



CONNECTBREATHE: SISTEMA BIOMÉDICO MULTIPLATAFORMA PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PULMONAR E REABILITAÇÃO RESPIRATÓRIA COM GAMETERAPIA



Centro de Ensino Caminho Feliz – CECAFE – Santa Fé do Sul
Autor: Ana Elisa Brechane da Silva. Orientador: Eder Carlos Antoniassi



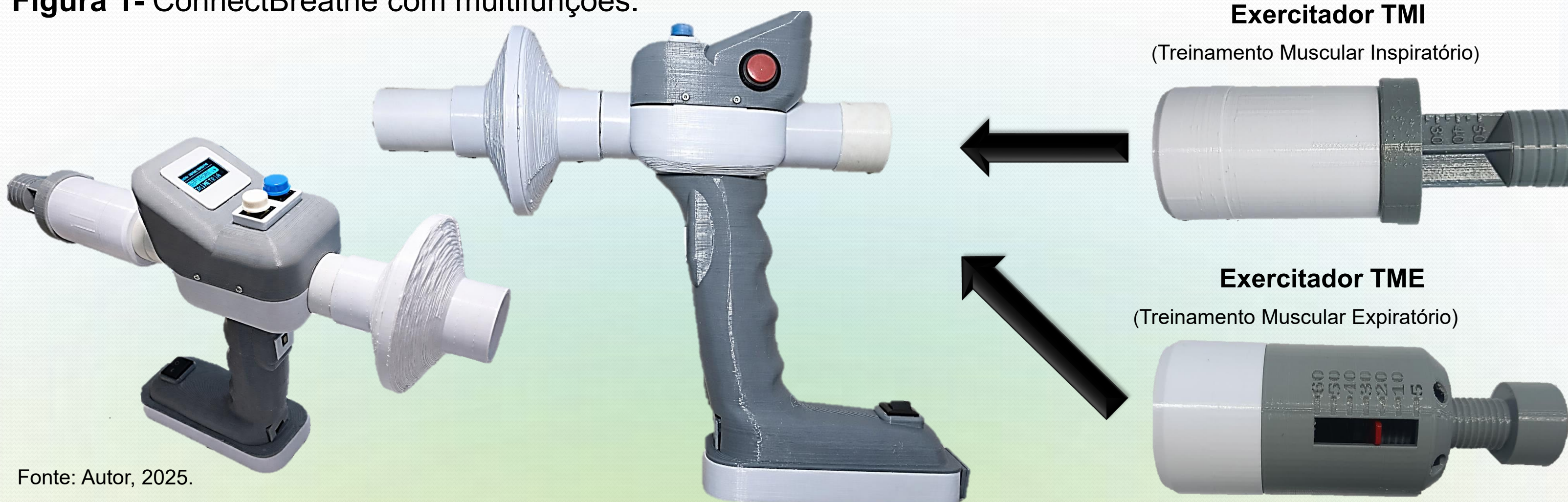
INTRODUÇÃO

Segundo a OMS, as doenças respiratórias estão entre as **principais causas de mortalidade global**, cenário agravado pela pandemia de COVID-19 e pela COVID longa, que afeta cerca de 25% a 34% dos pacientes com sintomas persistentes como dispnéia e fadiga. Embora a espirometria seja o padrão-ouro para diagnóstico e acompanhamento de doenças como asma e DPOC, **o alto custo dos equipamentos e a escassez** de centros especializados limitam o acesso, especialmente em países de baixa e média renda.



Alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 da ONU, este trabalho apresenta o **desenvolvimento de um espirômetro digital de baixo custo integrado ao sistema ConnectBreathe**, unindo diagnóstico preciso e reabilitação via **gameterapia** para democratizar o acesso ao tratamento respiratório.

Figura 1- ConnectBreathe com multifunções.



Fonte: Autor, 2025.

OBJETIVOS

GERAL - Esta pesquisa visa **investigar alternativas para o desenvolvimento de um espirômetro digital** de baixo custo, analisando a eficiência de diferentes métodos de medição de fluxo e volume para consolidar o sistema ConnectBreathe como uma plataforma multifuncional de diagnóstico e reabilitação.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver um espirômetro digital comparando a precisão do Tubo de Venturi e do sensor de fluxo YF-S201 na medição do Pico de Fluxo Expiratório (PFE) e Capacidade Vital Forçada (CVF).	Validação Técnica: Construir uma seringa de calibração de 3 litros automatizada, com correção do fator BTPS em tempo real, para validar a precisão dos sensores.	Integração e Funcionalidade: Desenvolver um novo protótipo capaz de mensurar 6 parâmetros pulmonares (PFE, CVF, VEF1, PAF, PImáx e PEmáx) e integrar um sensor de oximetria de pulso (SpO ₂).	Inovação Paramétrica: Propor e implementar o Pico de Aceleração de Fluxo (PAF) como um novo parâmetro para avaliação de obstruções e fraqueza muscular respiratória.	Plataforma Digital e Terapêutica: Criar interfaces em HTML/JS para exibição de dados e desenvolver jogos de gameterapia via Bluetooth/IoT para estimular a adesão do paciente ao tratamento remoto.
---	--	---	--	---

METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

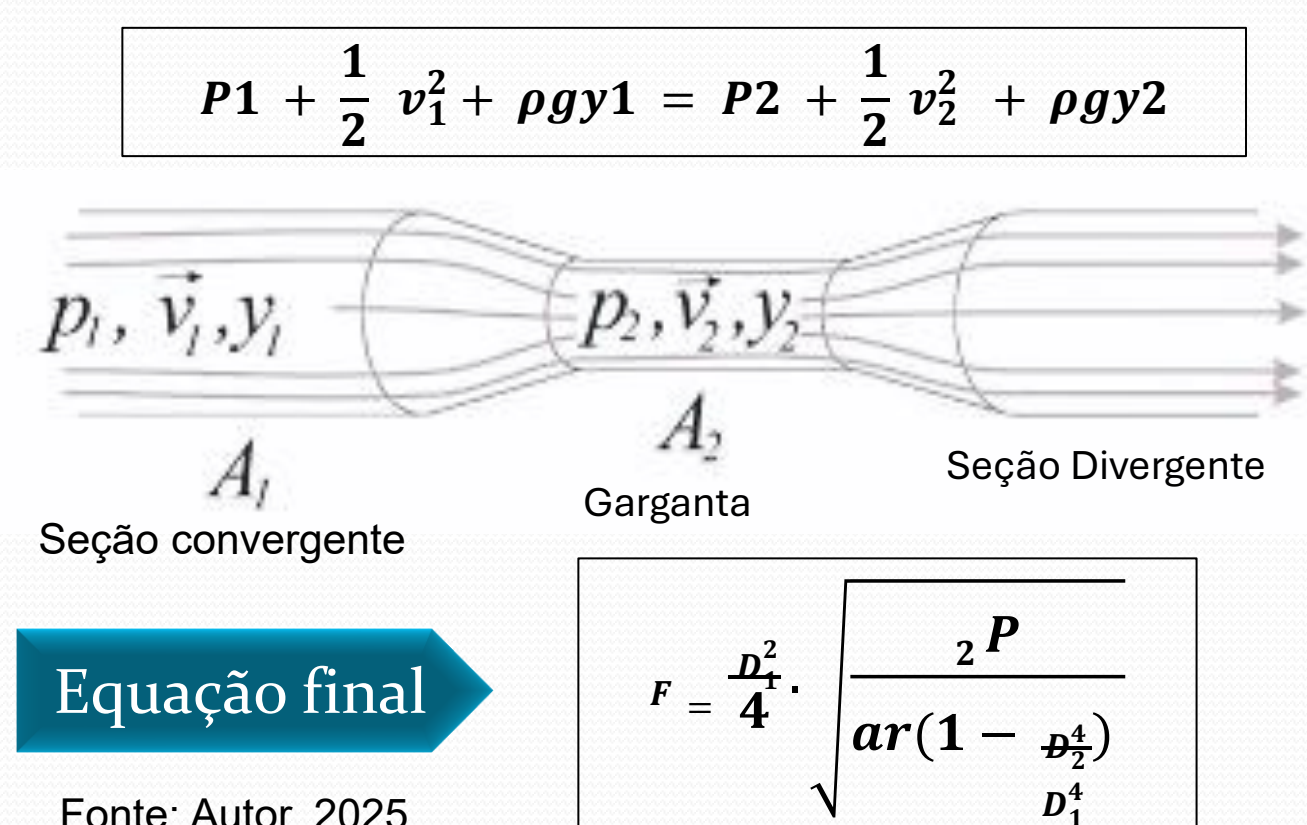
Figura 2 – Componentes Principais do projeto e a Placa de Circuito do projeto.



- 1- Desenvolvimento da Seringa de Calibração de 3L com correção Automática do fator BTPS
- 2- Testes e Análise do Sensor de Fluxo de fluidos
- 3- Desenvolvimento do tubo de Venturi e criação de um novo Desing
- 4- Desenvolvimento de novas Interfaces para espirometria, manovacuometria, e gameterapia

A mensuração do fluxo respiratório foi baseada no princípio do tubo de Venturi, fundamentado na Equação de Bernoulli e na Equação da Continuidade (SENAI, 1999).

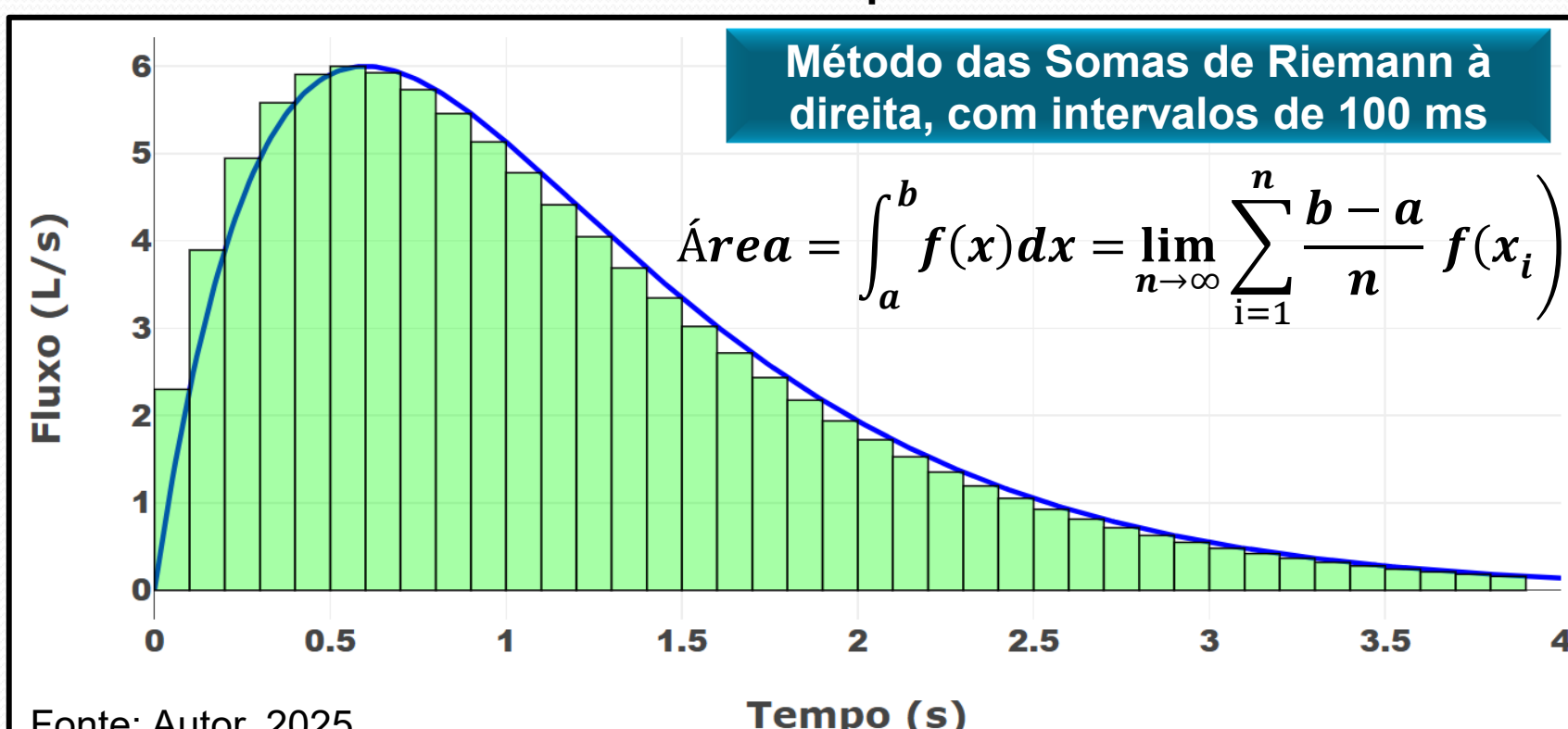
Figura 3 – Tubo de Venturi e Equações de Bernoulli e continuidade



Fonte: Autor, 2025.

O volume expiratório forçado (CVF) foi obtido por integração numérica do fluxo ao longo do tempo (Figura 5) onde o volume total corresponde à soma incremental do fluxo medido em cada intervalo temporal durante a manobra expiratória (NEPOMUCENO, 2010).

