



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO  
CAMPUS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**



**Projeto Circuitos Digitais  
ODS: Saúde e bem estar**

**Sistema de Detecção de Vazamento em Respiradores Mecânicos com  
Sensores Integrados**

**Alunos:** Joana Carla Castro Gomes 156368

Leandro Pereira da Silva Filho 163887

Maria Eduarda Nunes Costa 178496

Thainara Oliveira Meireles 177991

**Professora:** Denise

São José dos Campos (SP), 21 de julho de 2025

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Contextualização e Justificativa.....</b>	<b>1</b>
<b>3. Objetivo do Projeto.....</b>	<b>2</b>
<b>4. Fundamentação Teórica.....</b>	<b>2</b>
<b>5. Pesquisa de Campo.....</b>	<b>3</b>
5.1 Perfil dos Participantes.....	3
5.2 Procedimentos Metodológicos.....	3
5.3 Síntese da Pesquisa.....	3
<b>6. Funcionamento do Sistema.....</b>	<b>4</b>
6.1. Entradas do Sistema.....	4
6.2. Processamento do Sinal.....	5
6.3 Saídas do Sistema.....	6
<b>7. Diagrama/Fluxograma do Sistema.....</b>	<b>7</b>
<b>8. Conclusão.....</b>	<b>7</b>
<b>9. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>8</b>

# 1. Introdução

Os respiradores mecânicos são dispositivos cruciais no suporte à vida de pacientes com comprometimento respiratório em ambientes clínicos e de emergência. No entanto, vazamentos, seja por conexões defeituosas, componentes desgastados ou vedação inadequada, podem comprometer drasticamente sua eficácia, levando a condições sérias como hipóxia, hipercapnia ou até mesmo óbito, se não forem rapidamente detectados.

Diante disso, o objetivo deste projeto é desenvolver um sistema digital para a detecção de vazamentos em respiradores mecânicos. Este sistema utiliza sensores integrados e lógica digital para identificar falhas em tempo real e alertar os operadores.

A história dos respiradores mecânicos é longa e está intrinsecamente ligada à medicina e à fisioterapia. Suas sucessivas evoluções trouxeram avanços significativos no funcionamento dos equipamentos, otimizando a respiração assistida e contribuindo para a recuperação de pacientes em emergências e tratamentos em UTIs. Embora a pesquisa por técnicas menos invasivas de respiração mecânica continue devido às possíveis sequelas do uso prolongado, a literatura sobre ventiladores não invasivos tem crescido notavelmente.

O suporte ventilatório mecânico é um método fundamental para auxiliar pacientes com insuficiências respiratórias, sejam elas crônicas ou agudas. Os pacientes recebem esse auxílio até que possam retomar a respiração espontânea, um ponto essencial, pois o uso prolongado desses equipamentos pode resultar no enfraquecimento da musculatura respiratória e outras complicações médicas. O manuseio desses equipamentos exige treinamento adequado e atenção constante dos profissionais de saúde. Nesse contexto, o sistema de sensores proposto tem o potencial de supervisionar a correta operação do respirador, oferecendo um auxílio valioso aos operadores responsáveis pelo cuidado e monitoramento do paciente.

## 2. Contextualização e Justificativa

A pandemia de COVID-19 evidenciou a importância dos respiradores mecânicos no tratamento de pacientes com insuficiência respiratória, aumentando significativamente sua demanda e uso prolongado. Esse cenário elevou a ocorrência de falhas, especialmente vazamentos nos circuitos respiratórios, causados por conexões inadequadas, desgaste de componentes ou falhas nos sensores.

Esses vazamentos comprometem a oxigenação adequada do paciente e podem resultar em complicações graves. A detecção automática e em tempo real dessas falhas é fundamental para garantir a segurança do paciente e a eficácia do suporte ventilatório.

Atualmente, os sistemas disponíveis apresentam limitações para monitoramento contínuo e detecção precoce de vazamentos, o que reforça a necessidade de um sistema integrado e automatizado. Além disso, a adoção dessa tecnologia contribui para a redução de custos

operacionais, aumento da vida útil dos equipamentos e diminuição da carga de trabalho dos profissionais de saúde.

Este projeto visa desenvolver um sistema digital confiável para detecção de vazamentos em respiradores mecânicos, promovendo maior segurança clínica, eficiência no atendimento e inovação tecnológica na área da engenharia biomédica.

### 3. Objetivo do Projeto

#### Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo tecnológico integrado para o monitoramento contínuo e a detecção automatizada de vazamentos em respiradores mecânicos, utilizando sensores de pressão, fluxo e temperatura, juntamente com circuitos digitais e lógica programada, visando aprimorar a segurança dos pacientes e a eficiência do suporte ventilatório em ambientes clínicos..

