

# CONTROLE PARA SISTEMA DE BOMBEAMENTO A VÁCUO

## CONTROL FOR VACUUM SYSTEM PUMPING

**Adriano Zingoni Moreira<sup>1</sup>**

**Alex Destefani<sup>2</sup>**

**Erick Battiston Antonio<sup>3</sup>**

**Vitor Frutuoso de Carvalho<sup>4</sup>**

**Luciano André dos Santos<sup>5</sup>**

Data da versão final: 8 de agosto de 2025.

### RESUMO

Centrais de bombeamento a vácuo possuem a função de remover a presença de moléculas de um ambiente para evitar interferências em estudos que precisam ser realizados nessas condições. No entanto, uma pequena central de bombeamento não possui um sistema de controle de válvulas integrado ao modelo padrão de controlador equipado. Além disso, o controlador não apresenta uma leitura da pressão em seu display. Portanto, este artigo possui o objetivo de apresentar o desenvolvimento de sistema eletrônico capaz de controlar de forma automática uma central de bombeamento a vácuo conforme a variação de pressão, realizando a ativação das bombas e permitindo a comutação das válvulas, também com o valor de pressão sendo apresentado no display. Com isso, foi elaborada uma placa eletrônica com uma interface de controle comandada por um microcontrolador esp32, programado para atuar conforme os dados enviados por um sensor de pressão de vácuo. A validação do controlador foi realizada com os valores de pressão do datasheet do fabricante do sensor comparado aos valores dispostos no display do controlador usando a tensão de saída do sensor como parâmetro. Também foi avaliada a correta atuação das bombas e das válvulas. O resultado foi muito próximo da curva do datasheet do fabricante do sensor, apresentando uma variação de apenas 400mV. Por fim, o controle das bombas e das válvulas ocorreu como o programado.

**Palavras-chave:** central de bombeamento; vácuo; controlador; sensor de pressão; leitura de pressão.

### ABSTRACT

Vacuum pumping centrals can remove the presence of molecules from an environment to avoid interference in studies that need this condition. However, a small pumping central does not have an integrated system to control valves in the standard controller model. Furthermore, the controller does not show the pression reading in the display. Therefore, this article has the objective of showing the development of an electronic system capable of doing automatic control of pumping vacuum central according to the

---

<sup>1</sup>Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, CAMPINAS, Brasil. a.zingoni@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, CAMPINAS, Brasil. adestefani@me.com

<sup>3</sup> Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, CAMPINAS, Brasil. erickbatiston2210@gmail.com

<sup>4</sup>Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, CAMPINAS, Brasil. vitorcarvalho1509@gmail.com

<sup>5</sup> Professor especialista em Eletrônica Embarcada, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, CAMPINAS, Brasil. luciano.santos@sp.senai.br

pressure variation, powering the pumps and allowing the valves commutation, also with pressure value being shown in the display. Therewith, an electronic board was made with a control interface commanded by an esp32 microcontroller, programmed to work according to the data collected from a vacuum pressure sensor. The validation of the controller was made with pressure values from the pressure sensor manufacturer datasheet against the values shown in the display using the sensor output voltage as parameter. Also, the actuation of the pumps and valves was evaluated. The results were very close to the sensor manufacture datasheet curve, showing only 400mV variation. Finally, the pumps and valves worked as programmed.

**Keywords:** pumping central; vacuum; controller; pressure sensor; pressure read.

## 1 INTRODUÇÃO

O principal objeto de estudo do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) é o estudo da luz síncrotron, no qual o uso do vácuo é imprescindível. O fenômeno do vácuo é caracterizado pela ausência de partículas presentes no ar atmosférico, conforme Gama (2002), a aplicação do vácuo através da retirada de ar é necessária para processos industriais ou científicos, realizada através do acoplamento de bombas de vácuo e válvulas a uma câmara isolada. Portanto, este equipamento de bombeamento é necessário e largamente utilizado em centros de pesquisas. No entanto, a operação de pequenas centrais de bombeamento auxiliares necessita da atenção do operador para realizar a manobra de válvulas através da leitura visual da pressão do sistema e a rotação da bomba. Para tornar estes experimentos mais eficientes foi desenvolvido este projeto, que tem como objetivo a elaboração de um controlador do sistema de bombeamento de vácuo que realize a manipulação das válvulas e acionamento das bombas de vácuo através da leitura da pressão. O desenvolvimento consiste em diagramas elétricos, programação do controlador e por fim, testes em laboratório do protótipo que terá como base uma central de bombeamento da Edwards T-75, modelo no qual será feito o controle do processo. A meta do projeto é conseguir comprovar o funcionamento da eletrônica de controle de forma automática e aferir a acurácia da leitura de pressão do controlador em relação ao datasheet do fabricante do sensor.

