

## ABORDAGENS PARA CONDICIONAMENTO DE SINAIS DE SENSOR DE PRESSÃO COM APLICAÇÃO EM INSTRUMENTAÇÃO MÉDICA

KAYRO BORGES MARIANO<sup>1</sup>, OSVANDRE ALVES MARTINS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, kayro.mariano@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Professor do EBTT, IFSP, Câmpus Votuporanga, osvandre@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 9.32.00.00-5 Robótica, Mecatrônica e Automação.

**RESUMO:** A medicina faz uso de uma série de instrumentos que auxiliam no monitoramento das condições de pacientes. Como componente fundamental de instrumentações biomédicas encontram-se sensores, principalmente, aqueles capazes de realizar a leitura de fenômenos físicos de baixa intensidade. A integração deste tipo de sensor como componente de uma solução de automação, na forma de equipamento médico-hospitalar, requer condicionamento de sinal adequado. Neste sentido, apresentam-se os detalhes de projeto e um estudo comparativo de abordagens empregadas no condicionamento de sinais de um sensor aplicável, por exemplo, em soluções de monitoramento da pressão intracraniana de pacientes acometidos por hidrocefalia. Circuitos foram modelados com base em três alternativas de amplificadores disponíveis e verificados empregando ferramentas de simulação e a técnica HIL (*Hardware-In-the-Loop*). Nestes testes verificaram-se os níveis de tensão e de ganho obtidos com base em cada abordagem, possibilitando a escolha da alternativa que se considera mais indicada à aplicação em questão. Pelos resultados, conclui-se que a escolha do modelo de amplificador a ser empregado no circuito de condicionamento de sinal representa decisão fundamental para se obter a solução adequada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensores, Amplificadores de Sinais; Condicionamento de Sinais; Instrumentação médica.

### APPROACHES FOR CONDITIONING SIGNALS OF A PRESSURE SENSOR APPLIED IN MEDICAL INSTRUMENTATION

**ABSTRACT:** Medicine makes use of a series of instruments that help to monitor the conditions of patients. As a fundamental component of biomedical instrumentation there are sensors, mainly those capable of reading low-intensity physical phenomena. The integration of such type of sensor as a component of an automation solution, in the form of medical-hospital equipment, requires adequate signal conditioning. In this sense, the design details and a comparative study of approaches employed in the signal conditioning of a sensor applicable for instance in intracranial pressure monitoring solutions for patients affected by hydrocephalus. Circuits were modelled based on three available amplifier alternatives and verified by applying software simulation tools and the HIL (*Hardware-In-the-Loop*) technique. In that verification the voltage and gain levels obtained were verified accordingly with each approach, making possible the choice of the alternative that is considered the most suitable for the application in question. Taking the results into account, it is concluded that the choice of the amplifier model to be used in the signal conditioning circuit represents a fundamental decision in order to obtain the adequate solution.

**KEYWORDS:** Sensor; Signal Amplifiers; Signal Conditioning; Medical Instrumentation.

### INTRODUÇÃO

Um exemplo de aplicação de sistema de automação em medicina se encontra no desenvolvimento de equipamentos médicos que auxiliam a verificação constante da pressão interna a determinadas regiões ou sistemas do corpo humano. Neste contexto, constata-se a verificação de pressão intracraniana em pacientes acometidos por Hidrocefalia, uma disfunção que resulta no acúmulo do Líquido Cefalorraquidiano na caixa craniana, em decorrência de traumas ou deficiências congênitas.

Neste caso, a pressão pode ser representada em mm/H<sub>2</sub>O e representa um fenômeno físico de baixa intensidade cuja leitura é possível apenas por meio de sensor específico, capaz de prover acurácia e confiabilidade. Sensores para esta aplicação geralmente apresentam valores de leitura de sinais na faixa de  $\mu\text{V}$ . Conforme Stevan Jr. e Silva (2015, p. 94), a leitura de fenômenos físicos de baixa intensidade requer o condicionamento sinais para que a aquisição de dados funcione de maneira eficaz. Sendo assim, um circuito de condicionamento deve atender a requisitos tanto dos sensores quanto do componente controlador que constitui o sistema de automação (SBM - *Single Board Microcontroller* ou SBC - *Single Board Computer*).

