

# O papel da tecnologia de inteligência artificial no cuidado das úlceras do pé diabético: o passado, o presente e o futuro

Joseph M Pappachan, Bill Cassidy, Cornelius James Fernandez, Vishnu Chandrabalan, Moi Hoon Yap

**Tipo de especialidade:** Endocrinologia e metabolismo

**Proveniência e revisão por pares:**

Artigo convidado; Revisado externamente por pares.

**Modelo de revisão por pares:** cego único

**Classificação de qualidade científica do relatório de revisão por pares**

Nota A (Excelente): 0  
Nota B (Muito bom): B, B, B  
Nota C (Bom): 0  
Nota D (razoável): 0  
Nota E (Ruim): 0

**Revisor P:** Mijwil MM, Iraque; Mostafavinia A, Irã; WuQN, China

**Recebido:** 25 de agosto de 2022

**A revisão por pares começou:** 25 de agosto de 2022

**Primeira decisão:** 30 de outubro de 2022

**Revisado:** 1º de novembro de 2022

**Aceito:** 1º de dezembro de 2022

**Artigo no prelo:** 1º de dezembro de 2022

**Publicado on-line:** 15 de dezembro de 2022



**Joseph M Pappachan**, Departamento de Endocrinologia e Metabolismo, Ensino de Lancashire Hospitais NHS Trust, Preston PR2 9HT, Reino Unido

**Joseph M Pappachan, Bill Cassidy, Moi Hoon Yap**, Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Metropolitana de Manchester, Manchester M15 6BH, Reino Unido

**Cornelius James Fernandez**, Departamento de Endocrinologia e Metabolismo, Pilgrim Hospital, Boston PE21 9QS, Reino Unido

**Vishnu Chandrabalan**, Departamento de Ciência de Dados, Lancashire Teaching Hospitals NHS Trust, Preston PR2 9HT, Reino Unido

**Autor correspondente:** Joseph M Pappachan, FRCP, MD, Consultor, Professor, Editor Sênior, Pesquisador Sênior, Departamento de Endocrinologia e Metabolismo, Lancashire Teaching Hospitals NHS Trust, Sharoe Green Lane, Preston PR2 9HT, Reino Unido.

[drpappachan@yahoo.co.in](mailto:drpappachan@yahoo.co.in)

## Abstrato

As úlceras nos pés são complicações comuns do diabetes mellitus e aumentam substancialmente a morbimortalidade por esta doença. O cuidado das feridas através do monitoramento regular do progresso da cicatrização com revisão clínica das úlceras, troca de curativos, terapia antibiótica apropriada para infecção e descarga adequada da úlcera são os pilares do tratamento das úlceras nos pés. Avaliar a evolução das úlceras nos pés pode ser um desafio para o médico e para o paciente devido a questões logísticas, como o comparecimento regular à clínica. As clínicas de pés estão frequentemente ocupadas e, devido a problemas de mão-de-obra, as revisões das úlceras podem ser adiadas, com efeitos prejudiciais na cicatrização, como resultado da falta de mudanças adequadas e oportunas no tratamento. Fotografias de feridas têm sido historicamente úteis para avaliar o progresso das úlceras do pé diabético nas últimas décadas. Os telefones celulares com câmeras digitais revolucionaram recentemente a captura de imagens de úlceras nos pés.

Os pacientes podem enviar eletronicamente fotografias de úlceras para profissionais de tratamento de diabetes para monitoramento remoto, evitando em grande parte a logística do transporte de pacientes para clínicas com uma redução nas pressões clínicas. Tecnologias baseadas em inteligência artificial foram desenvolvidas nos últimos anos para melhorar esse monitoramento remoto de úlceras de pé diabético com o uso de aplicativos móveis. Espera-se que isto tenha um enorme impacto no tratamento das úlceras do pé diabético, com mais pesquisas e desenvolvimento de tecnologias mais precisas e científicas no futuro. Esta revisão de atualização clínica tem como objetivo compilar evidências sobre esse tema importante para capacitar os médicos com os mais recentes desenvolvimentos na área.

