

Uma solução para o monitoramento do Pico de Fluxo em pacientes respiratórios

Tiago Jardim^{1,2}, Vitor Ferreira^{1,2}, Danuza Corrêa²,
Vanessa Barcellos³, Érico Amaral¹, Julio Domingues¹

¹Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS

²BienTech – RS ³ PPG em Ciências Pneumológicas – FAMED/UFRGS – RS

tiagojardim.aluno@unipampa.edu.br, vitordsf.aluno@unipampa.edu.br

danuzatcorrea@gmail.com, vanessaabarcellos@gmail.com

ericoamaral@unipampa.edu.br, juliiodomingues@unipampa.edu.br

Abstract. *The management of chronic lung diseases, such as Asthma and COPD, requires continuous monitoring to mitigate the risk of severe exacerbations. This paper presents a digital health ecosystem that integrates a digital Peak Expiratory Flow (PEF) meter, a gamified mobile application, and a web portal for clinical management. The solution innovates by automating physiological data collection via Bluetooth Low Energy (BLE) and integrating it with Patient-Reported Outcomes (PROs), specifically the Asthma Control Test (ACT) and COPD Assessment Test (CAT) questionnaires. The system utilizes cloud infrastructure and data intelligence to provide evolutionary dashboards and actionable alerts, enabling predictive medical interventions.*

Resumo. *O manejo de doenças pulmonares crônicas, como Asma e DPOC, exige monitoramento contínuo para mitigar o risco de exacerbações graves. Este trabalho apresenta um ecossistema de saúde digital que integra um medidor de Pico de Fluxo Expiratório (PEF) digital, um aplicativo móvel gamificado e um portal web para gestão clínica. A solução inova ao automatizar a coleta de dados fisiológicos via Bluetooth Low Energy (BLE) e integrá-los a desfechos relatados pelo paciente (PROs), especificamente os questionários Asthma Control Test (ACT) e COPD Assessment Test (CAT). O sistema utiliza uma infraestrutura em nuvem e inteligência de dados para fornecer dashboards evolutivos e alertas acionáveis, permitindo intervenções médicas preditivas.*

1. Introdução

As doenças respiratórias crônicas, com destaque para a Asma e a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), constituem uma das principais causas de morbimortalidade global. O controle eficaz dessas condições depende de um monitoramento contínuo da função pulmonar, fundamental para a detecção precoce de exacerbações e o ajuste terapêutico oportuno [Pereira 2007]. Historicamente, essa avaliação dependia de visitas esporádicas ao consultório, mas a necessidade de soluções de telemonitoramento e saúde digital consolidou-se rapidamente nos últimos anos [WHO 2023].

O acompanhamento domiciliar robusto sustenta-se em um tripé de informações multidimensionais: dados objetivos fisiológicos, como o Pico de Fluxo Expiratório (PEF)

[SBPT 2024], aliados a dados subjetivos de impacto e controle, mensurados pelos questionários *COPD Assessment Test* (CAT) e *Asthma Control Test* (ACT). Neste cenário, a integração de sensores digitais e plataformas móveis permite a coleta de dados em tempo real, superando as limitações de rastreabilidade dos registros manuais e promovendo maior engajamento do paciente através de *feedbacks* imediatos e gamificação [Vargas et al. 2023, Mikalsen et al. 2019]. Internacionalmente, países europeus já lideraram esse movimento através de modelos que estabelecem caminhos claros de integração clínica [WHO 2023, ERS 2022].

Neste contexto, este artigo descreve o desenvolvimento e a arquitetura de uma plataforma tecnológica integrada que conecta um medidor digital de *Peak Flow*, um aplicativo móvel e um portal web. O objetivo é automatizar o monitoramento de pacientes e consolidar o referido tripé de informações, permitindo que profissionais de saúde acompanhem a evolução em tempo real e recebam alertas acionáveis. Para isto, o texto está estruturado da seguinte forma: a metodologia na seção 2, a base teórica na seção 3, os trabalhos correlatos na seção 4, a arquitetura da plataforma na seção 5, os resultados na seção 6 e as conclusões na seção 7.

2. Metodologia

O desenvolvimento do ecossistema seguiu uma abordagem de engenharia de software baseada em um ciclo de vida incremental. O processo foi conduzido em etapas cíclicas, iniciando-se pelo levantamento de requisitos clínicos estritamente fundamentados nas diretrizes da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia [SBPT 2024]. Esta fase foi essencial para a modelagem de uma arquitetura cliente-servidor capaz de garantir o armazenamento longitudinal e a rastreabilidade necessária para o suporte à decisão clínica.

A *stack* tecnológica foi selecionada com foco em desempenho, segurança e portabilidade, estabelecendo uma separação clara entre as camadas de apresentação, aplicação e persistência. O sistema foi desenvolvido utilizando o *framework* Flutter para o aplicativo móvel e o *framework* Laravel (PHP) para a plataforma web, ambos sustentados por um banco de dados relacional PostgreSQL. O desenvolvimento viabilizou a integração direta do *hardware* de *Peak Flow* digital via protocolo *Bluetooth Low Energy* (BLE), possibilitando que os algoritmos processem as manobras expiratórias do usuário em tempo real.

