

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

ESTUDO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA EM SISTEMAS DE CONTROLE FISIOLÓGICO MULTIOBJETIVOS PARA DISPOSITIVOS DE ASSISTÊNCIA VENTRICULAR

MARIANA PAES DORNELLAS¹, TARCÍSIO FERNANDES LEÃO²

1 Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista CNPq, IFSP, Campus São Paulo, mari.paesdornellas@gmail.com.

2 Engenheiro de Controle e Automação, IFSP, Campus São Paulo, leao@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.13.01.00-2 Engenharias

RESUMO: A Insuficiência Cardíaca (IC) é uma síndrome que compromete a capacidade do coração de realizar o bombeamento sanguíneo de forma adequada. Para os casos avançados de IC, o tratamento mais indicado é o transplante cardíaco. Como alternativa, Dispositivos de Assistência Ventricular (DAVs) podem ser utilizados clinicamente como forma de suporte circulatório. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um algoritmo de controle fisiológico multiobjetivo baseado na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) para aplicação em DAV, em ambiente computacional. A LPA tem sido amplamente aplicada em sistemas de controle que lidam com entradas contraditórias e imprecisas, por se basear na análise da contradição ou não contradição, diferentemente da lógica tradicional, para a tomada de decisões. O sistema foi desenvolvido no ambiente computacional de livre acesso Google Colab, utilizando a linguagem de programação Python, e resultou na publicação de um artigo, além de ter sido apresentado em congresso científico. Os resultados obtidos indicaram a viabilidade da aplicação do algoritmo baseado em LPA em sistemas de controle fisiológico multiobjetivo em DAV, contribuindo para o fortalecimento e a expansão da linha de pesquisa em controles fisiológicos aplicados a dispositivos de assistência ventricular.

PALAVRAS-CHAVE: Insuficiência Cardíaca; Dispositivo de Assistência Ventricular; Lógica Paraconsistente Anotada.

STUDY OF PARACONSISTENT ANNOTATED LOGIC IN MULTI-OBJECTIVE PHYSIOLOGICAL CONTROL SYSTEMS FOR VENTRICULAR ASSIST DEVICES

ABSTRACT: Heart failure (HF) is a syndrome that compromises the heart's ability to pump blood adequately. For advanced cases of HF, the most appropriate treatment is a heart transplant. As an alternative, Ventricular Assist Devices (VADs) can be used clinically as a form of circulatory support. The objective of this study was to develop a multi-objective physiological control algorithm based on Annotated Paraconsistent Logic (APL) for application in VADs in a computational environment. PAL has been widely applied in control systems that deal with contradictory and imprecise inputs, as it is based on the analysis of contradiction or non-contradiction, unlike traditional logic, for decision making. The system was developed in the open-access computational environment Google Colab, using the Python programming language, and resulted in the publication of an article, in addition to being presented at a scientific conference. The results indicated the feasibility of applying the LPA-based algorithm in multi-objective physiological control systems in DAV, contributing to the strengthening and expansion of the line of research in physiological controls applied to ventricular assist devices.

KEYWORDS: Heart Failure; Ventricular Assist Device; Paraconsistent Annotated Logic.

INTRODUÇÃO

A Insuficiência Cardíaca (IC) é uma síndrome que afeta 23 milhões de pessoas no mundo, com previsão de aumento de 46% até 2030 (Arruda et al., 2022). Causada por alterações cardíacas estruturais ou funcionais, leva à incapacidade de bombeamento adequado de sangue (Paulus et al., 2013). No Brasil, é a principal causa de hospitalizações no SUS, gerando custos de cerca de 3 bilhões de reais (Arruda et al., 2022). Em casos graves, o transplante cardíaco é o tratamento mais indicado, mas a escassez de órgãos leva ao uso de Dispositivos de Assistência Ventricular (DAVs), bombas implantadas que auxiliam a função ventricular (Cestari, 2017).

O ajuste de fluxo do DAV normalmente é feito apenas em consultas médicas, o que dificulta a adaptação do paciente e aumenta riscos como sucções ou congestões (Stephens et al., 2018). Diversos controladores fisiológicos foram propostos, mas apresentaram limitações, como incapacidade de funcionar em todas as condições ou necessidade de sensores adicionais (Stevens et al., 2018; Santos et al., 2019). Estratégias multiobjetivas recentes, baseadas em pressão cardíaca ou fuzzy logic, obtiveram bons resultados em testes computacionais e in vitro, mas a busca por algoritmos mais eficientes continua (Santos et al., 2023).