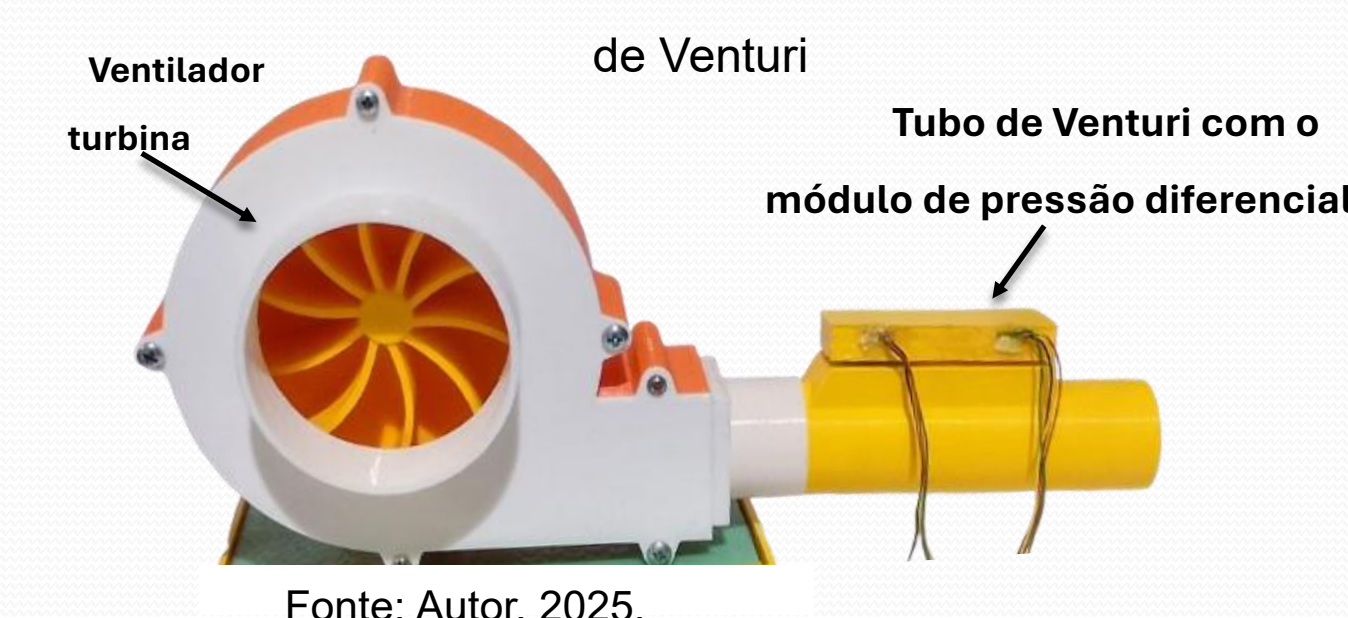
Figura 5 – Cálculo do Volume de ar pela Integral numérica de Riemann a direita da curva Fluxo x Tempo.



Fonte: Autor, 2025.

A estabilidade do fluxo no tubo de Venturi foi avaliada com soprador turbina operando a **24 V e 32 V**. Os dados foram adquiridos por interface gráfica e analisados por **média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)**. Menores valores de CV indicaram maior estabilidade das leituras.

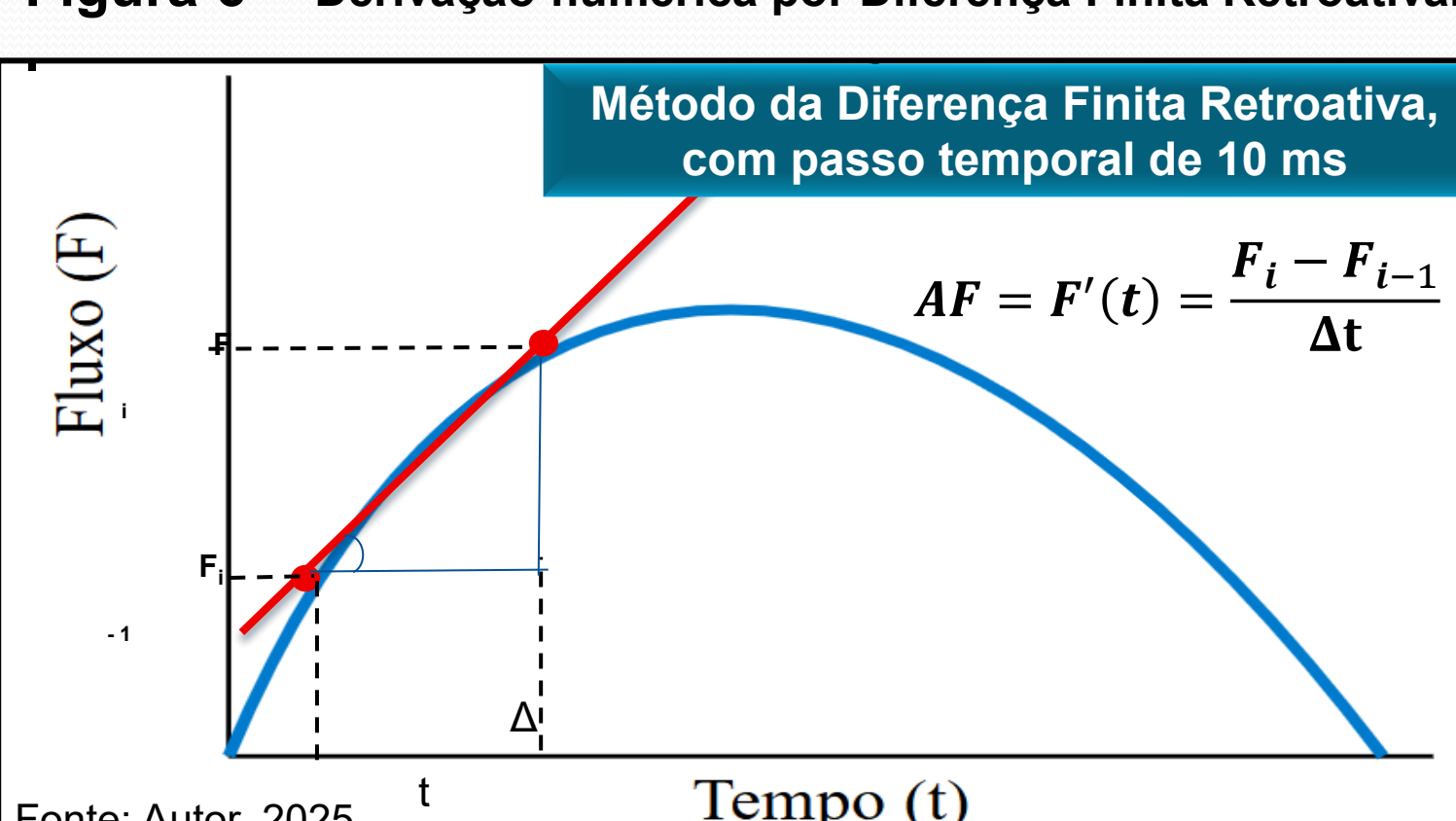
Figura 4 – Teste de estabilidade das leituras de fluxo de ar do tubo



Fonte: Autor, 2025.