A fase final metodológica consistiu na validação técnica preliminar, na qual foram realizados testes funcionais em ambiente de homologação. Estes testes visaram verificar a precisão do sistema ao confrontar o Pico de Fluxo Expiratório (PEF) medido com os valores preditos individualizados, garantindo que a solução opere em estrita conformidade com o rigor clínico exigido [Vargas et al. 2023].

3. Referencial Teórico

A integração de dispositivos de monitoramento remoto na prática clínica, exemplificada por modelos europeus como o *NHS At Home*, demonstra que a eficácia da saúde digital exige uma infraestrutura que garanta a rastreabilidade e a longitudinalidade dos dados [WHO 2023, ERS 2022]. Neste cenário, o Pico de Fluxo Expiratório (PEF) destaca-se como medida essencial de avaliação do calibre das grandes vias aéreas. Sua interpretação

clínica fundamenta-se na comparação com o valor predito populacional [Pereira 2007], estratificando o paciente em zonas de risco: Verde ($\geq 80\%$, adequado), Amarela (50–79%, alerta) e Vermelha ($< 50\%$, crítico) [Wright and McKerrow 1959].

Complementarmente à avaliação fisiológica, a mensuração de Desfechos Relatados pelo Paciente (PROs) através de questionários padronizados, como o ACT e o CAT, é indispensável para avaliar o impacto da doença na qualidade de vida [GINA 2025]. Entretanto, a literatura adverte que a eficácia desse telemonitoramento contínuo é frequentemente limitada pela baixa adesão a longo prazo. Para solucionar este obstáculo, a incorporação de elementos lúdicos e *feedbacks* visuais em rotinas de testes médicos melhora significativamente a aderência ao tratamento, conforme explorado por [Vargas et al. 2023].

A convergência destes conceitos teóricos estabelece a base de engenharia da plataforma desenvolvida. Ao invés de tratar a coleta de fluxo de ar e os questionários de sintomas como processos isolados, o sistema integra essas teorias em um fluxo de monitoramento unificado. A gamificação atua, portanto, não apenas como entretenimento, mas como um mecanismo clínico ativo para garantir o esforço expiratório máximo durante a manobra de sopro digital, assegurando a fidedignidade dos dados que alimentarão a tomada de decisão médica.

4. Trabalhos Correlatos

A literatura recente tem explorado soluções digitais que fundamentam a viabilidade técnica do telemonitoramento respiratório, com foco na automação da coleta de dados e no engajamento de pacientes. Neste sentido, a pesquisa de [Mikalsen et al. 2019] investigou a eficácia de um sistema que utiliza aplicativos de *smartphone* para capturar e transmitir dados de Pico de Fluxo Expiratório (PEF) em crianças asmáticas, demonstrando que a automação do registro e o *upload* automático para servidores remotos aumentam consideravelmente a praticabilidade do monitoramento fora do ambiente clínico. Complementarmente, [Edwards et al. 2020] reforçam a robustez da arquitetura de ecossistemas conectados via *Bluetooth*, integrando espirômetros digitais a aplicativos para a coleta de medidas objetivas e sintomas subjetivos. O estudo longitudinal de [Edwards et al. 2020] validou o modelo estrutural de fluxo de dados (dispositivo, aplicativo e *back-end*) para o acompanhamento profissional de longo prazo, evidenciando o valor clínico de dados serializados para a gestão de condições pulmonares crônicas.

Um fator preponderante para a eficácia dessas ferramentas está diretamente ligado à adesão do paciente aos protocolos de uso. Nesse sentido, [Jácome et al. 2021] avaliaram o uso de aplicativos que incorporam estratégias de gamificação e suporte social para motivar a adesão ao tratamento. Os resultados indicam que o engajamento é sustentado de forma eficaz quando a ludicidade está acoplada a um fluxo de valor clínico claro, transformando a rotina de cuidados em uma experiência positiva.

Em síntese, embora a literatura apresente soluções promissoras para a captura de dados espirométricos [Mikalsen et al. 2019, Edwards et al. 2020] e estratégias isoladas de engajamento lúdico [Jácome et al. 2021], a plataforma proposta avança ao integrar estes conceitos em um único ecossistema. Enquanto grande parte das soluções atuais foca em módulos fragmentados oferecendo apenas o diário digital ou apenas a gamificação, este trabalho se diferencia por propor a integração síncrona de três eixos: a medição obje-

tiva automatizada (BLE), a avaliação subjetiva de impacto (questionários ACT e CAT) e a gamificação como mecanismo ativo de engajamento clínico. Essa união preenche uma lacuna tecnológica, mitigando o risco de abandono do tratamento e estabelecendo uma infraestrutura completa e pronta para futura interoperabilidade de dados no apoio à decisão médica.

