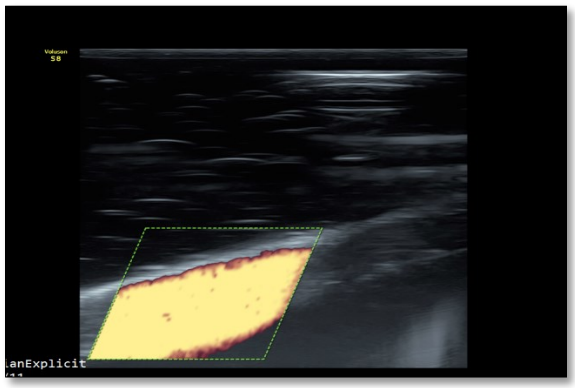
Fonte: autores (2023)

Figura 4 – Comparação de captação de Doppler (Ultrassom Voluson S8) por um fantoma comercial da SunNuclear 403 D (esquerda) e do fantoma artesanal (esquerda)



Fonte: autores (2023)

Figura 5 – Imagem do sistema de fluxo captado pelo Ultrassom



Fonte: autores (2023)

5 CONCLUSÃO

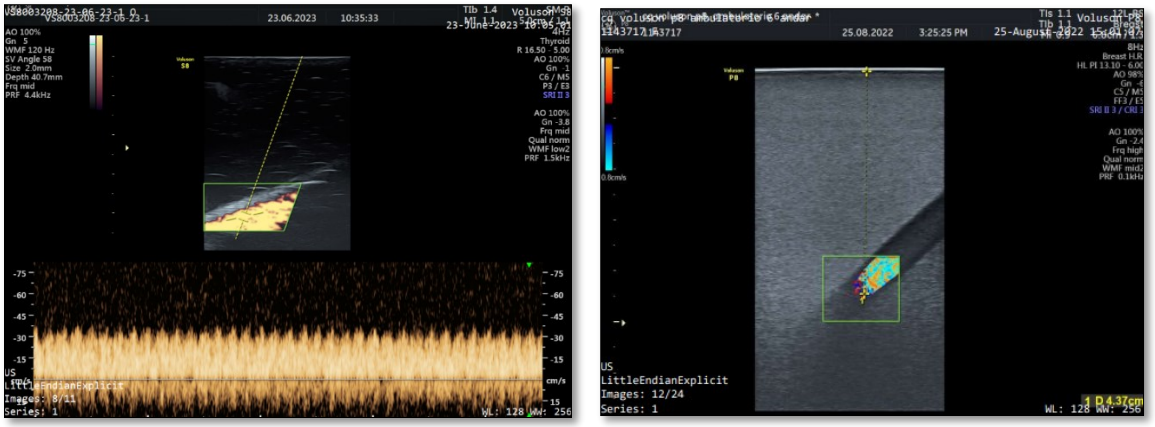
Em síntese, a investigação da viabilidade da produção de um Phantoma de Fluxo utilizando gelatina implica diversos desafios. Este artigo focou principalmente nos estágios iniciais desse experimento, mas ficou evidente que a gelatina oferece uma plataforma acessível e adaptável para tal exploração.

Todavia, é crucial destacar que a gelatina, por si só, não constitui uma base suficiente para a criação de um Phantoma de Fluxo funcional. Diversos aspectos técnicos e científicos precisariam ser minuciosamente analisados, incluindo a estabilidade da gelatina em condições de alta temperatura e pressão, nesta pesquisa preliminar, destacamos a confecção de um Phantoma acessível que pode ser usado em testes iniciais. No entanto, é fundamental reconhecer a importância de prosseguir com este projeto, visando aprimorar a viabilidade e durabilidade do produto a longo prazo.

Em última análise, à medida que continuamos a explorar novos materiais e conceitos na busca por avanços científicos, é imperativo manter um espírito de curiosidade e inovação que pode, no futuro, resultar em descobertas verdadeiramente surpreendentes.



Figura 6 – Captação de Collor Doppler. Comparação entre o modelo Sun Nuclear (403D) – direita – e o fantoma artesanal (esquerda)



Fonte: Fonte: autores (2023)

REFERÊNCIAS

ALVES, A. R. N; PINTO, I. M. C; da SILVA, T. A. L; FRAZÃO, C. M. F. Q; & da SILVA, A. C. Controle de qualidade em ultrassonografia: importância e procedimentos. **Revista Pan-Amazônica de Saúd**e, 8(2), p.69-78, 2017.

BRASIL. Instrução normativa - in nº 96, de 27 de maio de 2021. **Diário Oficial da União.** Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-96-de-27-de-maio-de-2021-323003884. Acesso em: 19 jan. 2022.

COSTA, I. L; MACEDO, R. C; OLIVEIRA, G. A; CORREIA, D. M; & SAMPAIO, L. R. Phantoms para avaliação do fluxo sanguíneo em ultrassonografia. **Radiologia Brasileira,** 52(2), p.127-131,(2019).

GAMA, R. R; BATISTA, L. A; BARRETO, A. R., SANTOS, F. P; ROCHA, L. B; SOUSA, F. D; & BARROS, A. M. Aplicações da Ressonância Magnética na Cardiologia. **Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva**, 28(3), 253-260, (2020).

NANDA, N. C; SINHA, S. K; PANDA, S; & MAHAJAN, A. Doppler ultrasound in cardiovascular diseases: Current status and future perspectives. **Journal of Clinical Imaging Science,** 10, 1, (2020).

RUMACK, C. M., LEVINE, D; & WILSON, S. R. (2018). **Diagnostic ultrasound** (5th ed.). Elsevier, (2018).

STEIN, P. D; BEEMATH, A., MATTA, F; WEG, J. G; YUSEN, R. D; & HALES, C. A. Clinical characteristics of patients with acutepul monary embolism: data from PIOPED II. **The American Journal of Medicine**, 123(3), p.244-253, (2020). Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17904458/. Acesso em: 24 jan 2022



SILVA, D. S; LIRA, D. A. D; ARAÚJO, J. F. D; SOUSA, M. D; & BRANCO, J. R. Ultrassonografia Doppler na avaliação do sistema cardiovascular. **Revista Baiana de Saúde Pública**, 42(2), 395-408, (2018).

TESSLER, F. N; MIDDLETON, W. D; GRANT, E. G; & BARRETO, J. E. **Ultrasound Doppler: Physics and instrumentation. In Clinical Doppler Ultrasound** (4th ed., pp. 21-54). Elsevier, (2019).

TSANG, W; ZHANG, W; SCHARFSCHWERDT, M; HOSKINS, P. R; & RAMNARINE, K. V. **Quantitative comparison of different** Doppler ultrasound velocity estimation techniques using a flow phantom. Ultrasound in Medicine & Biology**,** 46(5), 1250-1263, (2020).