A aceleração do fluxo respiratório (PAF) foi determinada por derivação numérica do fluxo x tempo (Figura 6). Esse procedimento permitiu quantificar a taxa de variação do fluxo na manobra respiratória, originando o parâmetro PAF (Pico de Aceleração de Fluxo).

Figura 6 – Derivação numérica por Diferença Finita Retroativa.

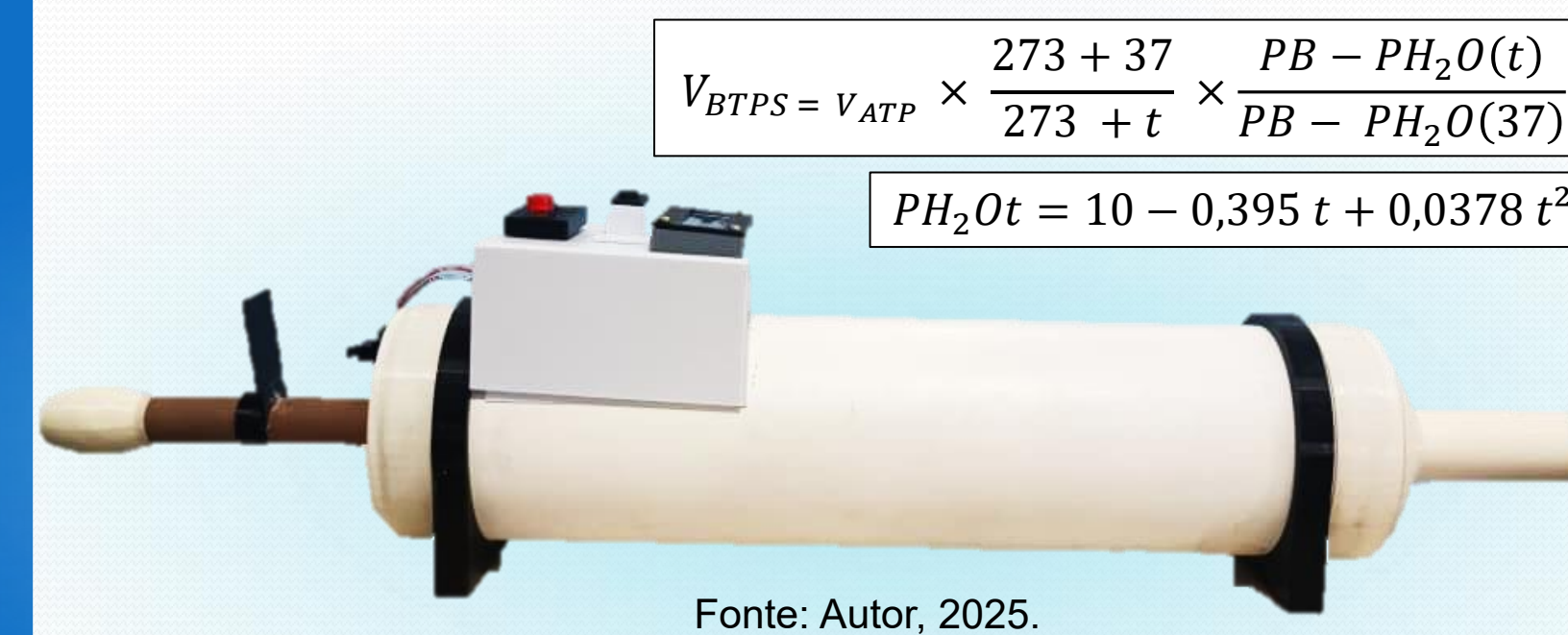


Fonte: Autor, 2025.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Validação da Seringa de Calibração: O dispositivo apresentou precisão de 99,47% (erro de ~0,5%) na aferição volumétrica de 3.000 mL. O custo de produção (R\$ 70,00) representou apenas 3,5% do valor de mercado de modelos comerciais.

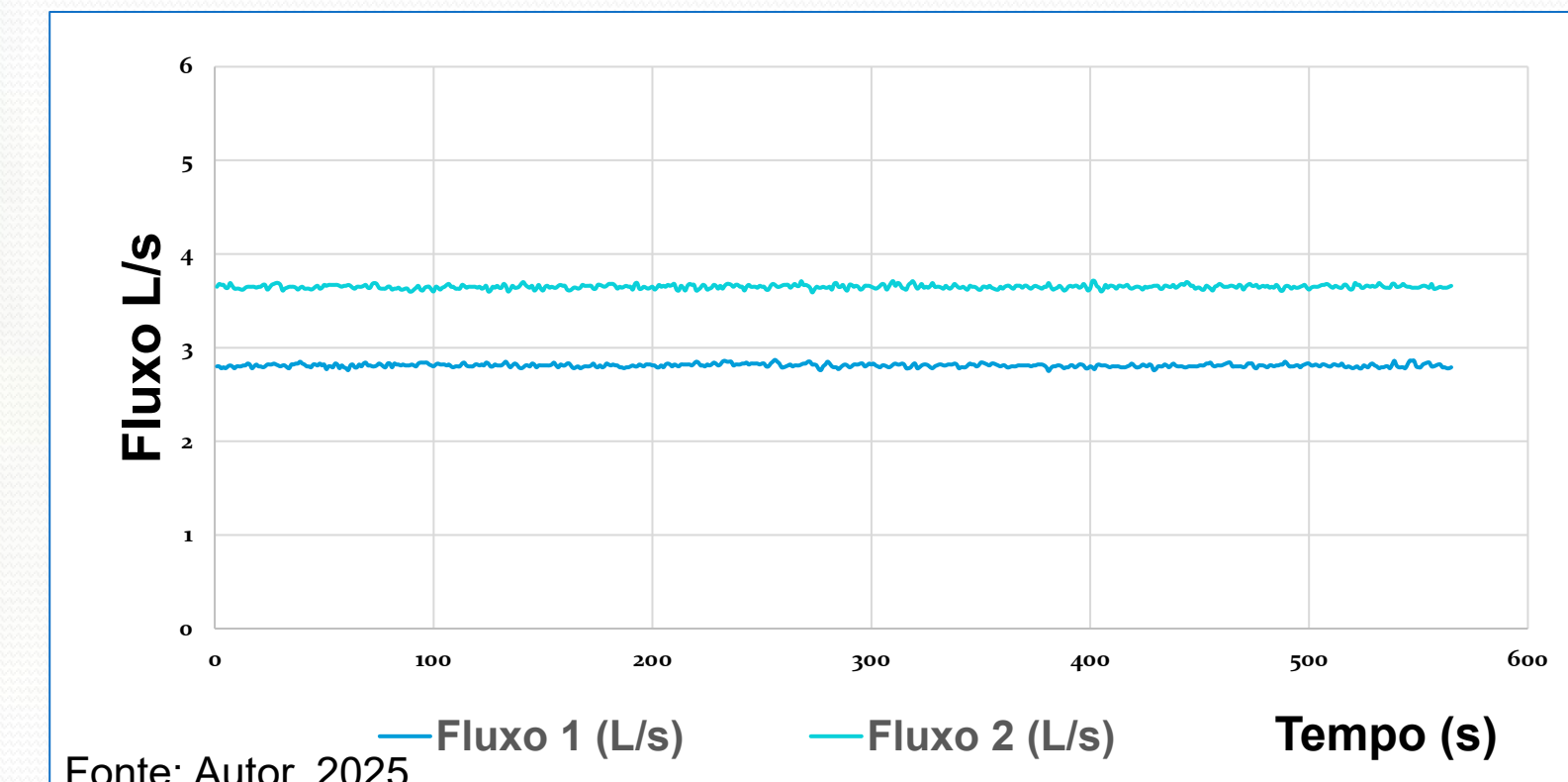
Figura 7 – Seringa de Calibração com as equações de correção do fator BTPS.