**Palavras-Chave:** Úlceras do pé diabético; Acompanhamento fotográfico; Tecnologia de inteligência artificial; Fotografia digital; Aplicativo móvel; Pandemia do covid-19

©O(s) autor(es) 2022. Publicado por Baishideng Publishing Group Inc. Todos os direitos reservados.

**Dica principal:** As clínicas de pé diabético enfrentaram grandes desafios durante a pandemia de COVID-19 devido aos confinamentos e às medidas de distanciamento social, uma vez que uma proporção significativa de pacientes não conseguiu comparecer fisicamente às clínicas. Esta situação impulsionou as tentativas de transição de clínicas presenciais de pés para clínicas virtuais, como em muitos outros tipos de cuidados médicos durante a pandemia. A monitorização das úlceras do pé diabético (DFUs) através da tecnologia fotográfica digital e da fotografia baseada em telemóveis revolucionou esta área de cuidados clínicos nos últimos anos e espera-se que as aplicações móveis acelerem este progresso. Este artigo analisa o passado, o presente e o futuro da tecnologia de inteligência artificial no cuidado de DFUs.

**Citação:** Pappachan JM, Cassidy B, Fernandez CJ, Chandrabalan V, Yap MH. O papel da tecnologia de inteligência artificial no tratamento das úlceras do pé diabético: o passado, o presente e o futuro. *Mundial J Diabetes* 2022; 13(12): 1131-1139

**URL:** <https://www.wjgnet.com/1948-9358/full/v13/i12/1131.htm> **DOI:** <https://dx.doi.org/10.4239/wjcd.v13.i12.1131>

## INTRODUÇÃO

A ulceração do pé causada por doença micro e/ou macrovascular é uma complicação comum do diabetes mellitus (DM). A prevalência global de úlceras de pé diabético (DFUs) em qualquer momento é estimada em 6,3%[1], com 25% dos pacientes com DM desenvolvendo uma DFU durante a vida[2]. As DFUs aumentam significativamente a morbidade [incluindo amputações de extremidades inferiores (LEA)] e a mortalidade entre os doentes, e o tratamento das DFUs representa despesas de saúde muito elevadas em todo o mundo. Aproximadamente 50% das DFUs estão associadas a infecções[3], e aproximadamente 20% das infecções moderadas a graves por DFU podem levar a amputações menores ou maiores[4]. LEA relacionada ao DFU está associada a uma taxa de sobrevivência em 10 anos tão baixa quanto 24%, que é inferior à de várias formas de câncer [5]. Estes números alarmantes dão-nos uma visão geral dos riscos relacionados com a saúde representados pelas DFUs.

O cuidado adequado das DFUs para garantir a cura rápida e evitar complicações envolve monitoramento regular do progresso da cicatrização com revisão periódica das úlceras, trocas frequentes de curativos, terapia antibiótica para controle de infecção, controle ideal do DM e descarga adequada das úlceras para evitar problemas contínuos. Danos devido à pressão na área da ferida. As clínicas de pés diabéticos geralmente fornecem atendimento abrangente à DFU por equipes especializadas multidisciplinares envolvendo podólogos, ortopedistas (que fabricam calçados/dispositivos apropriados para aliviar a DFU), enfermeiras especialistas em diabetes e diabetologistas.

No entanto, a mão-de-obra insuficiente, as longas listas de espera nas clínicas e os problemas logísticos com o transporte dos pacientes para as clínicas podem constituir problemas para a avaliação atempada dos pacientes com DFUs nas clínicas de pés. A escassez de mão de obra, resultando em períodos de espera mais longos antes da revisão pela equipe de cuidados dos pés, tem sido um grande problema no tratamento de úlceras em serviços de pés com diabetes em todo o mundo nos últimos anos [6,7]. Atrasos na apresentação para revisão de úlceras no pé foram identificados como uma razão importante para a não cicatrização da ferida [8]. As complicações das úlceras nos pés, incluindo amputações, podem ser a seqüela devastadora de tais atrasos na revisão pela equipa de cuidados dos pés.