5. Arquitetura e Desenvolvimento da Plataforma

A plataforma proposta foi concebida como um ecossistema digital multicamada para o monitoramento respiratório remoto, estruturada no modelo cliente-servidor com separação clara entre as camadas de apresentação, aplicação e persistência. O sistema integra medidas objetivas de função pulmonar via Pico de Fluxo Expiratório (PEF) a instrumentos validados de avaliação subjetiva, especificamente os questionários Asthma Control Test (ACT) e COPD Assessment Test (CAT).

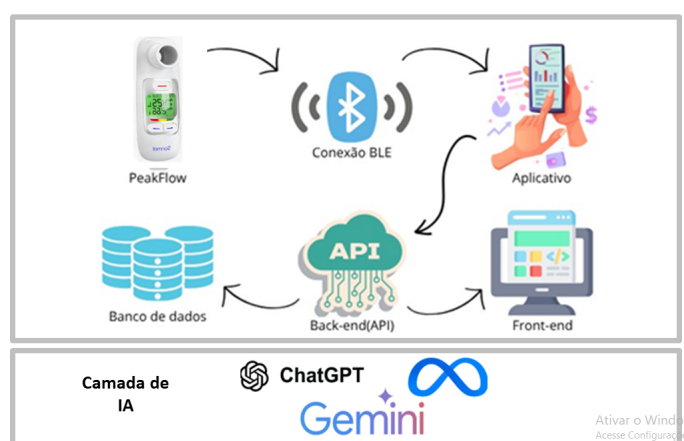


Figura 1. Arquitetura proposta

A arquitetura geral e o fluxo de interação entre os componentes estão ilustrados na Figura 1, evidenciando a jornada do dado desde a coleta no dispositivo até a visualização clínica. A solução utiliza uma API RESTful (Interface de Programação de Aplicações baseada no estilo arquitetural *Representational State Transfer*), que atua como um intermediário padronizado para a recepção e o envio de dados entre o aplicativo móvel e o servidor. Essa comunicação ocorre de forma segura via protocolo HTTPS com autenticação baseada em tokens JWT, garantindo a integridade e o sigilo das informações de saúde.

5.1. Camada do Paciente e Coleta de Dados

O *front-end* móvel foi desenvolvido com o *framework* Flutter, permitindo uma base de código única para Android e iOS, o que assegura a padronização da interface e a eficiência no desenvolvimento. O aplicativo atua como a interface primária de coleta, onde o paciente realiza o registro diário do PEF. Seguindo recomendações clínicas internacionais [SBPT 2024], o sistema implementa a regra de três medições consecutivas, selecionando e armazenando automaticamente apenas o maior valor obtido para garantir a fidedignidade do esforço expiratório. Além dos dados fisiológicos, o usuário responde aos questionários ACT e CAT em escala Likert estruturada.

A lógica de classificação integrada ao aplicativo calcula o percentual do valor predito, utilizando a Equação 1:

$$\%Predito = \left(\frac{PEF_{medido}}{PEF_{predito}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Nesta equação, o PEF_{medido} corresponde ao valor real aferido pelo dispositivo durante a manobra respiratória, enquanto o $PEF_{predito}$ representa o valor ideal esperado, calculado previamente com base nas características antropométricas do paciente (idade, altura e sexo). A partir deste percentual, o sistema sinaliza o estado atual do paciente através de zonas de risco: Verde ($\geq 80\%$), Amarela ($50\%–79\%$) e Vermelha ($< 50\%$).

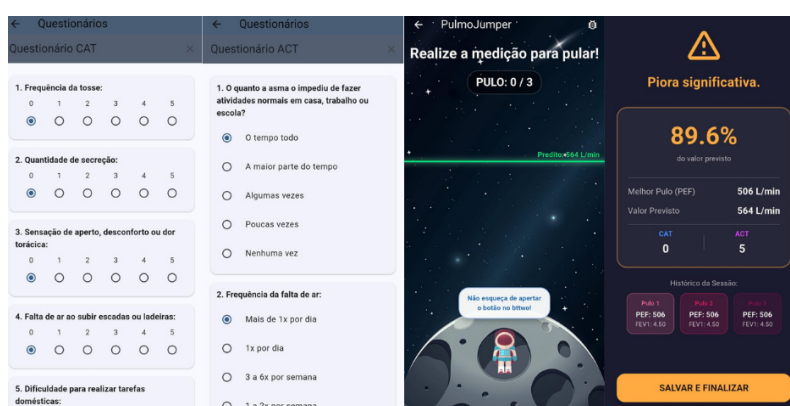


Figura 2. Interface móvel de coleta e gamificação

Para combater a baixa adesão ao tratamento e garantir a correta execução das manobras, a camada do paciente incorpora um sistema de gamificação integrado diretamente à interface de coleta. Durante as medições, o paciente interage com um ambiente lúdico onde o esforço expiratório detectado pelo nó sensor converte-se em ações visuais instantâneas na tela, como a movimentação de um avatar que realiza um "pulo" proporcional à força do sopro. Além do *feedback* visual imediato para incentivar o esforço máximo, o sistema rastreia o progresso contínuo, recompensando o usuário com pontos, progressão de níveis e conquistas (*badges*) baseados na sua assiduidade diária (*streaks*) e no preenchimento correto dos dados. Esta interface gamificada (Figura 2) transforma uma rotina médica frequentemente cansativa em uma atividade motivadora, garantindo a fidelidade dos dados coletados.