Fonte: Autor, 2025.

Eficiência do Tubo de Venturi: Apresentou **alta estabilidade**, com **coeficiente de variação (CV < 1%)** em fluxos contínuos. Após calibração por **regressão linear**, o erro médio foi reduzido para **9,5% no Pico de Fluxo Expiratório (PFE)** e **7,6% na Capacidade Vital Forçada (CVF)**.

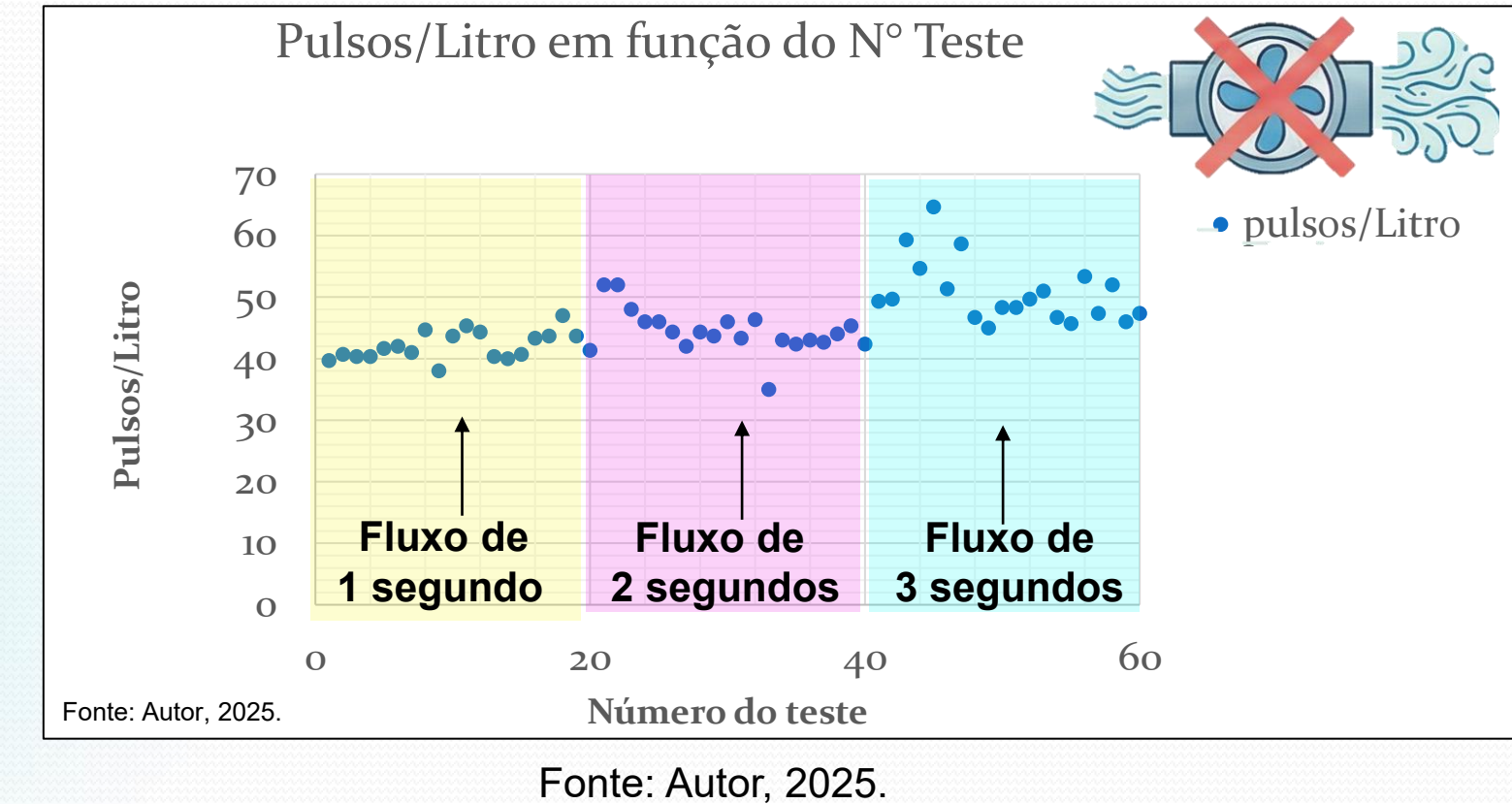
Gráfico 2– Análise da estabilidade do fluxo de ar do tubo de Venturi.



Fonte: Autor, 2025.

Inviabilidade do Sensor YF-S201: Os testes evidenciaram **erro de 64,5%** na medição do fluxo e **não linearidade dependente da velocidade**, com variação de **645 mL para 1 L**, tornando o sensor **inadequado para fins diagnósticos**.