A pandemia de COVID-19 representou grandes desafios no cuidado de DFU em todo o mundo devido às razões acima [9-11]. Atrasos nas revisões de úlceras podem estar associados a efeitos prejudiciais na cicatrização de DFU que podem até levar a amputações[10,11]. As clínicas por telefone e vídeo durante o período de pandemia ajudaram os médicos a resolver algumas das questões relacionadas com a incapacidade dos pacientes de frequentarem clínicas médicas durante o período de confinamento da COVID-19. As tentativas de desenvolver algoritmos de inteligência artificial (IA) pela fraternidade científica para melhorar o atendimento ao paciente por meio de clínicas virtuais ganharam maior impulso em relação à pandemia[12,13].

O monitoramento do progresso das DFUs comparando fotografias seriadas de úlceras durante o acompanhamento em clínicas de pés tem sido praticado por muitos diabetologistas nas últimas 2 a 3 décadas. O refinamento dos métodos fotográficos por meio de tecnologia digital sofisticada e câmeras de telefones celulares revolucionou o atendimento à UPD nos últimos anos[14-16]. Alguns pacientes costumam usar câmeras de telefones celulares para capturar fotografias de úlceras nos pés para automonitorar o progresso da ferida e para ajudar os médicos a compreender o status anterior de sua ferida durante a revisão clínica.

No entanto, são necessários muito mais contributos e resultados de investigação científica multidisciplinar nesta área. O refinamento adicional desta tecnologia digital que avança rapidamente para uma utilização ideal na prática clínica diária poderia resultar num melhor cuidado dos pacientes com DFUs. Esta revisão tenta reunir informações atualizadas

datam evidências para resumir as dimensões passadas, presentes e futuras dos algoritmos de IA para capacitar os médicos em todo o mundo a utilizar adequadamente a tecnologia digital para o atendimento DFU.

---

## MONITORAMENTO FOTOGRÁFICO DO PROGRESSO DA DFU

---

Os profissionais de cuidados de diabetes frequentemente veem vários casos de DFU na sua prática clínica diária e muitas vezes esquecem o grau, o caráter e até mesmo o local da úlcera anterior durante as visitas subsequentes, semanas depois, quando acompanhados na clínica do pé. A revisão das fotografias anteriores durante as visitas de acompanhamento subsequentes deve fornecer aos médicos uma boa avaliação clínica do progresso da úlcera e ajudar no prognóstico[17]. A monitorização fotográfica também melhora a continuidade adequada dos cuidados por parte dos diferentes médicos que dirigem os serviços do pé diabético durante a revisão do mesmo caso.

Questões importantes que podem surgir ao comparar as fotografias são as diferenças na distância a partir da qual as fotografias são capturadas (podem ser amplamente evitadas colocando uma fita métrica na úlcera durante a fotografia), diferenças na iluminação das imagens em relação ao brilho da luz de fundo quando as fotografias foram tiradas e a probabilidade de imagens de baixa qualidade sem foco adequado das câmeras por parte dos indivíduos que tiraram a foto. As fotografias geralmente são tiradas sem lanterna para evitar iluminação indevida que pode reduzir a qualidade da imagem. Evidências clínicas sugerem que a previsão da cicatrização da úlcera é possível através do monitoramento fotográfico regular[17]. A Figura 1 mostra o monitoramento fotográfico do andamento de uma DFU em vários estágios.

---

## HISTÓRIA DO ARQUIVO DIGITAL DAS FOTOGRAFIAS DFU

---

O uso de câmeras digitais para fotografia tornou-se uma prática comum desde o início da década de 1980, após a invenção da tecnologia fotográfica digital em 1975. O arquivamento digital de fotografias de úlceras de pé em bancos de dados de computador foi um grande avanço na tecnologia de monitoramento de DFUs. As impressões de fotografias de úlceras nos pés ainda são utilizadas em locais remotos, onde a Internet e os computadores não estão disponíveis gratuitamente na prática clínica. Na verdade, isto é mais caro (custos incorridos com impressão a cores e utilização de papel fotográfico de boa qualidade) e complicado na era moderna.

O desbotamento das impressões coloridas ao longo do tempo piora a situação em relação ao monitoramento DFU usando este método. Uma revisão das imagens seriadas no banco de dados computadorizado de fotografias digitais torna o trabalho dos profissionais de cuidados com os pés diabéticos muito mais fácil quando esta facilidade está disponível [18]. A falta de degradação da qualidade da imagem ao longo do tempo, como nas fotografias impressas, é outra grande vantagem do arquivamento digital de imagens DFU.