Ainda segundo Stevan Jr. e Silva (2015, p.94), as principais técnicas de condicionamento de sinais são as seguintes, podendo estas ser empregadas de forma combinada: Amplificação, Atenuação, Isolamento, Filtragem, Excitação, Linearização, Compensação de junção fria, configurações potenciométricas, retificadores, correção de nível DC (offset), detectores de pico, conversão de corrente em tensão, conversão de tensão em corrente e técnicas de condicionamento para sensores capacitivos

Considerando a porção de controle de um sistema de automação microcontrolado, os sinais entregues ao microcontrolador, devem atender às características de leitura e processamento de suas portas analógicas e digitais. A título de exemplo, o microcontrolador ATMEGA 328, comumente empregado em plataformas de prototipagem, como a Arduino, possui portas que operam na faixa aproximada de 0 a 5V. Logo, constata-se o desafio de realizar a leitura de um sensor que provê saída de sinais em  $\mu\text{V}$ , a partir de um microcontrolador que opera com unidade de grandeza superior, no caso V, e que, por questões de exatidão (arredondamentos ou truncamentos) acabará obtendo leituras de valor 0 (zero) até mesmo para o pico de saída do sensor. Assim, o condicionamento adequado de sinais, se mostra como possível solução.

Neste resumo, apresentam-se os detalhes de abordagens empregadas como parte das atividades de execução de um projeto, considerando alternativas de amplificadores para o condicionamento adequado de sinais de um sensor destinado a compor instrumentações médicas, tornando-os disponíveis para processamento em microcontrolador.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Tendo como base os fundamentos, as características de sensores como o NPC-100 (AMPHENOL CORPORATION, 2016), empregado em sistemas de instrumentação médica, e as técnicas apresentadas por Balbinot e Brusamarello (2019) e Stevan Jr. e Silva (2015), foram realizados estudos e explorações acerca de tecnologias em hardware com possível aplicação no condicionamento de sinais. O sensor em questão, segundo Kijonka et al (2011), representa um transdutor de pressão que tem uma sensibilidade de  $5 \mu\text{V}/\text{V}/\text{mmHg}$ , ou seja, ele produz uma variação de  $5 \mu\text{V}$  no sinal de saída por volts de excitação a cada milímetro de mercúrio que a pressão varia. Além disso, possui como configuração básica a Ponte de *Weatstone* composta por quatro extensômetros (*strain gauges*), podendo ser empregado em diversas aplicações que exijam análise de pressão.

Como o NPC-100 entrega sinais analógicos na saída, faz-se necessário conhecer as características do Conversor Analógico-Digital (ADC – *Analog-Digital Converter*) integrado ao controlador selecionado para ser empregado no projeto de sistema de automação, compatibilizando-os.

Em trabalho correlato e anterior, Bernardo Filho (2017) implementou uma abordagem de leitura do NPC-100 de forma que um SBM emite uma excitação ao ele e este retorna um sinal de leitura em  $\mu\text{V}$  que é ajustado por um Amplificador de Instrumentação. Tal fato resultou na percepção de que este tipo de componente representa um item importante e indispensável para a referida compatibilização.

O fato do NPC-100 possuir circuito baseado em Ponte de *Weatstone*, resultou na redução do escopo dos trabalhos de pesquisa, estudo e exploração de componentes para amplificação. Desta forma, dentre as diversas alternativas existentes, foram selecionados os seguintes componentes que proporcionaram abordagens diferentes para a solução do problema: o AD620 (ANALOG DEVICES, 2011) - usado por Bernardo Filho (2017); o LM324 (TEXAS INSTRUMENTS, 1997) - investigado como possível alternativa flexível em configuração e de custo inferior ao AD620; e o INA-125 (BURR-BROWN, 2018) – investigado, principalmente por se destacar em aplicações junto a circuitos em Pontes de *Weatstone*.

O AD-620, segundo Balbinot e Brusamarello (2010, p.117), representa um amplificador de instrumentação de oito pinos encontrado em encapsulamento integrado. Para usá-lo, faz-se necessário

configurar externamente um resistor de ganho e, dependendo do seu valor, é possível encontrá-lo, de acordo com (ANALOG DEVICES, 2011), em diferentes aplicações, tais como balanças de pesagem, eletrocardiograma e instrumentação médica, interface com transdutores, sistemas de aquisição de dados e controles de processos industriais.