5.2. Gestão Clínica e Inteligência de Dados

A camada administrativa e o *back-end* operam em um servidor na nuvem sob uma estrutura *Software as a Service* (SaaS), construída utilizando o *framework* Laravel (PHP) no padrão arquitetural MVC (*Model-View-Controller*). O núcleo do sistema é constituído por um motor de regras que processa as informações recebidas em tempo real. Este *back-end* aplica a Equação de [Pereira 2007], cruzando os valores medidos pelo *Peak Flow* com as variáveis antropométricas do paciente (idade, altura e sexo) para calcular o percentual do previsto. Com base nesses cálculos e nas respostas dos questionários ACT e CAT, o sistema classifica o estado atual do paciente em zonas de risco e aciona um sistema de notificações de alertas multinível.

Estes alertas são gerados com diferentes graus de severidade, variando de informativos a críticos, dependendo dos dados coletados. Por exemplo, uma queda brusca no PEF combinada com um relato de dispneia no questionário dispara um alerta de nível alto. Esta lógica permite que o sistema lance notificações proativas tanto para o paciente, orientando-o imediatamente, quanto para o profissional de saúde, sinalizando a necessidade de intervenção.

A gestão médica de todo o processo é centralizada no Portal Web, uma plataforma online segura que permite que diversas clínicas e médicos utilizem o sistema simultaneamente, mas com seus dados totalmente separados e protegidos (arquitetura *multi-tenant*). Neste ambiente, as informações coletadas são organizadas em gráficos que facilitam o acompanhamento de cada paciente de forma individualizada.

Complementarmente, a arquitetura da plataforma prevê uma camada de Inteligência Artificial (IA) integrada (conforme ilustrado na Figura 1). É importante ressaltar que, nesta fase de Produto Mínimo Viável (MVP), o acionamento de alertas críticos é regido estritamente por lógica programada baseada em diretrizes clínicas (matriz de decisão). A IA, por sua vez, atua sob demanda do profissional para gerar *insights* e sumarizações baseadas no histórico de dados do paciente. O objetivo prospectivo desta camada é utilizar a base histórica crescente de medições fisiológicas (PEF) e de respostas aos questionários (ACT e CAT) para, futuramente, treinar modelos preditivos próprios capazes de identificar padrões sutis de progressão clínica. Essa evolução visa suportar a decisão médica de forma ainda mais automatizada e garantir que a plataforma esteja preparada para trocar dados com outros sistemas hospitalares, adotando padrões globais de interoperabilidade em saúde, como o HL7 FHIR.

5.3. Modelagem e Persistência

A camada de persistência utiliza o SGBD PostgreSQL, escolhido por sua robustez e suporte rigoroso à integridade referencial. A modelagem do banco de dados baseia-se em um Modelo Entidade-Relacionamento (MER) que suporta relações complexas (N:N) entre pacientes, profissionais e diagnósticos. A entidade central "Coletas" armazena o valor do PEF, o percentual calculado e os campos individuais das escalas ACT e CAT, utilizando *constraints* do tipo CHECK para validar os intervalos das respostas. Para otimizar a performance em consultas clínicas de longo prazo, foram implementados índices específicos em campos de *timestamp*, garantindo que a análise histórica do paciente seja ágil e precisa, mesmo com o crescimento volumétrico da base de dados.

5.4. Modelo Integrado de Classificação de Risco

O diferencial tecnológico da plataforma reside no seu algoritmo de interpretação combinada, que identifica e processa a análise isolada de métricas funcionais. Enquanto sistemas convencionais focam apenas no valor numérico do PEF, o sistema correlaciona este dado objetivo com as respostas subjetivas dos instrumentos ACT e CAT, permitindo uma estratificação de risco mais fidedigna ao estado clínico real do paciente. Esta lógica está consolidada no Tabela 1, que apresenta a matriz de decisão utilizada pela plataforma. O sistema processa os dados recebidos e classifica o paciente em três níveis críticos: o "Controle Bom", onde há harmonia entre função pulmonar preservada ($\geq 80\%$) e baixo impacto de sintomas; o "Controle Parcial", que sinaliza uma zona de alerta para ajustes terapêuticos; e a "Crise Iminente", que identifica quedas acentuadas na função pulmonar

(< 50%) ou escores de controle muito baixos, disparando alertas imediatos para a equipe de saúde através do portal web.

