



# VÁLVULA PROPORCIONAL PARA CONTROLE DE POSITIVE END-EXPIRATORY PRESSURE (PEEP) NO VENTILADOR INOVAR

*Proportional valve for positive end-expiratory pressure (PEEP) control in the INOVAR -  
pulmonary ventilator*

Leonardo A. do Cati (orientado)\*, Willian R. B. M. Nunes (orientador)†,

Vinícius D. Bacon (a)‡, Carlos M. R. de Oliveira §

## RESUMO

Diante o contexto da pandemia do COVID-19 ficou evidente o suprimento de equipamentos de ventilação para suprir as demandas das unidades de terapia intensiva em todo mundo. As universidades estão trabalhando no desenvolvimento de protótipos de baixo custo e fácil acesso. Inicialmente, a grande maioria dos projetos se constituía de uma unidade manual de respiração mais conhecidas como “AMBU”, ou seja, equipamento composto por um balão, uma válvula unidirecional, válvula para reservatório, máscara facial e um reservatório, tendo seu uso apenas em caráter emergencial. Com uma proposta diferenciada, o projeto de extensão InovAr propôs uma solução eletropneumática com circuitos adequados para a mistura de ar e oxigênio e controle das variáveis básicas de ventilação mecânica, por meio de uma válvula esfera, um servo motor e um microcontrolador. Com as soluções desenvolvidas foi possível mensurar o volume e percentual de mistura de ar inspirado, regular e controlar a pressão expiratória utilizando uma válvula proporcional.

**Palavras-chave:** COVID-19, ventilador, válvula proporcional.

## ABSTRACT

In the context of the COVID-19 pandemic, the supply of ventilation equipment to meet the demands of intensive care units around the world was evidenced. Universities have developed low-cost and affordable prototypes. Initially, the vast majority of the projects consisted of a manual unit of breathing, that is, equipment composed of a balloon, a unidirectional valve, valve for reservoir, face mask and a reservoir, having its use only in emergency situation. From a differentiated proposal, the InovAr extension project executed an electropneumatic solution with circuits suitable for mixing air and oxygen and control of the basic variables of mechanical ventilation, by means of a ball valve, a servo motor and a microcontroller. These solutions made it possible to measure the volume and percent mixture of inspired air, regulate and control the inspiratory and expiratory pressure using a proportional valve.

**Keywords:** COVID-19, ventilator, proportional valve.

\* Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil; [leo-ducatti@hotmail.com](mailto:leo-ducatti@hotmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil; [willianr@utfpr.edu.br](mailto:willianr@utfpr.edu.br)

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil; [viniciusbacon@utfpr.edu.br](mailto:viniciusbacon@utfpr.edu.br)

§ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil; [carlosoliveira@utfpr.edu.br](mailto:carlosoliveira@utfpr.edu.br)



## 1 INTRODUÇÃO

Diante o contexto de pandemia ficou evidente a necessidade de equipamentos de ventilação mecânica para suprir as demandas dos hospitais em todo o mundo. A dificuldade encontrada para isto foi o baixo número de ventiladores disponíveis e itens de consumo para a produção.

De acordo com dados do Ministério da Saúde, o Brasil conta com cerca de 79 mil ventiladores, um número preocupante se comparado com a velocidade em que o vírus vem se espalhando no país. No início da pandemia o país contava com cerca de 65 mil ventiladores, sendo 46 mil disponíveis no SUS. A expectativa é tornar disponível o quantitativo de aproximadamente 82 mil ventiladores.

As universidades trabalharam em projetos buscando desenvolver ventiladores de baixo custo, destaque para Escola Politécnica da USP com o projeto INSPIRE, que é um ventilador econômico para produção em até duas horas, com custo em média 15 vezes mais barato que os ventiladores convencionais (YAMAMOTO, 2020). Vale destacar ainda outros projetos brasileiros, tais como: GEPEC-VENT (UFRGS, 2020), VExCO (CAMPOS, 2020), Fasten-Vita (RPC, 2020), Vent-U (UTFPR, 2020), COLLAB (RPC, 2020).