Os telefones celulares tornaram-se populares para comunicações telefônicas em todo o mundo no início dos anos 2000 e versões mais recentes desses dispositivos com câmeras e recursos de gravação de vídeo chegaram ao mercado alguns anos depois. Com os rápidos avanços na tecnologia, os dispositivos smartphones que utilizam câmeras de alta resolução estão agora amplamente disponíveis e se tornaram parte integrante da vida moderna no século XXI. Os profissionais de cuidados com diabetes logo começaram a usar câmeras de telefones celulares e instalações de vídeo para monitorar e gerenciar DFUs[19-21]. Alguns pacientes usavam telemóveis para obter imagens das suas DFUs antes das visitas à clínica dos pés, para que pudessem mostrar o estado das suas úlceras mais cedo.

Embora os estudos iniciais sobre a utilização de telemóveis para monitorizar DFU não tenham sido muito promissores[22], estudos subsequentes mostram resultados encorajadores[23-25].

---

## INTEGRANDO FOTOGRAFIAS DFU COM TECNOLOGIA DIGITAL BASEADA EM COMPUTADOR PARA DIAGNÓSTICO

---

A IA e as suas aplicações têm sido utilizadas em vários ramos da ciência e tecnologia modernas, incluindo o campo médico, ao longo das últimas décadas, para melhorar o rendimento do trabalho humano físico e intelectual. Tais tecnologias também podem ser utilizadas para monitorar o progresso nos cuidados de DFU. Conjuntos de dados DFU foram utilizados para treinar e testar os processos de aprendizado de máquina. A coleta de tais conjuntos de dados apoia a pesquisa em andamento para os desafios académicos de IA da DFU, como aqueles organizados pelas conferências Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions (MICCAI)[26,27]. Esses desafios são usados para promover e avançar pesquisas em andamento e para aumentar a exposição nas áreas académicas associadas.

Descobriu-se que algoritmos de aprendizado de máquina são muito úteis na detecção de DFUs com altas taxas de precisão em estudos anteriores [28-30]. Esses algoritmos são desenvolvidos usando grandes conjuntos de dados de imagens capturadas nas clínicas de pés. O desenvolvimento de algoritmos de diagnóstico de DFU auxiliados por computador envolve vários estágios, como pré-processamento, extração de recursos, detecção, classificação e segmentação de feridas de DFU [30]. Essas tarefas podem ser desafiadoras em ambientes do mundo real devido à baixa qualidade das imagens devido ao foco inadequado, artefatos de movimento, iluminação e luz de fundo inadequadas, deformidades nos pés/dedos dos pés, tamanho e formato das úlceras (muito pequenas, muito grandes e úlceras curvas), e recém-formadas ou



DOI: 10.4239/wjd.v13.i12.1131 Copyright © The Author(s) 2022.

**Figura 1** Monitoramento fotográfico do andamento de uma DFU em vários estágios. A: Úlcera no pé infectada em 25 de abril de 2022; B: Após 2 meses de descarga e curativos regulares (em 28 de junho de 2022) com 3 semanas iniciais de antibioticoterapia; C: Maior melhora da úlcera em 23 de julho de 2022; D: Cicatrização completa da úlcera em 22 de agosto de 2022.

úlceras precoces que passam facilmente despercebidas durante a captura de fotografias em clínicas de pés [16].