#### Objetivos Específicos

- Monitorar em tempo real os parâmetros respiratórios.
- Detectar anomalias como queda de pressão ou fluxo inconsistente.
- Alertar o operador por meio de sinais visuais (LEDs) e sonoros (buzzer).
- Contribuir com a ODS 3 (Saúde e Bem-estar).

### 4. Fundamentação Teórica

O sistema de detecção de vazamentos em respiradores mecânicos baseia-se em tecnologias essenciais para garantir a segurança do paciente.

**Sensores de pressão:** Convertem a pressão física em sinais elétricos entre 0 e 5 V, correspondendo a 0–100 cmH<sub>2</sub>O, possibilitando a medição precisa da pressão aplicada na ventilação.

**Sensores de fluxo de ar:** Medem o volume e a velocidade do ar fornecido, permitindo identificar variações que indicam vazamentos.

**Sensores de temperatura:** Detectam alterações térmicas nos fluxos de ar, ajudando a validar dados e identificar falhas.

**Circuitos lógicos digitais:** Processam os sinais dos sensores, comparando-os a valores críticos. Quando um parâmetro ultrapassa um limite, acionam alertas visuais e sonoros para o operador.

**ODS 3:** O projeto contribui para a saúde e o bem-estar, promovendo monitoramento preventivo e maior segurança no uso dos respiradores.

## 5. Pesquisa de Campo

Para validar a importância prática e funcional do sistema proposto, realizamos uma pesquisa qualitativa com profissionais da saúde, por meio de entrevistas semiestruturadas. O objetivo foi entender os desafios no uso dos respiradores mecânicos, as limitações dos equipamentos atuais e avaliar se um sistema digital com sensores para detectar vazamentos automaticamente seria viável.

### 5.1 Perfil dos Participantes

Participaram cinco profissionais com experiência em unidades de terapia intensiva (UTI), pronto-socorro e clínicas, incluindo áreas de medicina, enfermagem e estudantes em estágios clínicos. Essa diversidade permitiu uma visão multidisciplinar e representativa.

### 5.2 Procedimentos Metodológicos

As entrevistas foram feitas de forma presencial e remota, seguindo três temas principais:

#### **Desafios no uso dos respiradores mecânicos**

Foi apontado que vazamentos pequenos são difíceis de identificar e só são percebidos quando já afetam o paciente, como na queda da saturação. Também foi destacado que a falta de padronização entre os modelos dificulta o manuseio, principalmente em locais com alta rotatividade e demanda.

#### **Limitações tecnológicas dos equipamentos atuais**

Respiradores antigos geralmente não têm alarmes específicos para vazamentos. Alarmes genéricos acabam sendo ignorados em ambientes muito movimentados. Além disso, restrições orçamentárias limitam a renovação tecnológica dos hospitais.

#### **Avaliação do sistema com sensores integrados**

O sistema digital proposto, com sensores extras e alertas visuais e sonoros claros, foi considerado muito relevante, especialmente para UTIs e pronto-socorros. Esse tipo de alerta pode melhorar a segurança do paciente e tornar a resposta da equipe mais rápida e eficiente.

### 5.3 Síntese da Pesquisa

Os resultados mostram que há uma grande necessidade de uma tecnologia que detecte vazamentos cedo nos respiradores mecânicos. A validação dos profissionais confirma que o sistema proposto é aplicável e tem potencial para impactar positivamente o cuidado em ambientes críticos.

Esse sistema pode ajudar a reduzir riscos clínicos, melhorar a atuação das equipes de saúde e diminuir eventos adversos, contribuindo para os objetivos do ODS 3 – Saúde e

Bem-estar, ao trazer inovação tecnológica acessível para aprimorar a qualidade do atendimento hospitalar.

## 6. Funcionamento do Sistema

Componente	Função
<b>Entradas Binárias</b>	3 sensores: pressão (4 bits), fluxo (4 bits), temperatura (4 bits)
<b>Comparadores</b>	Verificar se os valores estão dentro da faixa
<b>Portas OR/AND</b>	Decisão lógica
<b>Registradores</b>	Armazenar leituras do fluxo respiratório anterior
<b>Subtrator</b>	Calcular $\Delta\text{Fluxo} =  F_{\text{atual}} - F_{\text{anterior}} $ , $ \text{Pressão do sensor} - \text{Pressão referencial} $ , $ \text{Temperatura do sensor} - \text{Temperatura referencial} $
<b>Display 7 segmentos</b>	Exibir $\Delta\text{Fluxo}$ , diferenças das Pressões e Temperaturas como saída aritmética
<b>LED</b>	Indicar situação de alarme.