Grande parte dos projetos utilizam uma unidade manual de respiração, ou respirador manual, mais conhecido como “AMBU”. Esse equipamento é composto por um balão, uma válvula unidirecional, válvula para reservatório, máscara facial e um reservatório. Segundo a ANVISA (2020) os equipamentos de suporte respiratório emergencial e transitório tipo “ambu automatizado”, não podem ser comparados à complexidade da concepção e fabricação de um ventilador pulmonar. Neste sentido, pesquisadores buscaram responder a seguinte pergunta: é possível desenvolver uma solução inovadora, de baixo custo, para ventilação mecânica de indivíduos atendendo os requisitos da ANVISA? Como reinventar itens comerciais que compõe um sistema de ventilação mecânica? É possível realizar o controle de pressão a partir de uma válvula alternativa?

A proposta do projeto InovAr, realizado pelos autores deste trabalho, consistiu em desenvolver um ventilador pulmonar, cuja solução é eletropneumática com circuitos adequados para misturar ar e oxigênio, controlar variáveis básicas de ventilação mecânica, tais como volume, percentual de mistura de ar inspirado e regular a pressão expiratória do indivíduo.

A pressão positiva expiratória final, também conhecida como PEEP (do inglês, *Positive End-Expiratory Pressure*) consiste em uma forma de aplicar resistência a fase expiratória objetivando a abertura de unidades pulmonares mal ventiladas ou mesmo a manutenção desta abertura por mais tempo visando melhorar a oxigenação por implementar a troca gasosa.

O principal efeito da PEEP é o de aumentar a capacidade residual funcional (CRF). Estudos “*in vivo*” feitos por Daly e colaboradores mostram que há um aumento linear no diâmetro alveolar com PEEP de 0 a 10 cmH<sub>2</sub>O, de 10 a 15 cmH<sub>2</sub>O há um aumento menor do diâmetro e acima de 15 cmH<sub>2</sub>O a pressão alveolar aumenta sem diferença mensurável no diâmetro alveolar. Outro ponto importante relacionado ao uso da PEEP é a alteração do volume de fechamento onde a PEEP evitaria o fechamento da pequena via aérea em regiões do pulmão dependentes da gravidade, que tende a colapsar com baixos volumes pulmonares. Com o emprego da PEEP pode-se restringir a FiO<sub>2</sub> a valores seguros para se obter uma PaO<sub>2</sub> adequada.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um arranjo de válvula proporcional para regular a pressão ou fluxo de ventiladores mecânicos, que pode ser utilizada sobre um ponto de operação linear e proporcionar resultados satisfatórios em malha fechada.



## 2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA

Este estudo foi realizado a partir de uma busca de dispositivos que pudessem atender a finalidade de regulação de pressão e/ou fluxo de ar a partir do sensoriamento da linha. O sistema proposto foi projetado baseado em uma válvula esfera, um servomotor e um sistema eletrônico microcontrolado para monitoramento da pressão e/ou fluxo. O servomotor utilizado é o MG996R com engrenagem metálica e modulação analógica, com especificações técnicas conforme Tab. 1. O microcontrolador utilizado para a prototipagem de ensaios foi a plataforma ARDUINO UNO. Para monitoramento da pressão foi utilizado o sensor de pressão piezoresistivo de silício da série MPX10DP com especificações técnicas conforme a Tab. 2.

**Tabela 1 – Especificações técnicas do servomotor MG996R.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Tensão de operação	4,8 – 7,2VDC
Corrente de operação	500mA-900mA (6V)
Torque	9,4 Kg/cm (4,8VDC) / 11 Kg/cm (6VDC)
Velocidade de operação	0,17s/60° (4,8VDC) / 0,13s/60° (6VDC)
Faixa de rotação	180°
Temperatura de operação	0° a 55°C

**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela 2 – Especificações técnicas do sensor de pressão MPX10DP.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Tensão de operação	3 – 6VDC
Corrente de operação	6mA (3V)
Pressão	0 – 10kPa
Tensão de saída	0 – 35mV
Sensibilidade	3,5mV/kPa
Temperatura de operação	-40° a 125°C

**Fonte: Autoria própria (2021).**

A avaliação do fluxo de ar foi por meio do fluxostato SMC PFM711-C8-F. O fluxostato possui um display que permite acompanhar visualmente o valor de fluxo, bem como uma saída analógica em corrente de 4 a 20 mA. Inserindo um resistor de 250Ω converte-se para um sinal analógico de tensão de 1 a 5V, correspondendo proporcionalmente ao valor de fluxo de 0 a 100 L/min.