Tabela 1. Matriz de Decisão

Estado do Paciente	PEF (Objetivo)	ACT (Controle)	CAT (Impacto)	Ação Recomendada
Controle Bom	> 80%	≥ 20	≤ 10	Manter rotina de monitoramento
Controle Parcial	50%–79%	16–19	11–20	Alerta: Ajustar plano terapêutico
Crise Iminente	< 50%	≤ 15	> 20	Urgência: Intervenção imediata

Esta abordagem integrada permite identificar, por exemplo, casos onde o paciente possui uma função pulmonar normal, mas apresenta um alto impacto subjetivo (CAT elevado), sugerindo a necessidade de uma revisão clínica proativa.

6. Resultados e Discussões

A materialização da plataforma proposta resultou em um ecossistema funcional de *HealthTech*, atualmente em estágio de Produto Mínimo Viável (MVP). Para validar a eficácia científica e a viabilidade técnica da solução, a ferramenta foi submetida a uma bateria de experimentos práticos e de integração em ambiente de homologação. Os testes tiveram como objetivo comprovar a correta captura de dados pelo nó sensor, o processamento algorítmico das regras de negócio e a eficácia da arquitetura de segurança e privacidade.

A validação técnica da integração confirmou que a comunicação *Bluetooth Low Energy* (BLE) entre o hardware homologado e o aplicativo móvel ocorreu sem perda de pacotes, garantindo que a extração dos valores fisiológicos do esforço expiratório fosse registrada de forma fidedigna. O emprego de uma *whitelist* de endereços MAC bloqueou com sucesso tentativas simuladas de conexão por dispositivos não autorizados, atestando a integridade do nó sensor na extremidade do paciente. Além disso, a arquitetura de privacidade baseada em gestão de vínculos bidirecionais confirmou o cumprimento da LGPD, assegurando que o acesso aos prontuários sensíveis só fosse liberado aos profissionais mediante o consentimento explícito dos pacientes.

6.1. Experimentos e Validação Clínica Simulada

Para aferir o rigor científico do motor de regras, conduziu-se uma simulação controlada baseada em quatro perfis antropométricos distintos, desenhados para cobrir diferentes faixas etárias e biotipos. Esta diversidade é crítica, pois as variáveis de idade, altura e sexo são as constantes que controlam o cálculo do valor predito pela Equação de [Pereira 2007]. Foram realizadas 27 coletas híbridas, um volume definido para permitir a exaustão das combinações possíveis entre as três zonas de risco (Verde, Amarela e Vermelha) e os diferentes níveis de impacto dos questionários ACT e CAT. O critério de sucesso para a validação técnica foi a correspondência determinística de 100% entre a classificação gerada pelo sistema em nuvem e o estado clínico esperado para cada entrada sintética. A etapa de inserção de dados foi validada através do aplicativo móvel (Figura 2), onde os perfis simulados registraram os questionários juntamente com as manobras expiratórias, utilizando a interface gamificada para testar o fluxo de engajamento na coleta.

Após a recepção dos dados na estrutura em nuvem (*SaaS*), o motor de regras do *back-end* processou as informações em tempo real. O sistema aplicou corretamente a Equação do Predito de [Pereira 2007], cruzando os valores medidos pelo *Peak Flow* com as variáveis antropométricas de cada perfil simulado. Com base nesses cálculos e nas respostas dos questionários, o algoritmo categorizou com sucesso todas as 27 amostras em suas respectivas zonas de risco.

A consolidação desses resultados foi validada no Portal Web do profissional de saúde. Verificou-se que o isolamento de dados funcionou corretamente, permitindo a visualização individualizada e segura. A Figura 3 apresenta o painel analítico gerado durante a simulação, demonstrando a plotagem longitudinal da evolução clínica. Neste ambiente, também foram estruturados os fluxos de dados que alimentarão o futuro modelo preditivo integrado, projetado para identificar padrões contínuos e fornecer suporte estratégico nas tomadas de decisões clínicas.

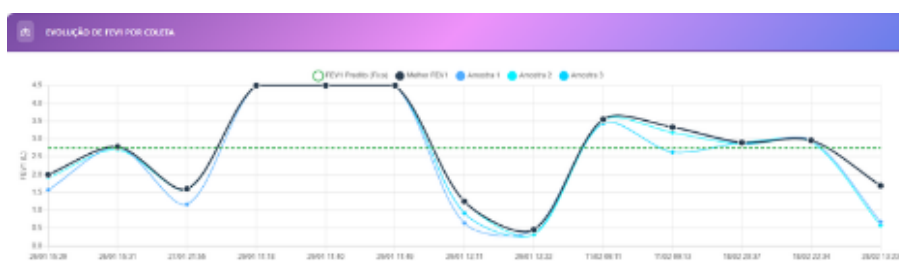


Figura 3. Dashboard analítico do profissional de saúde

Por fim, os experimentos testaram a sensibilidade do sistema de notificações multinível. Durante a simulação de um dos cenários, a injeção de uma queda brusca no PEF, combinada a um relato de sintomas severos no questionário, fez com que o sistema enquadrasse o paciente na regra de "Crise Iminente" da Matriz de Decisão (Tabela 1). Como resultado esperado, a plataforma disparou imediatamente um alerta de nível alto para o painel do profissional de saúde (Figura 4), comprovando a capacidade do ecossistema de lançar notificações proativas baseadas em lógica clínica e sinalizar a necessidade de intervenção urgente.