A Lógica Paraconsistente (LPA), criada por Newton da Costa, é um algoritmo não tradicional capaz de lidar com entradas contraditórias, atribuindo graus de certeza e incerteza (Abe et al., 2006). Já aplicada em controles industriais para válvulas, motores e sistemas de energia (Souto et al., 2016; Lourenço et al., 2023), a LPA mostrou-se eficaz para controlar o fluxo de fluídos sem custos adicionais com sensores. Assim, controladores multiobjetivos baseados em LPA são alternativas promissoras para otimizar o controle fisiológico de DAVs e melhorar a qualidade de vida de pacientes com IC.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho consistiu na aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA), criada por Newton da Costa na década de 1950, para desenvolver um sistema de controle fisiológico capaz de avaliar o estado do paciente com precisão e sem prejudicar sua qualidade de vida. A LPA permite lidar com informações contraditórias por meio da atribuição de graus de evidência favorável (μ) e desfavorável (λ), variando entre 0 e 1. A proposição analisada foi “O paciente está bem?”, considerando duas variáveis fisiológicas essenciais: frequência cardíaca (FC) e pressão arterial média (PAM), escolhidas por sua relevância clínica e interdependência.

Os valores dessas variáveis foram convertidos em graus de evidência com base em limites fisiológicos normais, definindo-se para a FC um intervalo de 60 bpm ($\mu = 0$) a 110 bpm ($\mu = 1$) e para a PAM de 90 mmHg ($\lambda = 0$) a 110 mmHg ($\lambda = 1$), com interpolação linear para valores intermediários. A partir desses dados, foram calculados o Grau de Certeza ($G_c = \mu - \lambda$) e o Grau de Incerteza ($G_i = \mu + \lambda - 1$), possibilitando a representação gráfica no Reticulado de Hasse, que classifica a proposição como verdadeira, inconsistente ou indeterminada.

Foi implementado um algoritmo computacional que recebe os dados fisiológicos, calcula μ e λ , determina G_c e G_i e posiciona logicamente o resultado no Reticulado de Hasse. O sistema permite avaliação em tempo real, com potencial para controle fisiológico automático, evitando intervenções invasivas ou desnecessárias. Testes simulando diferentes combinações de FC e PAM mostraram que valores normais indicam bom estado clínico, enquanto extremos ou contradições acionam alertas, permitindo ajustes seguros e mantendo o conforto do paciente.

Além do desenvolvimento do sistema, foi conduzido um levantamento sobre sistemas de controle e o funcionamento de dispositivos assistivos ventilatórios (DAV), fornecendo embasamento técnico e científico. Esse estudo resultou na publicação de um artigo em revista especializada e na apresentação em congresso internacional, reforçando a relevância e o rigor da pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no conceito de LPA, desenvolveu-se um algoritmo para gerar o Reticulado de Hasse em ambiente computacional. A proposição analisada foi: "*O paciente está bem?*", utilizando como variáveis a frequência cardíaca e a pressão arterial média, por serem fisiologicamente interdependentes e, em certos casos, contraditórias. Valores de referência foram estabelecidos: 110 bpm ($\mu=1$) e 60 bpm ($\mu=0$) para frequência cardíaca; 110 mmHg ($\lambda=1$) e 90 mmHg ($\lambda=0$) para pressão arterial.

Os testes apresentaram os resultados apresentados nas figuras 1 a 4:

- 1) Para Frequência cardíaca = 85mmHg e Pressão arterial média = 100mmHg.



FIGURA 1. Valores do grau de certeza e incerteza para a proposição 'O paciente está bem?' na condição descrita no item 1.

- 2) Frequência cardíaca = 60 mmHg e Pressão arterial = 90 mmHg , Frequência cardíaca = 110 mmHg e Pressão arterial = 110 mmHg e Frequência cardíaca = 110 mmHg e Pressão arterial = 90mmHg



FIGURA 2. Valores do grau de certeza e incerteza para a proposição ‘O paciente está bem?’ na condição descrita no item 2.

- 3) Frequência cardíaca = 85 mmHg e Pressão arterial = 90 mmHg e Frequência cardíaca = 85 mmHg e Pressão arterial = 110 mmHg.