Além disso, foi utilizado uma fonte de tensão ATX para alimentação do sistema e um multímetro ET-1649. Com o auxílio de datasheets e um paquímetro, as dimensões foram tomadas para a realização dos desenhos. Os desenhos do servomotor, a válvula esfera e o sensor de pressão foram feitos nos softwares Autodesk Inventor™ e o AutoCAD™.



Com os desenhos realizados, foi projetado um acoplamento para realizar o encaixe do servomotor com válvula. Após o desenvolvimento do acoplamento utilizou-se o software Cura para realizar a conversão do formato do arquivo, possibilitando a impressão 3D e validação da montagem.

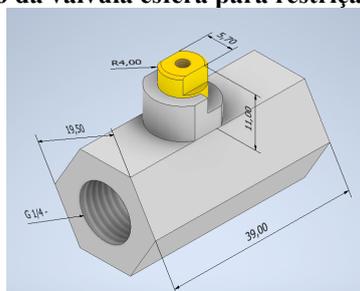
Após a prototipação, foram executados ensaios do sistema em malha aberta para verificação do acionamento do servomotor, script para monitoramento da pressão e fluxo do sistema na região de interesse para o PEEP.

### 3 RESULTADOS

A primeira etapa de desenvolvimento consistiu em realizar os desenhos do projeto. A Fig. 1 ilustra a válvula esfera, utilizada para restringir o fluxo de ar do sistema pneumático. Além disso, foi desenvolvido um encaixe para acoplamento do servomotor com a válvula esfera em uma caixa impressa, conforme ilustrado na Fig. 2.

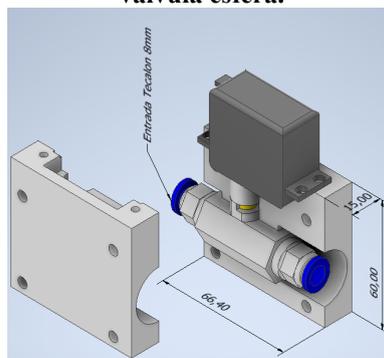
Para avaliação da pressão do sistema foi desenvolvido um encaixe para conector pneumático. O ensaio do sistema consistiu na avaliação do comportamento da servoválvula desenvolvida operando em malha aberta, conforme indicado na Fig. 3. Nesta operação o ar provindo de um compressor de ar foi inserido e regulado em pressão positiva de aproximadamente 1.0 bar, por meio de um regulador de pressão. Sob pressão regulada, o fluxo de ar foi ajustado nos ensaios por meio de um regulador de fluxo para uma região adequada de operação do sistema. Com o fluxo de ar ajustado realizou-se a restrição de ar por meio da servoválvula.

**Figura 1 - Projeto e especificação da válvula esfera para restrição de fluxo do sistema pneumático.**



Fonte: Autoria própria (2021).

**Figura 2 - Projeto e especificação de dimensões de caixa de suporte para acoplamento do servomotor com a válvula esfera.**



Fonte: Autoria própria (2021).



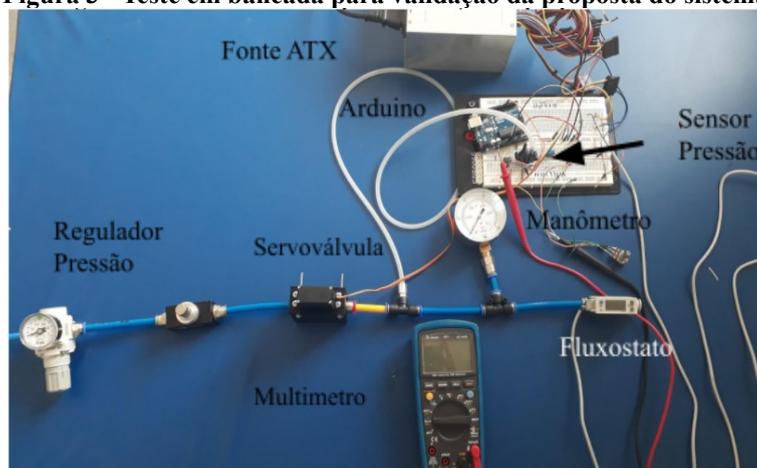
A operação da servoválvula alcançou a performance esperada de acordo com o *script* desenvolvido para o microcontrolador. Neste algoritmo realiza-se a leitura do sinal analógico por meio do conversor analógico-digital (AD). Com o sinal discretizado em amplitude e no tempo, realiza-se o mapeamento do sinal para valores de largura de pulso (PWM, do inglês *Pulse Width Modulation*) para o servomotor efetuar o controle do posicionamento da servoválvula.