Segundo Kitchin e Counts (2006), amplificadores de instrumentação são usados em muitas aplicações incluindo a aquisição de dados. Nesse contexto, a configuração clássica com 3 amplificadores discretos (*op-amps* simples) tornou-se a mais popular. Para testes e simulação desta configuração clássica, reproduziu-se a configuração que utiliza *op-amps* simples LM324. Trata-se de um *Quad OP-Amp*, o que significa um Circuito Integrado (CI) constituído de outros quatro *op-amps*. Cada *op-amp* interno pode ser configurado conforme a necessidade. Cabe salientar, que apesar do LM324 não ser comumente aplicado em instrumentação, a escolha deste componente ocorreu em função deste representar uma opção mais barata e possível de ser empregada considerando diferentes configurações, de acordo com os níveis de ganho que se deseja obter. Além disso, esse modelo não exige a utilização de fontes simétricas para alimentação de seus terminais.

Por fim, as pesquisas e os estudos conduziram à decisão por desenvolver abordagem empregando o amplificador de instrumentação INA125 como alternativa às abordagens usando o AD620 e o LM324. Suas especificações informam que este CI é capaz de prover ganho de sinal em uma faixa de 4 até 10000 vezes. Além disso, dispõe de divisores de tensão capazes de alimentar sensores com exatidão, mostrando-se ideal para a alimentação de circuitos em Ponte de *Weatstone*.

Para cada um dos amplificadores explorados, foram implementadas e executadas simulações de circuitos em software, projetando o condicionador de sinais pretendido, intitulado CSK2020. Tendo como base as orientações de Kitchin e Counts (2006), foram também considerados alguns parâmetros dos amplificadores que podem influenciar a amplificação de sinais de pequenas amplitudes. Neste sentido, citam-se como exemplos: tensão de desvio (*offset*) que surge entre as entradas do amplificador podendo ser amplificada juntamente com o sinal, acarretando em erros de medição; desvio térmico (*thermal drift*), que pode alterar o comportamento de um dispositivo devido a alterações na temperatura ambiente; e CMRR (*Common-Mode Rejection*) que representa a capacidade do amplificador de cancelar quaisquer sinais que sejam comuns (o mesmo potencial em ambas as entradas), ao mesmo tempo que os amplifica. Ademais, foram também empregadas outras técnicas de condicionamento de sinais como filtragem e excitação, além de proteção contra sobrecarga em portas analógicas e interfaces.

A FIGURA 1 ilustra o circuito concebido para o CSK2020, destacando os componentes da solução e exemplificando a aplicação do INA125. Note-se: Interface para conexão com o sensor (1); elemento de ajuste do ganho de sinal pretendido (2); Amplificador de Instrumentação escolhido (3); regulador de tensão para alimentação do amplificador de instrumentação (4); protetor de nível de tensão de saída (5); e interfaces para energização e conexão da saída de sinal condicionado com pino de entrada de sinal no elemento controlador do sistema do automação (6).