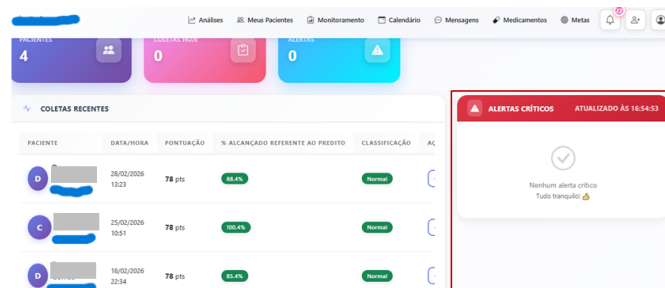


Figura 4. Alerta de Crise

Na Figura 5 estão destacadas cinco funcionalidades-chave da plataforma: "A" é o módulo de Análises, que permite a comparação e observação da evolução do paciente em um determinado período, com o apoio de uma ferramenta de Inteligência Artificial

generativa integrada para o fornecimento de *insights* contextuais; o item "B" aponta a aba de Monitoramento, onde é apresentada a relação de pacientes e o acesso aos registros destes no item "C". O item "D" demonstra a aba para a configuração da Meta de coletas de cada paciente, instrumento necessário para o acompanhamento efetivo e engajamento do usuário (indivíduos em crise devem realizar um número maior de coletas ao longo do dia e, em contrapartida, crianças podem realizar poucas coletas). Por fim, o item "E" mostra a aba de notificação de vínculos, módulo que alerta o profissional de saúde sobre os novos pacientes que solicitam vínculo de atendimento. Neste sentido, o vínculo pode ser solicitado tanto pelo profissional quanto pelo paciente, porém, em ambos os casos, o aceite para vinculação deve ser realizado apenas por quem está recebendo a solicitação.

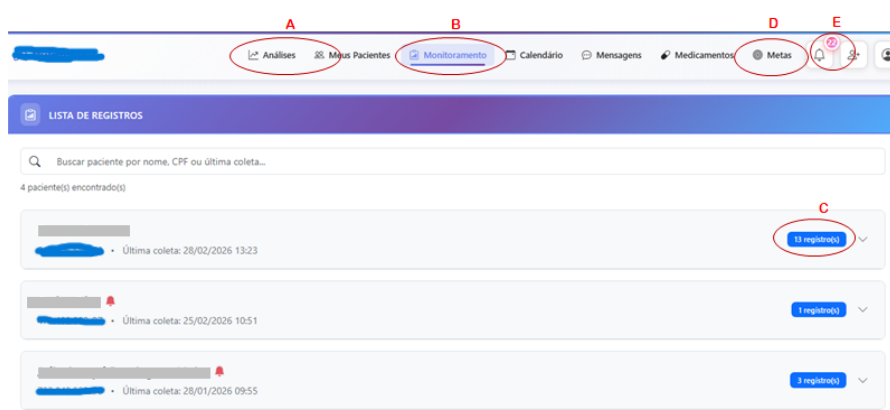


Figura 5. Funcionalidades Chave do Portal Web

A estruturação destas interfaces garante que o portal web cumpra todos os requisitos de gestão proativa e segurança da informação exigidos pelo projeto.

6.2. Experimentos e Validação Técnica

Com a versão beta finalizada, e para garantir a confiabilidade do sistema antes de sua implementação em ambiente clínico real, a equipe do projeto conduziu uma bateria de testes funcionais e de integração. A validação técnica foi realizada por meio de simulações controladas, visando testar o fluxo completo de dados ilustrado na arquitetura do sistema. Foram cadastrados quatro perfis de pacientes simulados (Paciente A, B, C e D), totalizando 27 coletas de dados realizadas com o dispositivo *Peak Flow* digital.

Os experimentos iniciais focaram na validação da comunicação via *Bluetooth Low Energy* (BLE) entre o *hardware* e o aplicativo móvel, bem como na persistência dessas informações no banco de dados PostgreSQL por meio da API REST. Através das coletas realizadas, foi possível verificar que a hierarquia de acesso do sistema permitiu que os perfis profissionais visualizassem apenas os dados, de forma completa, de todos os pacientes a eles vinculados, conforme as políticas de segurança implementadas. Além disso, a plataforma processou corretamente os cálculos do percentual predito, com base nos dados basais (idade, sexo e altura) dos pacientes simulados, permitindo a correta estratificação por zonas.