Para a operação adequada do sistema, a servoválvula possui uma região na qual os valores de pulso realizam a abertura total e fechamento total da válvula esfera. Valores de PWM não pertencentes a esta região acarretam um comportamento inválido e inesperado no servomotor, tal como um torque excessivo e rotação em vazio.

Com os ensaios realizados notou-se que a proposta é adequada para controle proporcional de fluxo, apresentando um *span* compatível para a operação do sistema pneumático. Porém para o *range* de pressão PEEP, a proposta apresenta uma forte não linearidade que dificulta o controle em malha fechada para uma região de operação mais ampla do sistema. Para lidar com a não-linearidade do sistema vislumbra-se realizar uma representação baseada na modelagem *fuzzy* Takagi-Sugeno e propor técnicas de controle robusto.

Vale ressaltar que o protótipo do ventilador InovAr possui uma interface homem máquina que permite visualizar as variáveis do sistema. Foram produzidas duas versões de protótipo com custo de materiais de consumo estimado em cinco mil reais. Maiores detalhes sobre o protótipo do ventilador InovAr podem ser encontrados em Nunes et. al. (2021).

**Figura 3 - Teste em bancada para validação da proposta do sistema.**



Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4 CONCLUSÃO

Através deste estudo foi possível projetar um dispositivo de controle proporcional do fluxo no ramo PEEP do ventilador. Os resultados obtidos indicam a viabilidade da servo-válvula operar em malha fechada realizando o sensoriamento do fluxo de ar, também permitindo ser utilizada nos ramos de ar e oxigênio do ventilador. O custo de uma válvula proporcional comercial é relativamente alta, enquanto que neste projeto o sistema projeto possui um custo bem menor e que a torna atrativa como solução em aplicações para controle de fluxo em processos industriais.



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Por fim, vislumbra-se realizar ajustes na proposta desenvolvida visando a difusão de uma tecnologia para o mercado com alguns atrativos e diferenciais para válvulas de controle industrial, possibilitando o registro de patente futuro para universidade.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Willian Ricardo Bispo Murbak Nunes, pela sua disponibilidade e incentivo que foram fundamentais para realizar e prosseguir este estudo, mesmo diante do período de pandemia. A UTFPR pelo apoio e financiamento concedido para a execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ANVISA. Resolução RDC n.º 386, de 15 de maio de 2020. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-386-de-15-de-maio-de-2020-258335933>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

CAMPOS, A. C. Ventiladores pulmonares para covid-19 são testados com sucesso na UFRJ. **Agência Brasil**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2020-07/ventiladores-pulmonares-para-covid-19-sao-testados-com-sucesso-na-ufrj>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

RPC. Coronavírus: Universidade desenvolve respirador de baixo custo no Paraná. **RPC Curitiba**. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2020/05/23/coronavirus-universidade-desenvolve-respirador-de-baixo-custo-no-parana.ghtml>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

NUNES, W. R. B. M et al. Inovar: ventilador pulmonar com sensoriamento de fluxo para COVID-19. *In: XLIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2021, Belo Horizonte. Anais...* Belo Horizonte: ABENGE, 2021.

UFRGS. Ventilador pulmonar proposto pela UFRGS é de baixo custo, fácil montagem e simples manutenção. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/coronavirus/base/ventilador-pulmonar-proposto-pela-ufrgs-e-de-baixo-custo-facil-montagem-e-simples-manutencao/>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

UTFPR. Grupo de pesquisadores apresenta ventilador pulmonar de baixo custo. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Disponível em: <http://portal.utfpr.edu.br/noticias/geral/covid-19/grupo-de-pesquisadores-apresenta-ventilador-pulmonar-de-baixo-custo>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

YAMAMOTO, E. Anvisa autoriza produção e doação do ventilador pulmonar Inspire. **Universidade de São Paulo**. Disponível em: <https://jornal.usp.br/institucional/anvisa-autoriza-producao-e-doacao-do-ventilador-pulmonar-inspire/>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.