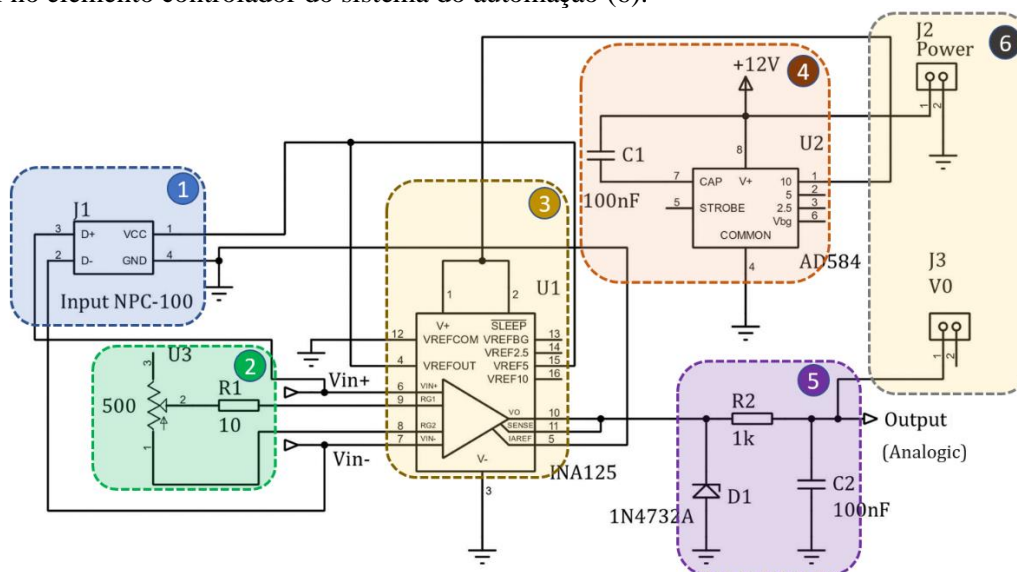


FIGURA 1. Esquemático do circuito do CSK2020, considerando emprego do amplificador INA125.

Além do amplificador INA125 (3), note-se os seguintes elementos: *trimpot* para regulagem de ganho (2); interface USB-A (*Universal Serial Bus – Model A*) fêmea, para a conexão com o sensor (1); diodo *zener* 1N4732A, para limitação do valor de tensão de saída em 4.7V (proteção para portas analógicas operando até 5V) junto com resistor e capacitor constituindo o elemento de filtragem do circuito (5); elemento de referência de tensão de precisão para circuitos, tendo como base o CI AD584 (ANALOG DEVICES (s.d.) (4); e bornes de alimentação e de saída de sinal (6).

As seguintes ferramentas foram empregadas nos desenvolvimentos e testes da solução: *Proteus Professional 8*, para simulação de circuitos e confecção de PCBs (*Printed Circuit Board*); e o *Scilab* e o *LabView* para testes dinâmicos envolvendo a técnica de simulação HIL (*Hardware-in-the-Loop*), empregada na validação de linearidade do sensor. Como itens de hardware no laço, citam-se: o sensor NPC-100 com conexão para cateter ligado a bancada que simula condições de pressão líquórica intracraniana, desenvolvida por Pinto et al (2014); conector USB-A macho integrado ao NPC-100 para conexão com microcontrolador destinado a receber os sinais condicionados; SBC Arduino UNO programado com bibliotecas específicas para interface com o softwares de simulação (*Scilab* e *LabView*) instalados em microcomputador.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a escolha do modelo de amplificador mais adequado ao caso, foram observados os requisitos de amplificação de sinais do sensor NPC-100, bem como características de filtragem e excitação. Nas aplicações que envolvem componentes discretos (*op-amps* simples), a necessidade de circuitos complementares de ajuste, filtragem e compensação implica em efeitos adversos como erros e ruídos na saída, exigindo tratativas adicionais (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019). Este foi o caso detectado mediante emprego do LM324 que não dispõe de circuitos compensadores (de temperatura, por exemplo) e filtros de ruídos internos (responsáveis por corrigir tensões de *offset* e desconsiderar possíveis valores incoerentes). Sendo assim, em casos que o sinal a ser medido apresenta baixa variação de amplitude de sinais, segundo Stevan Jr. e Silva (2015), para se obter exatidão e confiabilidade, faz-se necessário um elevado ganho diferencial nas entradas e a utilização de amplificadores de instrumentação que já possuem, intrinsecamente, estes circuitos compensadores e filtros. O gráfico ilustrado na FIGURA 2 representa os ganhos de nível de tensão obtidos a partir das diferentes abordagens baseadas em diferentes amplificadores. Considerou-se uma diferença de tensão nas entradas de cada amplificador de  $\sim 1,25\text{mV}$  (variação de 300mmHg em valores do sensor); um ajuste por *trimpot* de ganho em um valor variável (de 100% a 5% de 500 $\Omega$  - um valor mínimo de 25 $\Omega$  representa um ganho de  $\sim 1000$  vezes). Note-se que, para ganho de  $\sim 2000$  vezes, pela abordagem usando o LM324, reproduzindo a clássica configuração de amplificadores de instrumentação com três amplificadores, alcançou-se uma tensão máxima de saída de  $\sim 1,75\text{V}$ . Por meio da aplicação do amplificador AD620, o resultado foi de 1,78V. Por fim, pelo emprego do INA125, obteve-se um nível tensão máximo de  $\sim 2,15\text{V}$ . Sendo este, o maior nível de tensão atingido pelo circuito, dentro da faixa aceitável pelo ADC do microcontrolador, optou-se por adotar o INA125 como a base do processo de amplificação.