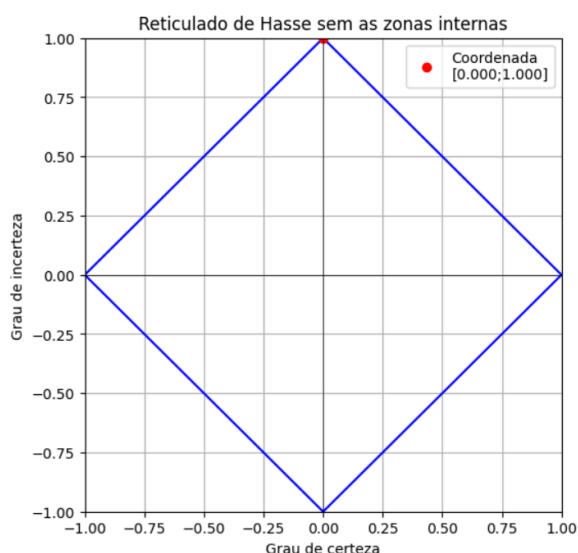


FIGURA 3. Valores do grau de certeza e incerteza para a proposição ‘O paciente está bem?’ na condição descrita no item 3.

- 4) Frequência cardíaca = 60 mmHg e Pressão arterial = 100 mmHg e Frequência cardíaca = 110 mmHg e Pressão arterial = 100 mmHg.

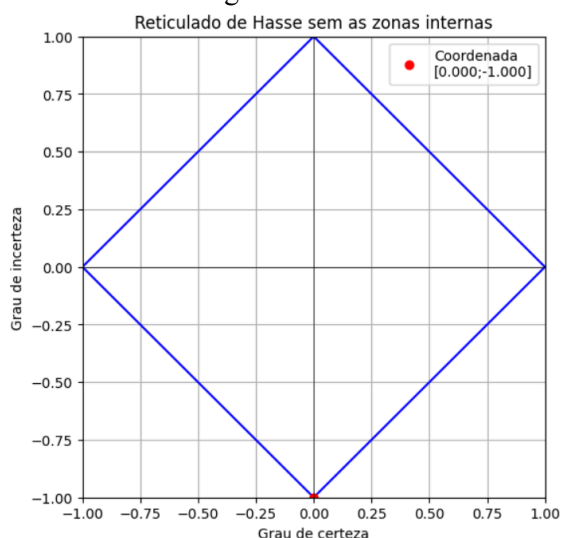


FIGURA 4. Valores do grau de certeza e incerteza para a proposição ‘O paciente está bem?’ na condição descrita no item 4.

CONCLUSÕES

Durante a realização do projeto, verificou-se que a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) foi criada na década de 1950 por Newton da Costa e difere-se da lógica tradicional por considerar apenas o princípio da contradição ou não contradição para tomada de decisões. Este princípio garante que uma vez tendo uma afirmação e a negação dessa afirmação, uma destas proposições é falsa.

Para analisar uma proposição utilizando a LPA é necessário a avaliação de um especialista que determina quanto a afirmação é verdadeira, gerando como resposta o Grau de Evidência Favorável $[\mu]$ da proposição, e quanto a afirmação é falsa, gerando como resposta o Grau de Evidência Desfavorável $[\lambda]$ da proposição. Tanto μ como λ variam entre o valor mínimo igual a 0 e o valor máximo igual a 1. Dessa forma toda proposição $[P]$ é formada por uma coordenadas igual a (μ, λ) .

Com base nas coordenadas da proposição P é possível inferir se uma proposição é falsa $[P=(0,1)]$, verdadeira $(P=[1,0])$, inconsistente $(P=[1,1])$, ou paracompleta $(P=[0,0])$. Sendo assim, graficamente uma proposição está contida no intervalo representado pela figura 5.

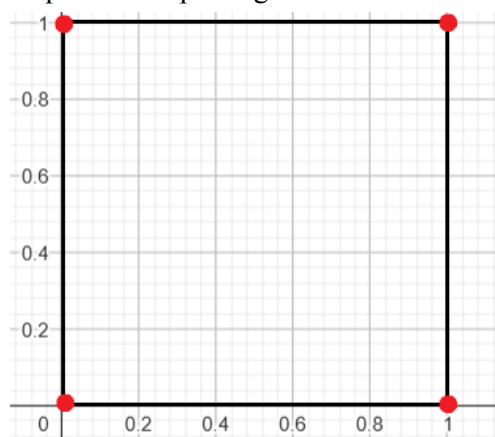


FIGURA 5. Expressão gráfica dos graus de evidência de uma proposição.