### 1.1. Problema de pesquisa

Eletrônica de controle para centrais de bombeamento no CNPEM necessitam da atenção do operador para a manipulação manual de válvulas.

### 1.2. Objetivo

A elaboração de um controlador do sistema de bombeamento de vácuo que realize a manipulação das válvulas e acionamento das bombas de vácuo através da leitura da pressão e tenha comportamento similar a eletrônica importada.

### 1.3. Justificativa

Tornar os experimentos científicos que necessitam de vácuo mais eficiente automatizados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Essa seção aborda o princípio físico do vácuo e o desenvolvimento das tecnologias existentes em uma central de bombeamento como os tipos de bomba e os sensores para monitorar o processo, no qual são primordiais para o

desenvolvimento da eletrônica de controle de sistema de vácuo.

### 2.1. Princípio do Vácuo

A descoberta do vácuo é atribuída a Evangelista Torricelli (1647) a partir do experimento barométrico. Segundo West. J.B. (2015), Torricelli raciocinou que este espaço não continha nada, portanto, a ausência de ar ou qualquer outra substância foi classificado como vácuo, termo no qual anteriormente “os gregos colocaram a impossibilidade lógica da existência de vácuo” (Gama, José; 2002). Com estes primeiros estudos no século XVII se iniciou o desenvolvimento da tecnologia do vácuo, com a criação de bombas de vácuo foram possíveis mudanças em processos industriais e de pesquisa, trazendo mais segurança para conservação de amostras e evitar contaminação de processos.

### 2.2. Sensores de Vácuo

Com desenvolvimento da eletricidade e da eletrônica foi possível o surgimento de novos sensores que permitem o controle de processos. O sensor de vácuo full range gauge ou wide range gauge (WRG) utilizado neste projeto é a junção de duas tecnologias: o sensor de vácuo de Pirani (1906) e do sensor de vácuo de Penning (1937). Conforme Jitschin (2004) o sensor de Pirani consiste em um fio montado dentro de um enclausuramento cilíndrico, o fio é aquecido através da passagem de corrente elétrica e o gás ao redor do fio é responsável pela dissipação do calor, conforme a pressão do gás aumenta, a dissipação do calor também aumenta e o sinal de alimentação do fio aquecido irá variar permitindo medir a pressão.

Quanto a sensor de Penning (1937), conhecido como sensor de catodo frio. Conforme Jousten (2016), o funcionamento deste sensor ocorre com a descarga de energia entre dois catodos: emissor e receptor, no qual através da ionização do gás dentro da câmara de detecção permite medir a pressão existente, quanto menor for a densidade do gás dentro da câmara menor é a ionização, logo menor a tensão detectada no catodo receptor.

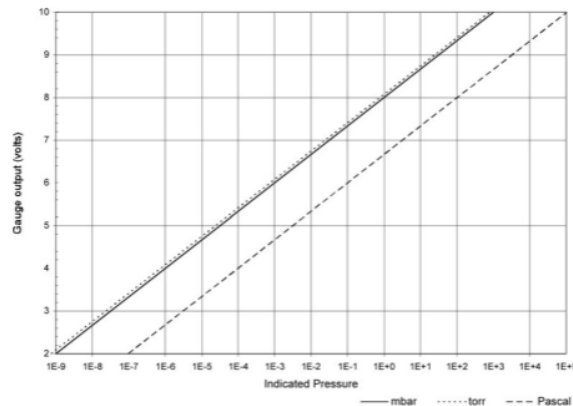
## 3 METODOLOGIA

O início do desenvolvimento da eletrônica de controle se baseou nas entradas e saídas necessárias para a operação da lógica de controle, definidos a partir do estudo dos componentes que serão controlados. Estes componentes são o sensor de pressão, a bomba turbo molécula, a bomba mecânica de diafragma e as válvulas eletromagnéticas.

### 3.1. Definição de parâmetros de leitura do sensor de pressão

O sensor de pressão WRG necessita de uma entrada analógica do microcontrolador para converter o valor de pressão, no qual é fornecido em uma escala de 0 a 10Vcc, para uma representação gráfica que tem como maior valor a pressão atmosférica, de  $1E^3\text{mbar}$  e como menor valor  $1E^{-9}\text{mbar}$ . A curva de conversão segue o gráfico fornecido pelo fabricante do sensor na figura 1.

Figura 1 – Gráfico de funcionamento do sensor de pressão.



Fonte: Idealvac, 2009.