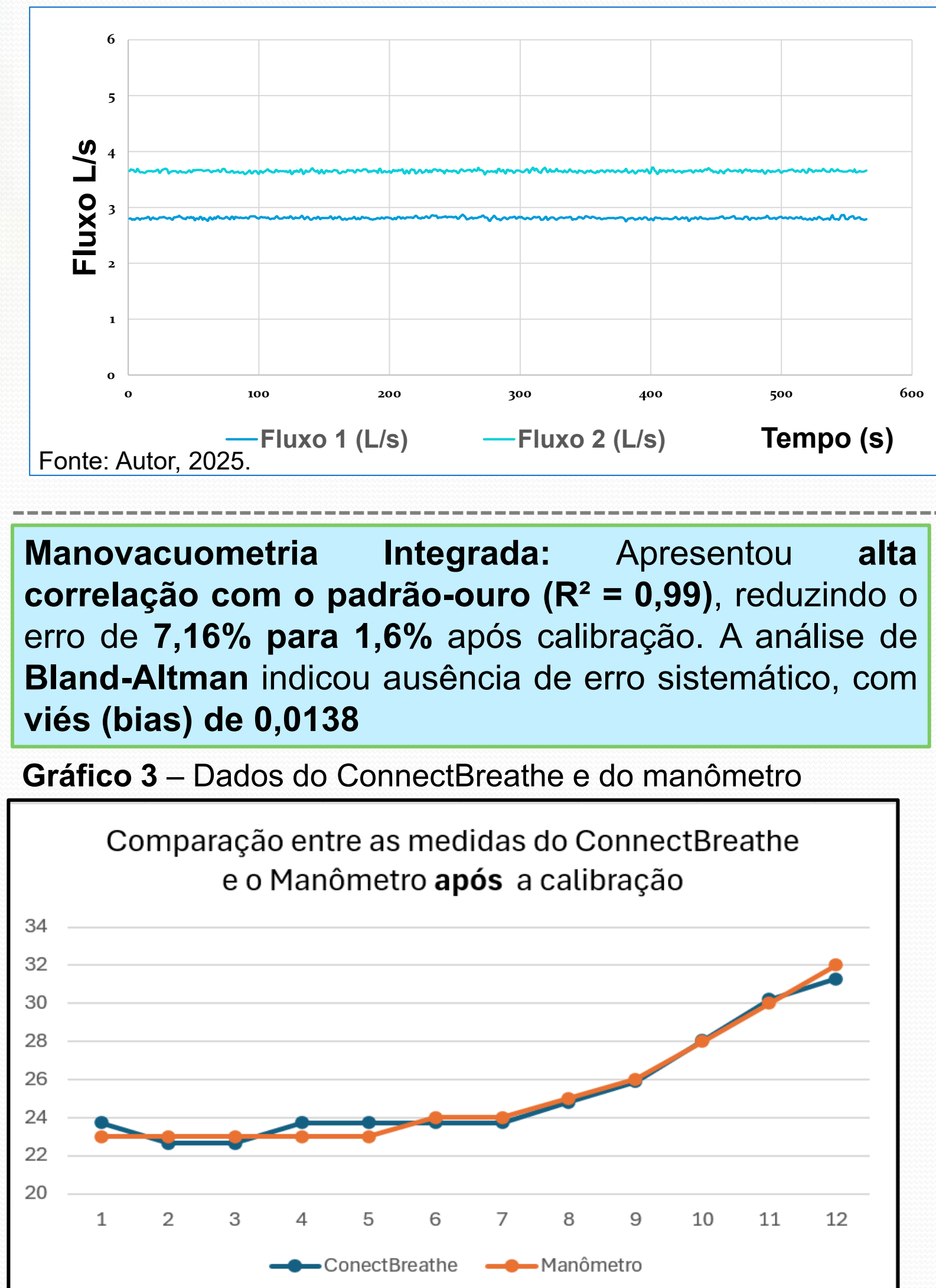
Gráfico 1 – Pulsos por Litro em função do número de teste.



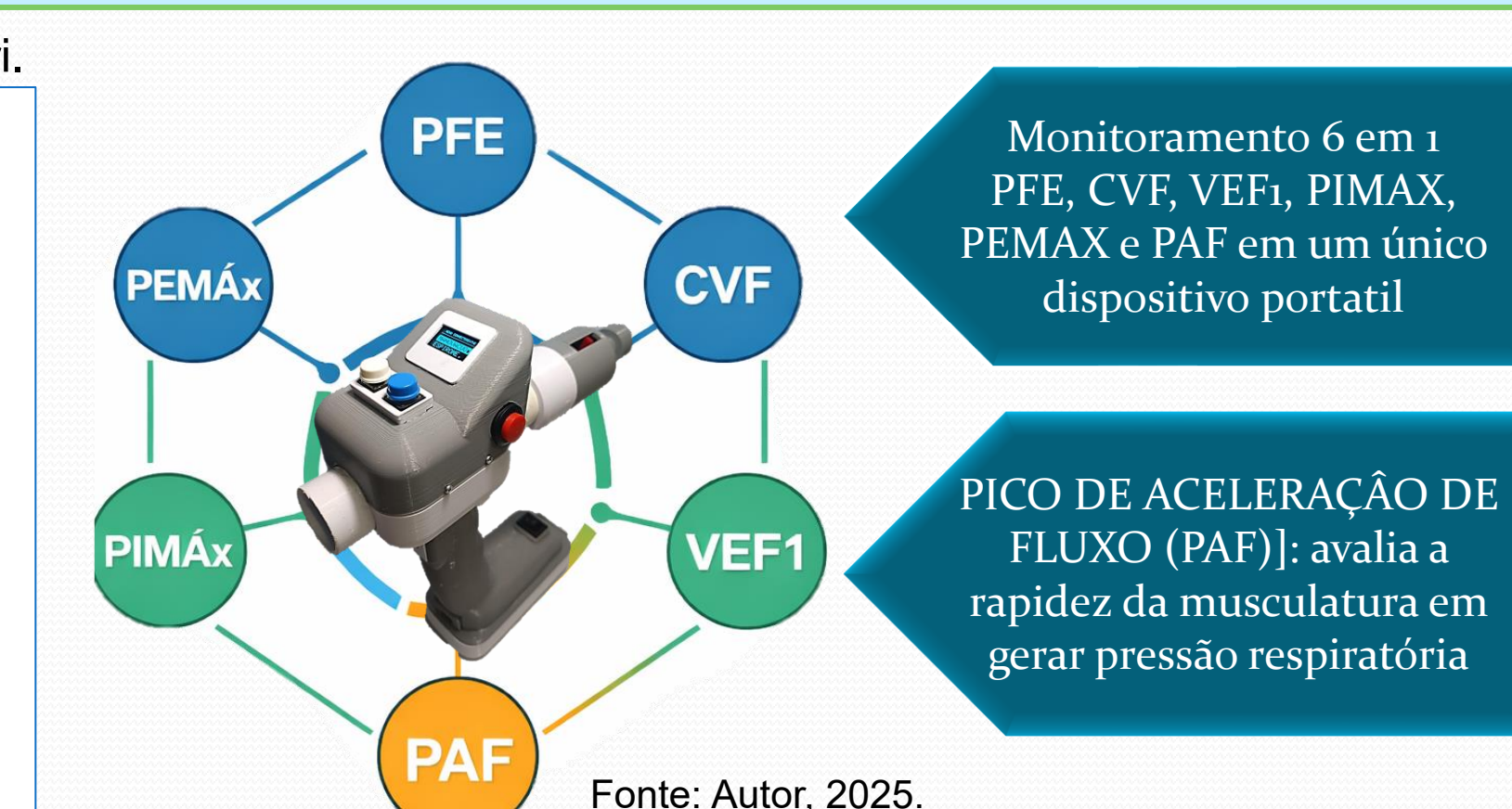
Fonte: Autor, 2025.