Em relação às notificações de alerta, os dados coletados do Paciente A (13 registros) exemplificam a sensibilidade do sistema em identificar variações funcionais. Registros simulados demonstraram a transição automática e correta entre a Zona Verde (506,00 L/min - 101,2%), Zona Amarela (392,00 L/min - 78,4%) e Zona Vermelha (124,00 L/min - 24,8%), disparando instantaneamente as notificações correspondentes para o painel médico. A Tabela 2 apresenta os dados das últimas coletas consolidadas durante os experimentos:

Tabela 2. Simulação da coleta de dados

Paciente	Total de Coletas	Status da Última Coleta	Zona de Risco Detectada
Paciente A	13	442,00 L/min	Verde
Paciente B	10	472,00 L/min	Verde
Paciente C	3	513,00 L/min	Amarela
Paciente D	1	512,00 L/min	Verde

A integração dos dados subjetivos também foi validada, como observado nos registros do Paciente B, onde o sistema consolidou o PEF com os escores de CAT (10) e ACT (21). Esses testes confirmaram que a Matriz de Decisão Clínica (Tabela 1) opera conforme o esperado, fornecendo alertas acionáveis aos profissionais de saúde e auxiliando no autoconhecimento do paciente sobre sua condição respiratória através da correlação entre medidas objetivas e percepção de sintomas.

Como etapa final dos experimentos, foi validada a funcionalidade de análise da plataforma, a qual permite a consolidação do monitoramento clínico ao oferecer uma visão estatística e evolutiva detalhada, facilitando a identificação imediata de tendências de melhora ou piora na tabela do paciente. No caso do Paciente A, o sistema processou um total de 13 medições no período selecionado, calculando métricas fundamentais como a média (448,08 L/min), mediana (473,00 L/min) e desvio padrão (107,99 L/min) para o Pico de Fluxo Expiratório (PEF) (Figura 6), além de monitorar a variação percentual em relação ao valor predito, que apresentou uma oscilação entre o mínimo de 24,8% e o máximo de 119,8% (Figura 7).

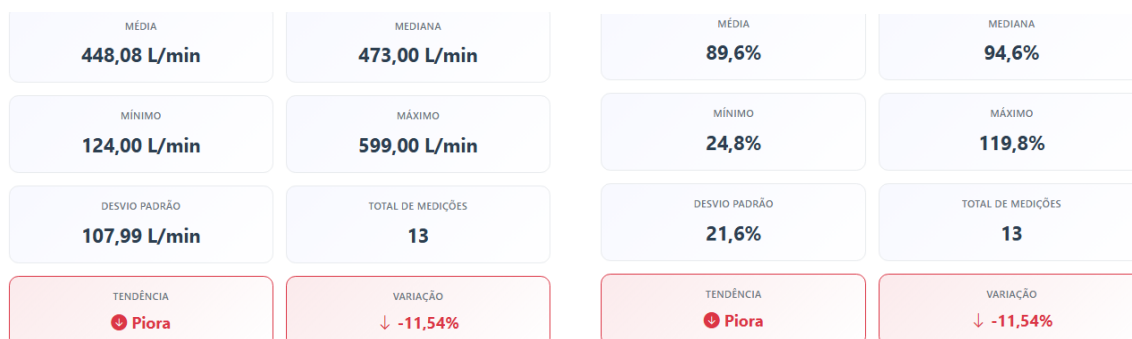


Figura 6. Métricas das coletas

Figura 7. Variação das coletas

Considerando as limitações visuais inerentes a capturas de tela em publicações impressas, a análise quantitativa descritiva extraída do sistema torna-se fundamental para

a avaliação clínica. Através dos gráficos de evolução temporal para PEF e VEF1 (Figura 8), a plataforma correlacionou com precisão as amostras capturadas sincronamente pelo dispositivo digital que fornece tanto o fluxo de pico quanto o volume expirado no primeiro segundo com o valor predito fixo estabelecido por [Pereira 2007]. Durante a simulação dos dados longitudinais, a plotagem gráfica evidenciou claramente a trajetória clínica do paciente, confirmando visualmente o episódio de queda funcional aguda (onde o PEF despencou para 124,00 L/min). Essa capacidade do sistema em automatizar a distribuição temporal por classificação de gravidade, unida ao cálculo de indicadores de tendência de piora, compensa a falta de legibilidade de registros manuais e fornece ao profissional de saúde uma base quantitativa robusta para justificar ajustes terapêuticos e intervenções preventivas.