### 6.1. Entradas do Sistema

O sistema recebe três sinais digitais, representando as medições obtidas por sensores conectados a um respirador mecânico. Após a conversão analógica-digital (ADC), realizada externamente ao circuito lógico, os dados entram no sistema com 4 bits de resolução para cada sensor:

Sensor de Pressão (4 bits)

Faixa: 0 a 100 cmH<sub>2</sub>O

Resolução: 1 bit  $\approx$  6,25 cmH<sub>2</sub>O

Sensor de Fluxo de Ar (4 bits)

Faixa: 0 a 60 L/min

Resolução: 1 bit  $\approx$  3,75 L/min

Sensor de Temperatura (4 bits, já digital)

Faixa: 20°C a 45°C

Resolução: 1 bit  $\approx$  1,67°C

Esses valores digitais são diretamente inseridos no circuito desenvolvido na plataforma Panda.

## 6.2. Processamento do Sinal

Após a entrada dos dados, o circuito realiza as seguintes etapas:

### a) Comparações Lógicas

Cada valor recebido é comparado com limites críticos pré-definidos:

Pressão < 10 cmH<sub>2</sub>O → condição de risco

Fluxo < 5 L/min → condição de risco

Temperatura > 40° → risco operacional

Essas comparações são implementadas por meio de comparadores digitais binários. Caso qualquer uma das condições de risco seja detectada, o circuito ativa um sinal de alarme por meio de uma porta lógica OR.

### b) Monitoramento de Variações – $\Delta$ Fluxo

Para detectar oscilações súbitas no fluxo — possíveis indícios de vazamento ou obstrução — o sistema calcula a diferença entre o valor atual e o anterior da variável fluxo:

$$\Delta\text{Fluxo} = \text{Fluxo\_atual} - \text{Fluxo\_anterior}$$

Para isso, utilizamos:

1. Registradores construídos com flip-flops tipo D para armazenar o valor anterior
2. Um subtrator binário que calcula a diferença entre os dois valores (Que usa comparador para seja sempre utilizado o módulo)
3. O valor resultante é enviado para um display de 7 segmentos, facilitando a leitura e interpretação visual por parte do operador.

### c) Lógica Combinacional

Além das comparações e subtrações, o circuito integra:

1. Portas lógicas (OR) para combinação de alertas
2. Flip-flops D como memória temporária (registrador)

### 3. Subtratores binários como unidade aritmética

#### d) Circuitos Intermediários

Multiplexadores (MUX): Selecionam quais dos subtratores serão processados a cada instante.

Comparadores digitais: Avaliam os dados dos sensores e dos registradores.

Somadores/Subtratores: Calculam diferenças entre medições sucessivas e valores dados pelos sensores e os respectivos referenciais.

### 6.3 Saídas do Sistema

O circuito possui duas saídas principais:

#### 1. Saída Aritmética

Mostra o valor da variação de pressão, fluxo e temperatura(P ou  $\Delta F$ ).

Esse valor é exibido em um display de 7 segmentos, fornecendo feedback numérico para o operador.

#### 2. Saída Visual

Se uma condição de risco for detectada (por comparação lógica), o sistema ativa um LED indicando qual(is) falha (s).

#### Exemplo de Funcionamento

Suponha que o sistema leia os seguintes valores:

Pressão: 0011 (equivale a 9,375 cmH<sub>2</sub>O) → abaixo do limiar

Fluxo: 0100 (equivale a 15 L/min) → dentro do normal

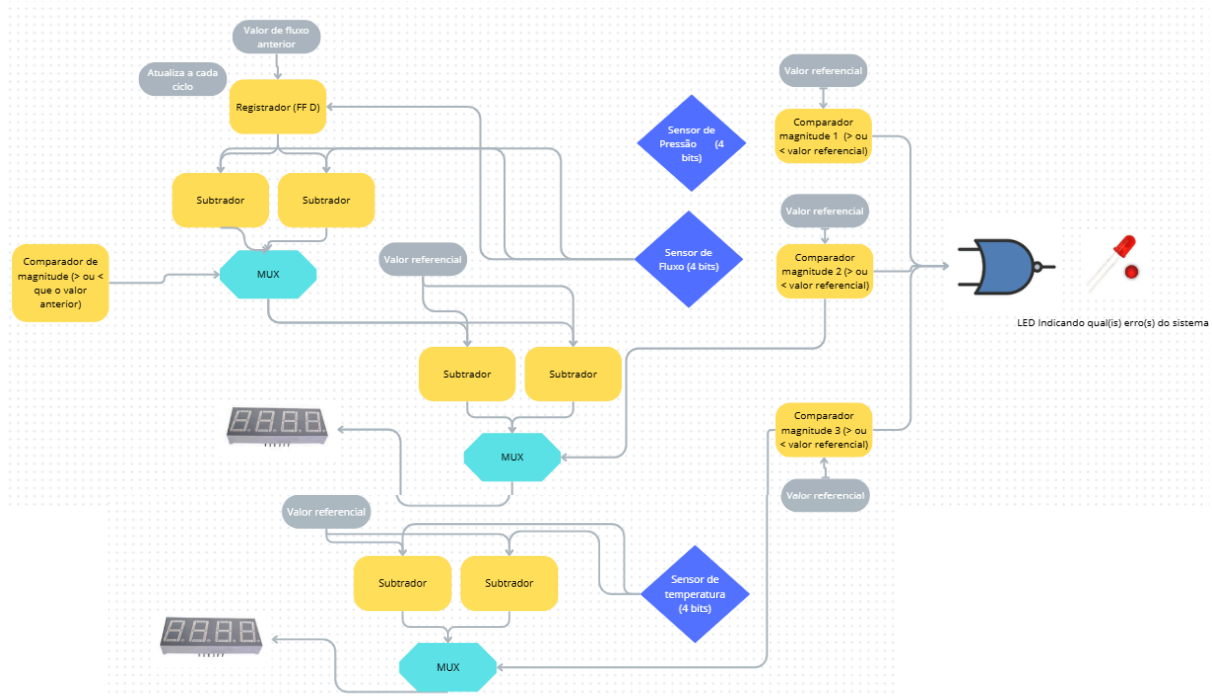
Temperatura: 1000 (40°C) → dentro do normal

Nesse caso, o comparador detecta pressão baixa → ativa alarme.

O subtrator calcula  $\Delta P$  em relação ao valor referencial e exibe a diferença no display.



## 7. Diagrama/Fluxograma do Sistema



## 8. Conclusão

O projeto desenvolvido demonstrou, de forma prática e aplicada, como conceitos fundamentais de circuitos digitais podem ser utilizados para solucionar problemas reais da área da saúde, em especial no contexto da ventilação mecânica. A partir da integração de sensores de pressão, fluxo e temperatura, foi possível construir um sistema digital capaz de identificar condições críticas de operação e emitir alertas imediatos ao operador, promovendo maior segurança ao paciente.

Além disso, a implementação de lógica aritmética para o cálculo de variações no fluxo respiratório ( $\Delta\text{Fluxo}$ ), utilizando flip-flops tipo D como registrador e subtratores binários, permitiu a simulação de uma ferramenta útil para a detecção precoce de vazamentos, um tipo de falha que muitas vezes passa despercebido em sistemas convencionais.

A simulação no ambiente WiredPanda validou a funcionalidade da lógica proposta e reforçou a importância de projetos que unam tecnologia acessível e propósito social. Por fim, o trabalho está em consonância com os objetivos da ODS 3, Saúde e Bem-Estar, promovendo inovação e prevenção no contexto hospitalar.

## 9. Referências Bibliográficas

RODRIGO. Evolução dos ventiladores pulmonares. Sp.gov.br, 2017.

ZHANG, Q. et al. Air leak in noninvasive positive pressure ventilation: A platform and experimental studies. 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering, p. 1363–1367, abr. 2014.

SILVA, J. et al. Monitoramento de sistemas respiratórios por sensores. Revista de Engenharia Biomédica, 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. ODS 3: Saúde e Bem-estar. ONU, 2023.

Manual do Sensor de Pressão MPX5010.

Datasheet do Sensor de Fluxo Honeywell AWM700.

Tecnologias para COVID-19: Respirador. Disponível em:  
<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/tecnologias-para-covid-19/Respirador>.  
Acesso em: 22 jul. 2025.

BBC Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-52101349>.  
Acesso em: 22 jul. 2025.

Monitoramento do paciente durante a ventilação pulmonar mecânica. Disponível em:  
<https://www.inovacoesmagnamed.com.br/post/monitoramento-do-paciente-durante-a-ventilacao-pulmonar-mecanica>. Acesso em: 22 jul. 2025.

ANVISA alerta sobre os tipos de ventiladores pulmonares e os cuidados na escolha conforme a destinação de uso. Disponível em:  
<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2021/anvisa-alerta-sobre-os-tipos-de-ventiladores-pulmonares-e-os-cuidados-na-escolha-conforme-a-destinacao-de-uso>.  
Acesso em: 22 jul. 2025