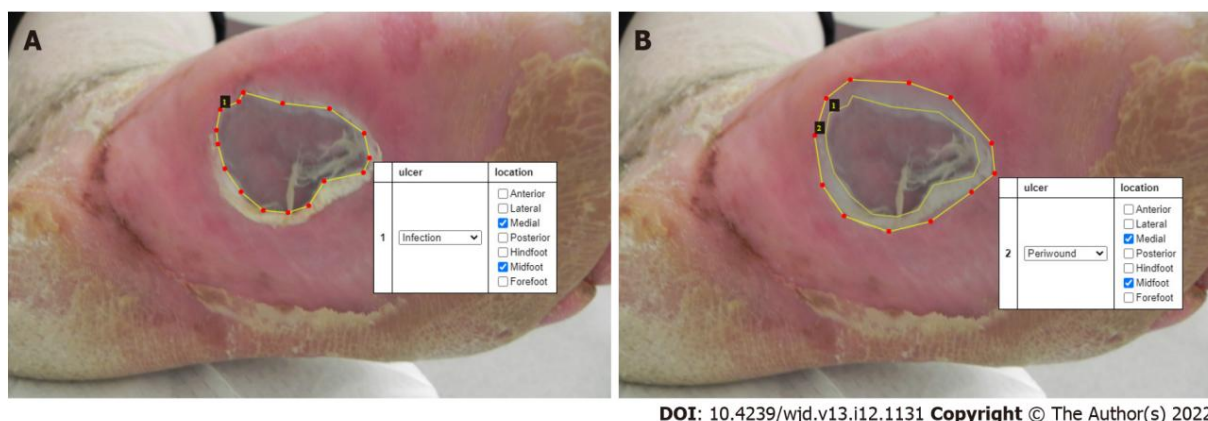
O primeiro e mais importante passo no desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina é a detecção de DFUs a partir de fotografias de pés. Esta tarefa foi realizada com sucesso por pesquisadores anteriores, conforme mencionado *acima*[28-30]. Atualmente, está sendo realizado um maior refinamento do aprendizado de máquina, incorporando os sistemas de classificação para DFUs, como nas configurações do mundo real, para promover diagnósticos e prognósticos baseados em IA. Vários sistemas manuais de classificação de DFU são atualmente usados por profissionais de cuidados com os pés, como Wagner, Universidade do Texas e SINBAD (Local, Isquemia, Neuropatia, Infecção bacteriana, Área e Profundidade) para monitoramento e gerenciamento de DFU [30]. Estas abordagens manuais podem beneficiar dos processos automatizados proporcionados pela IA.

A incorporação de tais características complexas na tecnologia de IA para a prática clínica diária para melhorar o diagnóstico e o prognóstico pode ser um desafio. Esses desafios incluem: (1) A significativa carga de tempo envolvida na coleta de dados de imagem DFU e na rotulagem apropriada; (2) As variações inter e intraclasse dependendo das diferenças na classificação das DFUs; (3) Falta de padronização dos conjuntos de dados DFU (causada pela distância da câmera ao pé, orientação da imagem e condições de iluminação); e (4) As diferenças de etnia, idade, sexo e tamanho dos pés dos pacientes [30]. O desenvolvimento de algoritmos de IA de aprendizagem profunda requer conjuntos de dados em grande escala para análise automatizada de DFU para reproduzir resultados comparáveis aos de especialistas. Os investigadores que atualmente trabalham isoladamente podem não conseguir resultados de investigação reproduzíveis. Grandes conjuntos de dados DFU usados para treinamento e validação por vários profissionais de diferentes instituições em todo o mundo devem ajudar a refinar essas armadilhas em algoritmos de aprendizado de máquina para classificação e diagnóstico de DFU. Para permitir a inovação de médicos e pesquisadores, Yap *et al*[26] propuseram os desafios da úlcera do pé diabético, fornecendo conjuntos de dados disponíveis publicamente, para avaliação abrangente de estruturas de detecção de objetos na detecção de DFU usando redes neurais convolucionais treinadas no conjunto de dados DFUC2020[15]. Exemplos de fotografias DFU delineadas manualmente do conjunto de treinamento são mostrados na *Figura 2*. A classificação morfológica de DFUs em diferentes tipos (como infecção, isquemia, ambas e nenhuma) é realizada nesses conjuntos de dados para permitir o aprendizado de máquina.

## DEMARCAÇÃO EM SÉRIE DE FOTOGRAFIAS DE ÚLCERA PARA AVALIAR O PROGRESSO DA DFU CURA

Atualmente, o monitoramento do processo de cicatrização das DFUs é amplamente completado por visitas regulares de acompanhamento dos pacientes nas clínicas multidisciplinares de pés [31-33]. Desde 2020, a pandemia da COVID-19 teve um enorme impacto nos cuidados da DFU em todo o mundo devido às questões relacionadas com os confinamentos e o distanciamento social.





DOI: 10.4239/wjd.v13.i12.1131 Copyright © The Author(s) 2022.