A conversão dos valores de tensão para pressão seguiu a seguinte equação 1 é fornecida pelo fabricante, na qual P é igual a pressão em mbar e V é a tensão fornecida pelo sensor de pressão:

$$P = 10^{(1,5.V-12)} \text{ mbar} \quad (1)$$

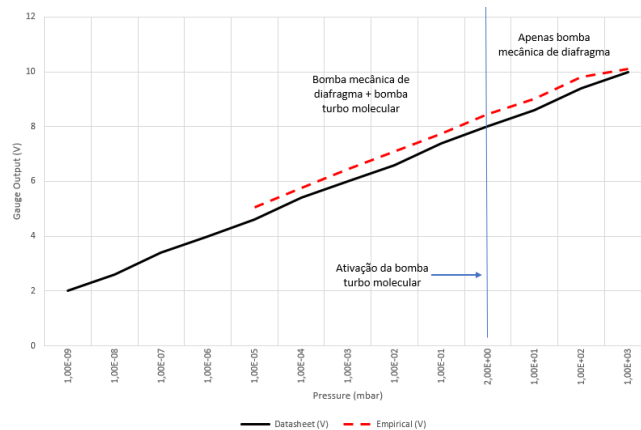
### 3.2. Desenvolvimento da placa eletrônica de controle

O desenvolvimento da placa eletrônica de controle foi feito a partir do desenvolvimento de circuitos divisores de tensão para as entradas analógicas uma interface com optoacopladores foi desenvolvida para as saídas digitais. Os componentes por fim foram soldados em uma placa perfurada para a validação do protótipo, que será fixada dentro de um painel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar o projeto foram avaliados dois parâmetros: a tensão fornecida pelo sensor de pressão em comparação com o valor apresentado no display apresentado na figura 2. Portanto, com esses dados foi plotado um gráfico semelhante ao datasheet que comprovou a acuracidade do programa. Além disso, foram monitoradas as saídas para comprovar o funcionamento do controlador conforme o fluxograma.

Figura 2 – Gráfico de validação do controlador comparado ao datasheet do fabricante.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como apresentado no gráfico, o comportamento do controlador foi semelhante demonstrando valores de pressão e tensão com uma diferença de 400mV para o gráfico do datasheet do fabricante do sensor. Além disso, as saídas atuaram conforme o fluxograma, abrindo as válvulas e ligando a bomba mecânica de diafragma quando o programa é iniciado pelo botão start, com a função “enable” da bomba turbo molecular sendo ativada quando o display apresentou o valor de  $2E^0mbar$ , ou seja, o valor de pressão mínima que a bomba de diafragma é capaz de gerar. O valor máximo de pressão registrado pelo sistema foi de  $3E^{-5}mbar$  com as duas bombas acionadas. Por fim, o controlador desligou todas as funções quando o botão desliga é ativado e confirmado pelo botão enter. Portanto, a eletrônica se mostrou confiável para o controle da central de bombeamento, permitindo que o controlador possa cumprir o mesmo trabalho do modelo comercial.

## 5 CONCLUSÃO

A eletrônica de controle para sistema de bombeamento a vácuo atingiu o objetivo de realizar o controle da central de bombeamento a vácuo presente no CNPEM, ativando de forma segura a bomba turbo molecular quando a bomba de diafragma gerou no sistema uma pressão de  $2E^0mbar$ . Além disso, operando de forma automática as válvulas do sistema evitando a operação manual. Porém são necessárias melhorias em relação a acuracidade do sistema, pois existe uma diferença de 200mV para da curva do sistema para a curva do datasheet. Sendo assim deve-se programar um parâmetro de calibração para corrigir essa diferença. Outras melhorias para o sistema são a implementação de um controle de velocidade, pois a bomba turbo molecular possui um sinal analógico de feedback dessa propriedade, além de sistemas de segurança que podem ser implementados caso ocorra uma grande variação na velocidade e na pressão, com isso protegendo a bomba turbo molecular de sobrecargas.

## REFERÊNCIAS

- GAMA, Sergio.** Introdução a ciência e tecnologia de vácuo. Campinas, SP, Unicamp, 2002.
- IDEALVAC.** Wide range gauge, 2009. Disponível em: [https://www.idealvac.com/files/manuals/Edwards-WR-Gauge\\_D147-01-880.pdf](https://www.idealvac.com/files/manuals/Edwards-WR-Gauge_D147-01-880.pdf). Acesso em 1 de abril de 2025.
- JITSCHIN, W.; LUDWIG, S.** Dynamical behavior of the Pirani sensor. Vacuum, V. 75, 2 Ed., p.169-176, 2004.
- JOUSTEN, Karl.** Handbook of vacuum technology. John Wiley & Sons, 2016.
- WEST, John B.** Torricelli and the ocean of air: the first measurement of barometric pressure. Essays on the History of Respiratory Physiology, p. 25-35, 2015.