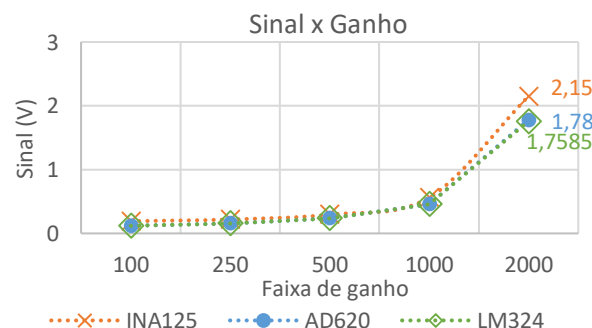


FIGURA 2. Gráfico comparativo do nível de tensão em função do ganho aplicado nas abordagens.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em termos de projeto do condicionador de sinais CSK2020 representam elementos importantes e viabilizadores ao desenvolvimento de soluções tecnológicas empregam

sensores de fenômenos físicos de baixa intensidade. Uma possível aplicação está no desenvolvimento de coletores de dados de monitoramento ou na porção de controle de mecanismos voltados a regulação da pressão interna de órgãos do corpo humano. Os testes empregando simulação em software baseada na técnica *HIL*, envolvendo uma bancada de testes hidrodinâmicos, um sensor de aplicação em instrumentações médicas e tecnologias para processamento dados e automação, indicaram que alternativas de configurações de amplificadores similares, possíveis de serem aplicadas no condicionamento de sinais, podem produzir resultados diferentes, sendo, portanto, item de relevância em decisões de projeto. Cabe salientar, que parâmetros dos amplificadores que possam influenciar no seu funcionamento necessitam ser considerados e no caso específico de leitura de sinais de sensores como o NPC-100, por microcontroladores que operam com portas analógicas na faixa de 0V a 5V, o emprego do amplificador INA125 se mostrou mais adequado.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFSP, pelo PIBIFSP, à empresa Ventura Biomédica de São José do Rio Preto, pelo apoio ao projeto.

## REFERÊNCIAS

- AMPHENOL CORPORATION. **NPC-100 and NPC-120 series**, 2016. Disponível em: <<https://www.mouser.com/pdfdocs/AAS920302ENovaSensorNPC100120052714web4.PDF>>. Acesso em: 18 jul. 2020
- ANALOG DEVICES. **Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier - AD620**, 2011. Disponível em: <<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2020
- ANALOG DEVICES. **AD584 Pin Programmable, Precision Voltage Reference**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.analog.com/en/products/ad584.html#product-overview>>. Acesso em: 30 abr. 2020
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. v. 1
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. v. 2
- BERNARDO FILHO, P. J. I. **Especificação e análise de sistema para criação de um dispositivo de verificação da qualidade em válvulas neurológicas para hidrocefalia**: Tecnol. em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Votuporanga: Inst. Fed. de Educação, Ciência e Tecnologia, 2017.
- BURR-BROWN. **INA 125 Instrumentation amplifier with precision voltage reference**, 2018. Disponível em: <<https://www.ti.com/sitesearch/docs/universalsearch.tsp?searchTerm=INA125#q=INA125&t=everything&linkId=1>>. Acesso em: 30 abr. 2020
- KIJONKA, J.; PENHAKER, M.; CERNOHORSKY, J. **INVASIVE BLOOD PRESSURE CURVES SIMULATION DEVICE**. 1st Middle East Conference on Biomedical Engineering. **Anais...** In: 1ST MIDDLE EAST CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING. Sharjah, United Arab Emirates: fev. 2011
- KITCHIN, C.; COUNTS, L. **A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers**. 3. ed. United States of America: Analog Devices, 2006.
- PINTO, J. R. C. et al. Evaluation of flow rate accuracy and pressure measurements of testing rig for neurological valve hydrodynamic tests. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 30, p. 27–34, 2014.
- STEVAN JR., S. L.; SILVA, R. A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2015. v. 1
- TEXAS INSTRUMENTS. **LM124, LM124A, LM224, LM224A LM324, LM324A, LM324Y, LM2902, LM2902Q QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**, 1997. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/27201/TI/LM324.html>>. Acesso em: 6 abr. 2020