**Figura 2** Úlcera infectada na face plantar do pé esquerdo. R: A úlcera está rotulada (linha pontilhada marcando os limites) para o conjunto de treinamento. A caixa branca mostra o local e o tipo de úlcera. B: A peri-ferida da úlcera está marcada com uma linha pontilhada. A caixa branca mostra o local da úlcera e a área adjacente à ferida.

medidas impostas pelos governos para reduzir a devastação humana como resultado da emergência de saúde global. A frequência a clínicas de pés[34] e as hospitalizações por DFUs[35] foram significativamente reduzidas durante a pandemia. Embora o agravamento das DFUs tenha sido comparativamente menor devido à redução da atividade humana ao ar livre[36], muitos pacientes apresentaram-se tardiamente aos médicos, aumentando o risco de complicações das DFUs[35,37]. A pandemia reforçou a necessidade urgente de desenvolver algoritmos de tratamento de feridas baseados em IA para monitorização remota de DFUs.

Para permitir o desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina, a demarcação serial de DFUs é importante para avaliar o progresso do processo de cicatrização juntamente com a classificação de feridas com base em um dos sistemas padrão mencionados acima. Portanto, a caracterização de DFUs requer a demarcação de feridas em vários estágios nos conjuntos de dados por especialistas na área, após o que os dados podem ser usados para treinamento, validação e teste. Esta tarefa é altamente trabalhosa e requer enormes conjuntos de dados de treinamento e validação de DFU.

#### FOTOGRAFIAS ADQUIRIDAS POR CÂMERAS DE TELEFONE MÓVEL PARA MONITORAMENTO DFU

Os telefones celulares de nova geração podem capturar fotografias DFU de alta resolução comparáveis às câmeras digitais comerciais. Muitos pacientes já usam fotografias de celulares para automonitorar suas DFUs[14,22]. Alguns pacientes documentam em série o progresso da ferida usando essas imagens e as levam meticulosamente às clínicas de pés durante as consultas de acompanhamento para tratamento de DFU. Ocasionalmente, os pacientes enviam suas fotos para profissionais de saúde eletronicamente ou como anexos de e-mail. Embora as questões de segurança relacionadas com a transferência segura de tais informações clínicas sem quebra de confidencialidade possam ser atualmente um desafio, o uso mais amplo de fotografias de telemóveis para automonitorização do progresso das DFUs poderá revolucionar os futuros cuidados com os pés.

#### DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS MÓVEIS PARA MONITORAMENTO DFU

Vários aplicativos para celulares são atualmente usados em todo o mundo em muitos domínios das atividades diárias para melhorar a qualidade da vida humana. Esses aplicativos móveis para monitoramento e cuidado de DFU estão em desenvolvimento. Cassidy *et al*[38] desenvolveram o primeiro aplicativo móvel capaz de detecção precisa de DFU usando IA e tecnologias baseadas em nuvem. Este sistema foi testado em uma avaliação clínica de 6 meses em dois hospitais do Serviço Nacional de Saúde do Reino Unido (Lancashire Teaching Hospitals e Salford Royal Hospital) e está atualmente sendo desenvolvido para melhorar a funcionalidade e a precisão. Recursos adicionais do aplicativo, como a classificação automatizada da patologia da ferida DFU [39] e o delineamento automatizado das regiões da ferida/peri-ferida, também estão sendo investigados para fornecer um sistema mais clinicamente relevante.

Espera-se que estes novos avanços tecnológicos revolucionem o tratamento remoto de feridas, permitindo que os pacientes monitorem automaticamente as suas DFUs e contactem os médicos quando encontrarem qualquer preocupação ou deterioração da sua doença. Isto também aumentaria a flexibilidade no funcionamento das clínicas de pés, através da revisão e triagem das DFU mais adequadas a serem observadas nas clínicas através da monitorização remota dos pacientes.

