

Introdução

O pé diabético é uma das complicações crônicas mais graves e prevalentes do diabetes mellitus, impactando significativamente a morbidade, internações hospitalares e amputações no Brasil e no mundo. Conforme Tavares et al. (2016), os fatores de risco para o surgimento e agravamento de úlceras são multifatores, incluindo idade, tempo de diagnóstico, controle glicêmico (HbA1c), pressão arterial, tabagismo, neuropatia e deformidades anatômicas. Moreira et al. (2017) reforçam que práticas estruturadas de autocuidado, aliados à monitorização sistemática, reduzem riscos e melhoram os prognósticos.

No contexto tecnológico, Okoduwa et al. (2024) destacam a crescente relevância das tecnologias vestíveis, que, integradas a sistemas avançados de análise por inteligência artificial, possibilitam monitoramento contínuo e preditivo, facilitando intervenções precoces. Vieira (2018) e Reis et al. (2010) comprovam a eficácia dos sensores piezoelétricos e das palmilhas instrumentadas em captar sinais fisiológicos estratégicos para prevenção efetiva. Onwukamuche et al. (2023) reforçam a viabilidade técnica do uso do ESP32 para internet das coisas (IoT) no monitoramento plantar.

Borges (2023) e Lourenço (2018), por sua vez, demonstram que dashboards web e interfaces amigáveis são essenciais para amplificar o impacto do monitoramento, facilitando o acompanhamento por profissionais e pacientes. Huang et al. (2023) e Yap et al. (2024) apresentam benchmarks rigorosos para modelos preditivos em saúde, estabelecendo que alcançar F1-score e ROC AUC superiores a 0,90 é condição para adoção clínica segura.

Justificativa

Diversos estudos evidenciam que monitorar apenas a pressão plantar é insuficiente para identificação precoce e prevenção eficaz das úlceras. Godoy da Silva et al. (2023) defendem sistemas assistivos que agreguem variáveis clínicas aos dados sensoriais, aumentando a profundidade e acurácia das análises. Vieira et al. (2016) destacam que múltiplos sensores de baixa custo podem ser acoplados para ampla cobertura fisiológica em palmilhas.

Reis et al. (2010) detalham os desafios técnicos e propondo soluções para a captação confiável de dados biométricos, enquanto Zhang et al. (2023) destacam a relação da deformação do pé e da distribuição da pressão com a progressão das complicações. Okoduwa et al. (2024) e Borges (2023) reforçam que sistemas integrados baseados em IoT são caminhos consistentes para prevenção e monitoramento remoto efetivo, alinhados à política de telemedicina do SUS.

Objetivos

Desenvolver palmilha capaz de medir pressão, temperatura e umidade, conectada ao ESP32, com processamento local e comunicação via Bluetooth/Wi-Fi (Reis et al., 2010; Onwukamuche et al., 2023).

Criar aplicativo móvel e dashboard web para visualização em tempo real dos dados e histórico, com alertas personalizados (Borges, 2023; Lourenço, 2018).

Compilar dados clínicos essenciais (idade, sexo, HbA1c, IMC, neuropatia, histórico de amputação, infecções, tabagismo, alcoolismo) conforme acervo acadêmico e recomendação da literatura (Tavares et al., 2016; Moreira et al., 2017).

Gerar, simular e analisar dados sintéticos para validação inicial do sistema.

Implementar, testar e validar modelos preditivos baseados em machine learning com métricas rigorosas (Huang et al., 2023; Yap et al., 2024).

Estender estudo para inclusão de dados visuais de feridas e avaliação preditiva de evolução de complicações (Yap et al., 2024; Zhang et al., 2023).

Oferecer recomendações automáticas para autocuidado integradas ao sistema, alinhadas às evidências (Moreira et al., 2017).

Preparar protocolo para avaliação clínica futura e integração ao sistema de saúde pública (Okoduwa et al., 2024; Godoy da Silva et al., 2023).

Fundamentação Teórica

Tavares et al. (2016) detalham fatores clínicos fundamentais que elevam a vulnerabilidade do pé diabético, enquanto Moreira et al. (2017) ilustram o papel do autocuidado educacional e monitorado na redução de lesões. Vieira (2018) apresenta os avanços tecnológicos em sensores piezoelétricos, e Reis et al. (2010) expõem as técnicas de instrumentação de palmilhas.

No campo da modelagem, Okoduwa et al. (2024) ilustram o uso da terapia inteligente, incorporando dados sensoriais e clínicos para predição com alta sensibilidade. Zhang et al. (2023) associam a deformação da estrutura óssea com a evolução de úlceras, enquanto Huang et al. (2023) e Yap et al. (2024) confirmam a eficácia de modelos preditivos de IA para complicações do diabetes, destacando a importância dos valores ROC AUC e F1 superiores a 0,90.

Metodologia

Coleta e Simulação de Dados

Foi elaborada simulação de 500 pacientes com dados clínicos e sensoriais realistas, seguindo os intervalos definidos na literatura:

CÓDIGO	GERAR	PACIENTES
--------	-------	-----------

Análise e Modelagem

Após análise exploratória, tratamento de valores faltantes, detecção de outliers, normalização com StandardScaler, aplicação de SMOTE para balanceamento, foi implementado modelo Random Forest com validação cruzada K-Fold:

CÓDIGO MODELAGEM

VISUALIZAÇÃO WEB — EXEMPLO DE DASHBOARD DE MONITORAMENTO

Discussão

O trabalho aqui apresentado reúne o estado da arte em análise clínica, tecnologia vestível, machine learning e visualização interativa para o pé diabético. Combina achados fundamentais de Tavares et al. (2016), Moreira et al. (2017), Okoduwa et al. (2024), Godoy da Silva et al. (2023), Vieira (2018), Reis et al. (2010), Vieira et al. (2016),

Onwukamuche et al. (2023), Borges (2023), Lourenço (2018), Zhang et al. (2023), Yap et al. (2024), Park et al. (2024) e Huang et al. (2023).

O uso integrado das tecnologias promete elevar o padrão assistencial, permitindo predição eficaz tanto do surgimento quanto da evolução das úlceras, um desafio frequentemente destacado na literatura.

Conclusão

Esta dissertação demonstra um projeto inovador e exequível para o monitoramento, análise e predição do risco de úlceras em pacientes diabéticos, juntando sensores precisos, inteligência artificial robusta e interfaces usuais. Constitui um passo decisivo para a tecnologia assistiva em saúde pública no Brasil, com potencial para impacto clínico real e escalabilidade futura.