Manovacuometria Integrada: Apresentou **alta correlação com o padrão-ouro (R² = 0,99)**, reduzindo o erro de **7,16% para 1,6%** após calibração. A análise de **Bland-Altman** indicou ausência de erro sistemático, com **viés (bias) de 0,0138**.

Gráfico 3– Dados do ConnectBreathe e do manômetro



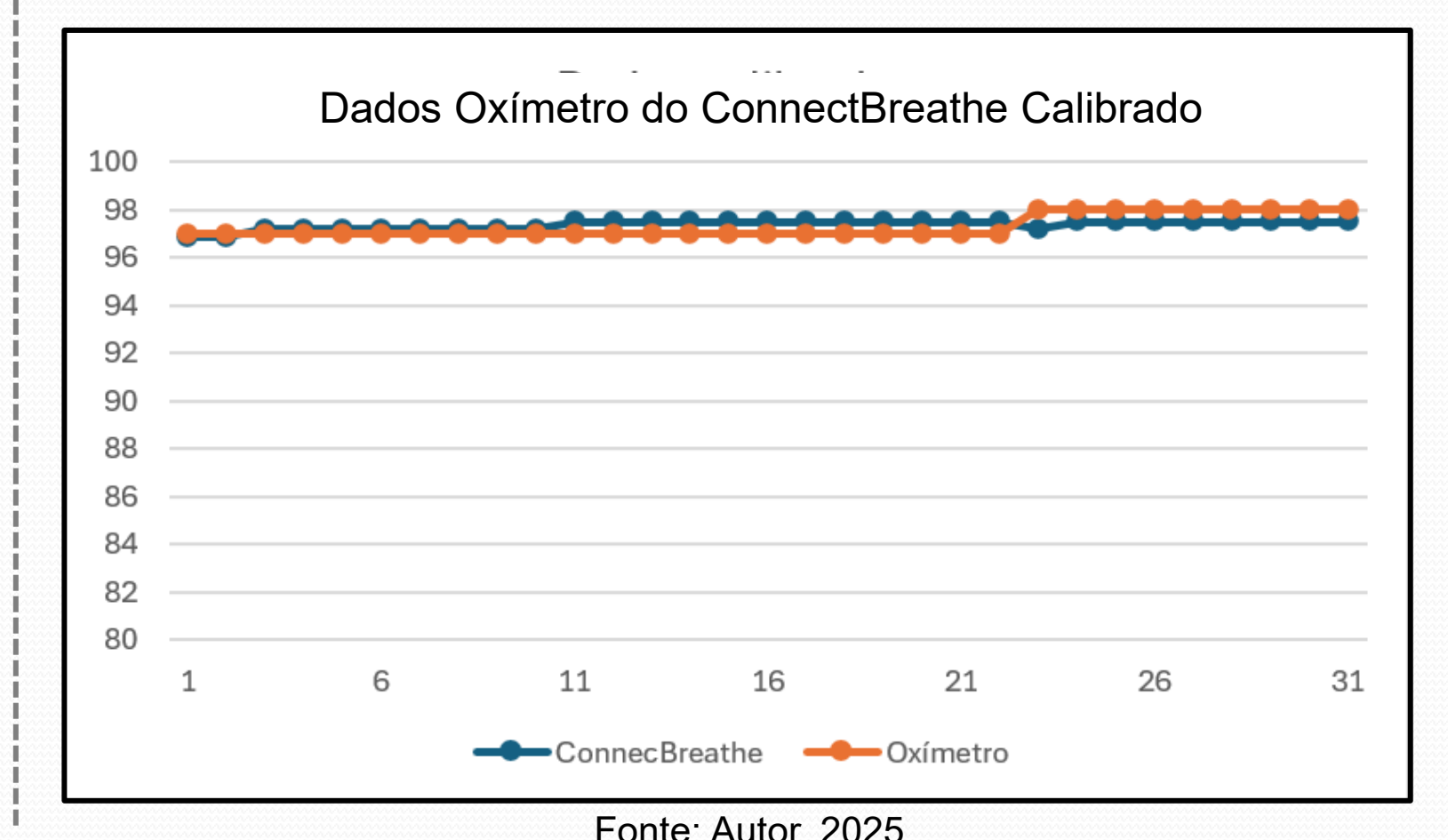
Fonte: Autor, 2025.



Fonte: Autor, 2025.

Oximetria (SpO₂): O sensor integrado apresentou **erro médio de 0,41%** em relação ao oxímetro de referência (G-tech). A análise de **Bland-Altman** indicou **viés de 0,214%**, sem evidência de erro sistemático.

Gráfico 4 – Dados do oxímetro e do ConnectBreathe



Fonte: Autor, 2025.