Além do grau de certeza favorável e desfavorável, as proposições podem ser expressas por meio do Grau de Certeza (Gc) e do Grau de Incerteza (Gi) que apresentam, compreendendo entre o valor mínimo de -1 e máximo de 1. Calculados por meio das equações 1 e 2, respectivamente, Gc e Gi são pontos representados em um gráfico denominado Reticulado de Hasse, responsável por caracterizar uma proposição. O Reticulado de Hasse encontra-se ilustrado na figura 6.

$$Gc = \mu - \lambda \quad (1)$$

$$Gi = (\mu + \lambda) - 1 \quad (2)$$

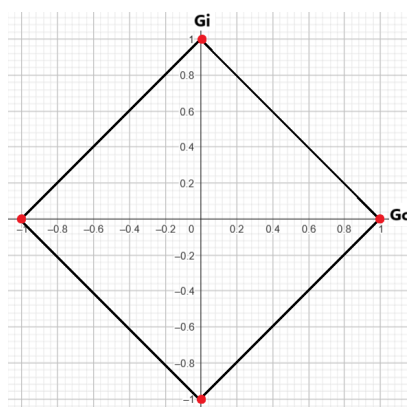


FIGURA 6. Reticulado de Hasse de uma proposição.

Após traçar o reticulado de Hasse para as condições descritas no item 1 a 4 dos resultados e discussões infere-se que, no primeiro teste, o paciente está bem, pois apresenta frequência cardíaca (FC) e pressão arterial média (PAM) dentro dos valores de referência. No segundo teste, observa-se que o paciente não está bem, uma vez que tanto a FC quanto a PAM encontram-se acima ou abaixo dos valores médios estipulados. Já no terceiro e no quarto teste, o algoritmo não consegue determinar com certeza o estado do paciente: no terceiro, a FC está moderada enquanto a PAM se encontra elevada ou baixa; no quarto, a PAM é moderada, mas a FC está elevada ou baixa, em ambos os casos em relação aos valores médios de referência.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

D.M.P e L.T.F desenvolveram em conjunto a revisão bibliográfica e o algoritmo utilizando Lógica Paraconsistente Anotada.

AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC e ao CNPq pela concessão da bolsa que possibilitou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

Abe, Jair. **Lógica Paraconsistente**. Seleção Documental: Inteligência Artificial e novas Tecnologias, n. 1, p. 5-10, 2006.

Arruda, Vilmezye L. M. et al. **Tendência da mortalidade por insuficiência cardíaca no Brasil: 1998 a 2019**. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 25, 2022.

Cestari, Virna R. F. et al. **Dispositivos de assistência ventricular e cuidados de enfermagem**. Texto & Contexto-Enfermagem, v. 26, p. e0980016, 2017.

Heart Failure Matters. **Dispositivos de Assistência do Ventrículo Esquerdo (DAVE)**. 2018. Disponível em: <https://www.heartfailurematters.org/pt-br/o-que-o-seu-medico-ou-enfermeiro-pode-fazer/dispositivos-de-assistencia-do-ventriculo-esquerdo-dave/>. Acesso em: 22 de abril de 2024.

Lourenço, Fabio; DA SILVA FILHO, João Inácio. **Gestão de ativos em concessionárias de energia elétrica: o uso de Sistema Especialista Paraconsistente para elevação de eficiência e qualidade através da predição**. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 9, p. 15625-15641, 2023.

Paulus, Walter J. et al. **A novel paradigm for heart failure with preserved ejection fraction: comorbidities drive myocardial dysfunction and remodeling through coronary microvascular endothelial inflammation**. Journal of the American College of Cardiology, v. 62, n. 4, p. 263-271, 2013.

Santos, Bruno J. et al. **Intelligent embedded system for physiological control of ventricular assist devices in health 4.0 Background**. International Journal of Advances in Medical Biotechnology - IJAMB, v. 5, n. 2, 2023.

Souto, V. F.; Pereira, J. W. R.; Nunes, V. C.; Leão, T. **Estudo de Malha de Controle Aplicando LPA2V na Válvula de Borboleta Utilizada em Motores de Combustão Interna**. In: 7º Congresso

de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP - CONICT, 2016, Matão. Anais do 7º Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP - CONICT, 2016. v. 1.

Stephens, Andrew et al. **In vitro evaluation of an adaptive Starling-like controller for dual rotary ventricular assist devices**. Artificial Organs, v. 43, n. 11, p. E294-E307, 2019.

Stevens, Michael C. et al. **Physiological control**. In: Mechanical Circulatory and Respiratory Support. Academic Press, 2018. p. 627-657.