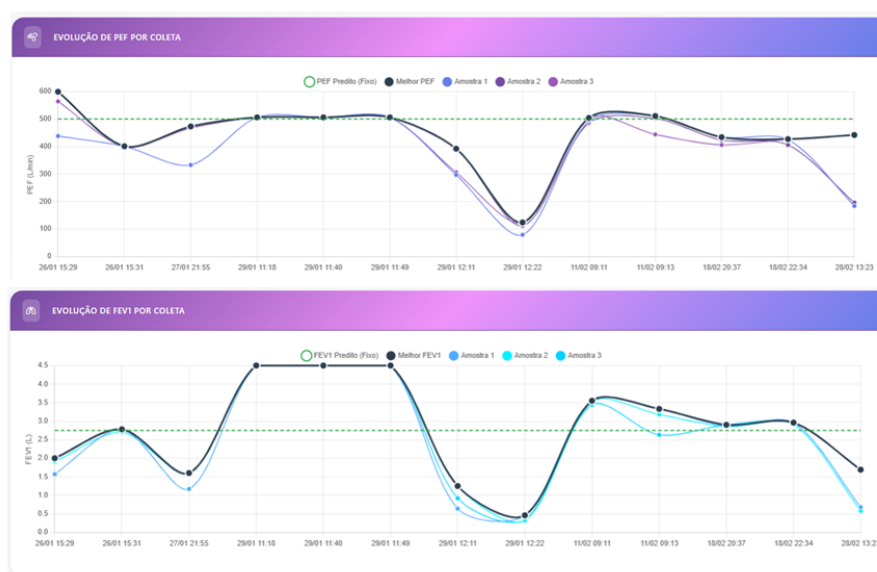


Figura 8. Evolução temporal para PEF e VEF1

Portanto, a visualização gráfica encerra a validação técnica do sistema, comprovando sua utilidade prática como ferramenta de apoio à decisão médica.

7. Conclusões

Este trabalho apresentou uma plataforma de saúde digital multicamada que automatiza a coleta do Pico de Fluxo Expiratório via *Bluetooth Low Energy*, eliminando o registro manual e correlacionando dados fisiológicos com desfechos subjetivos (ACT e CAT). Diferente de propostas puramente teóricas, os experimentos realizados com 27 coletas simuladas em ambiente de homologação validaram a eficácia técnica e a estabilidade da arquitetura. O motor de regras processou as equações preditivas brasileiras em tempo real e demonstrou alta sensibilidade ao identificar a transição abrupta de um estado de controle adequado (Zona Verde) para um quadro de exacerbação severa (Zona Vermelha), disparando alertas acionáveis instantaneamente. Estes resultados evidenciam que a substituição de diários de papel por uma abordagem algorítmica reduz de forma efetiva o tempo de resposta médica em situações de crise.

Apesar dos resultados técnicos promissores, o presente estudo reconhece como limitação o uso restrito a perfis simulados para a validação inicial. Embora a plataforma forneça um forte alicerce para decisões clínicas e a gamificação vise mitigar a baixa adesão terapêutica, a eficácia prática desses impactos necessita de validação em um ambiente clínico real.

Portanto, como trabalhos futuros imediatos, destacam-se: (i) a condução de ensaios clínicos com amostras de pacientes reais em ambiente ambulatorial para medir empiricamente o engajamento e a acurácia (sensibilidade e especificidade) do sistema de alertas; (ii) a utilização do crescente volume de dados longitudinais reais para o treinamento e a validação dos modelos de Inteligência Artificial previstos na arquitetura; e (iii) a implementação de protocolos globais de interoperabilidade, como o HL7 FHIR, garantindo que a plataforma se integre de forma fluida ao ecossistema amplo de sistemas de gestão clínica.

Referências

- Edwards, C., Costello, E., Cassidy, N., Vick, B., and Russell, A.-M. (2020). Use of the patientmpower app with home-based spirometry to monitor the symptoms and impact of fibrotic lung conditions: Longitudinal observational study. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(11):e16158.
- ERS (2022). Home spirometry: a review of its current status and future prospects. *European Respiratory Journal*, 60(3). European Respiratory Society.
- GINA (2025). *Global Strategy for Asthma Management and Prevention*. Global Initiative for Asthma.
- Jácome, C. et al. (2021). Feasibility and acceptability of an asthma app to monitor medication adherence: Mixed methods study. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(5):e26442.
- Mikalsen, I. B., Nassehi, D., and Ø ymar, K. (2019). Vortex whistle and smart phone application for peak flow recordings in asthmatic children: A feasibility study. *Telemedicine and e-Health*, 25(11):1077–1082.
- Pereira, C. A. C. (2007). Equações de referência para espirometria em adultos brasileiros. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*.
- SBPT (2024). New spirometry recommendations from the brazilian thoracic association 2024 update. *Jornal de Pneumologia*. Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia.
- Vargas, A. L. et al. (2023). Play blow: Um jogo para auxiliar na fisioterapia respiratória. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS)*.
- WHO (2023). *Global report on chronic respiratory diseases and the role of digital health interventions*. WHO Press. World Health Organization.
- Wright, B. M. and McKerrow, C. B. (1959). Maximum forced expiratory flow rate as a measure of ventilatory capacity. *British Medical Journal*.