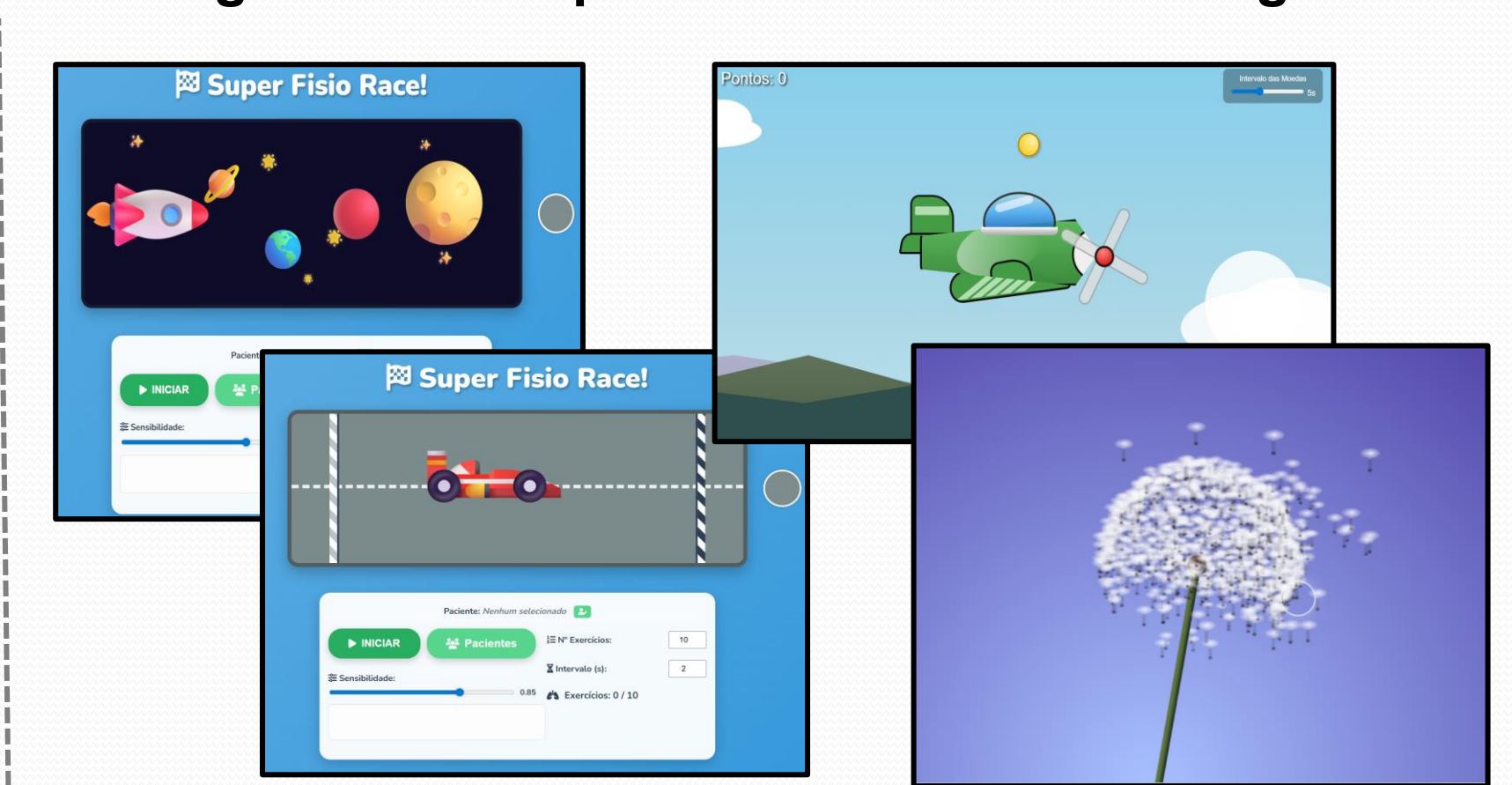
Interface e Gameterapia: O sistema permitiu a mensuração simultânea de **seis parâmetros (PFE, CVF, VEF1, PAF, PImáx e PEmáx)**. A interface em **HTML/JS** viabilizou monitoramento via **Bluetooth/Serial** conforme **ATS/ERS** e **SBPT**, enquanto a gameterapia promoveu maior adesão por **biofeedback lúdico**.

Figura 8 – Jogos digitais Games e interfaces para celulares e computadores



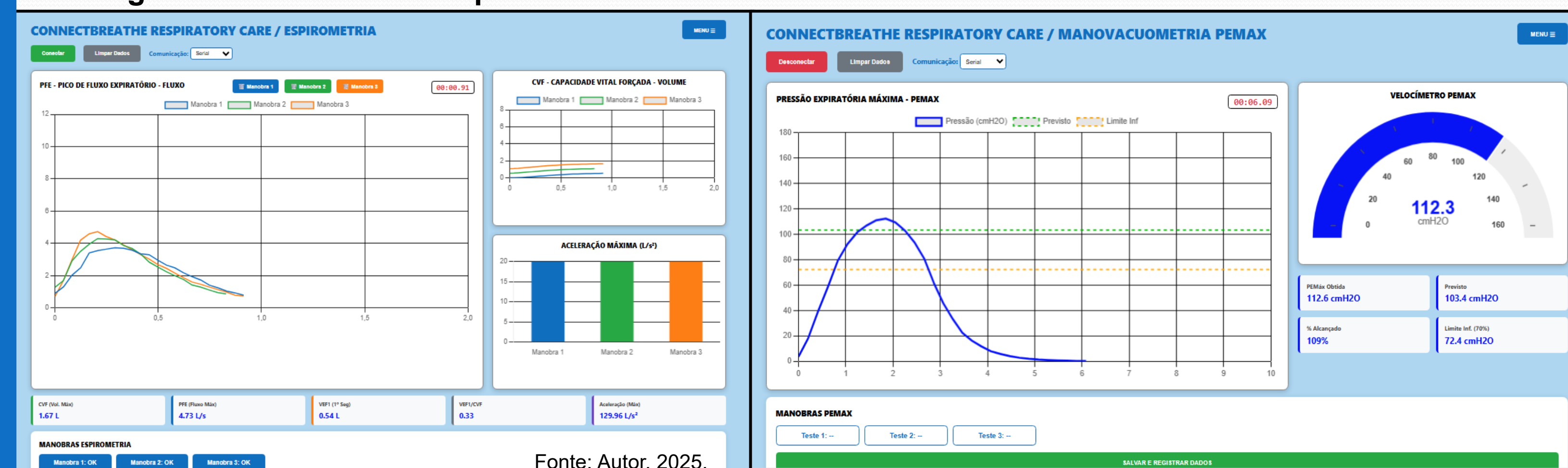
Fonte: Autor, 2025.

Figura 10- Tela para manovacuometria digital



Fonte: Autor, 2025.

Figura 9 - Interface de Espirometria.



Fonte: Autor, 2025.

O **ConnectBreathe** consolidou-se como uma plataforma biomédica multifuncional e de baixo custo, capaz de mensurar com precisão parâmetros respiratórios e oximetria, validando o **tubo de Venturi** como solução estável e descartando sensores inadequados. A integração de **calibração de alta fidelidade**, novos parâmetros diagnósticos (PAF) e **gameterapia com monitoramento remoto** amplia o impacto clínico e social do sistema, democratizando o acesso ao diagnóstico e à reabilitação respiratória.

REFERENCIAL TEÓRICO

AMERICAN THORACIC SOCIETY; EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY. **Standardisation of Spirometry. "European Respiratory Journal"**, v. 26, n. 2, p. 319-338, 2005. PEREIRA, Carlos Alberto de Castro. **Espirometria. Jornal Brasileiro de Pneumologia**, vol. 28, supl. 3, outubro de 2002. Disponível em: https://cdn.publisher.gn1.link/jornaldepneumologia.com.br/pdf/Suple_139_45_11%20Espirometria.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025. ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **OPAS e OMS debatem COVID longa e impactos das mudanças climáticas na saúde, em sessão do G20 no Brasil**. 6 jun. 2024. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/6-6-2024-opas-e-oms-debateram-covid-longa-e-impactos-das-mudancas-climaticas-na-saude-em>. Acesso em: 15 mai. 2025..