---

## PREDIÇÃO DO PROGRESSO DO DFU PELA INTEGRAÇÃO DE CLÍNICOS E BIOQUÍMICOS PARÂMETROS E FOTOGRAFIAS DE ÚLCERA

---

Embora o cuidado regular da ferida com curativos, a terapia antibiótica adequada para infecções, a descarga das úlceras para aliviar o atraso na cicatrização relacionado à pressão e a revascularização do pé isquêmico sejam os pilares no tratamento de DFUs, várias outras condições clínicas (comórbidas, como doença renal, insuficiência cardíaca e estados imunossuprimidos) e parâmetros bioquímicos (como hiperglicemia, anemia e hemoglobina A1c elevada) podem impactar o processo de cicatrização da DFU [40-44].

A integração destes parâmetros clínicos e bioquímicos em algoritmos de aprendizagem automática deverá ajudar-nos a desenvolver modelos de previsão utilizando tecnologia de IA.

Observamos, no entanto, que o desenvolvimento de tais algoritmos é muito mais trabalhoso, pois os exercícios de demarcação para desenvolver modelos de aprendizagem profunda requerem conjuntos de dados maiores com parâmetros clínicos e bioquímicos de pacientes individuais incorporados na rede neural. Contudo, a utilização adequada da tecnologia informática integrada com aplicações digitais pode ajudar a reduzir a carga física dos investigadores no desenvolvimento de tais modelos.

---

## PERSPECTIVAS FUTURAS

---

Pesquisas recentes investigaram a utilização de dados de pacientes no treinamento de redes neurais profundas em vários domínios de imagens médicas [45]. Esses estudos indicam que modelos de aprendizado de máquina treinados em dados de pacientes podem ser usados para aumentar o desempenho de redes neurais convolucionais treinadas em imagens de feridas/lesões. Pesquisas desta natureza estão em andamento e representam uma forma de incorporar um método mais integrado de análise de feridas que considera múltiplos pontos de dados. Espera-se que o desenvolvimento de aplicativos móveis que integrem esses novos avanços tecnológicos revolucione o cenário global dos cuidados da DFU num futuro próximo.

---

## CONCLUSÃO

---

As aplicações digitais na gestão diária das DFU evoluíram rapidamente nos últimos anos para um nível de diagnóstico e monitorização remotos de feridas em ambientes comunitários. A pandemia de COVID-19 acelerou a investigação e o desenvolvimento destas aplicações tecnológicas inovadoras nos últimos dois anos. O monitoramento fotográfico de úlceras nos pés tem sido praticado em muitos centros em todo o mundo nas últimas décadas, prestando cuidados de DFU. A invenção da tecnologia fotográfica digital em 1975 impulsionou ainda mais o atendimento à DFU devido à facilidade de arquivamento eletrônico de imagens de úlceras durante o acompanhamento clínico.

A fotografia usando câmeras de telefones celulares tornou-se um grande avanço nessa direção nos últimos anos, capacitando pacientes e médicos a melhorar ainda mais o atendimento DFU.

Atualmente, os algoritmos digitais baseados em IA estão a ser desenvolvidos rapidamente através de um esforço global colaborativo entre especialistas em IA e equipas clínicas. Aplicações tecnológicas digitais baseadas em câmeras móveis estão em desenvolvimento para aprimorar o diagnóstico remoto, o monitoramento e o acompanhamento de DFUs. Modelos de previsão de cicatrização de feridas também estão em desenvolvimento, agora utilizando a ligação das características da úlcera das imagens DFU aos parâmetros clínicos e laboratoriais de pacientes diabéticos. Estes esforços colaborativos entre médicos e cientistas da computação em todo o mundo deverão revolucionar essas descobertas para capacitar os pacientes diabéticos com pé a automonitorizarem e gerirem as suas DFUs em maior medida.

---

## NOTAS DE RODAPÉ

---

**Contribuições dos autores:** Pappachan JP contribuiu substancialmente para a concepção e desenho do artigo, interpretação da literatura relevante, redação do artigo e preparação das figuras; Cassidy B contribuiu para a interpretação da literatura relevante, redação do artigo e preparação das figuras; Fernandez CJ e Chandrabalan V contribuíram na busca bibliográfica e revisão do artigo; Yap MH supervisionou a preparação do artigo e revisou criticamente o manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante; Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

**Declaração de conflito de interesses:** Todos os autores não relatam nenhum conflito de interesses relevante para este artigo.

**Acesso aberto:** Este artigo é um artigo de acesso aberto que foi selecionado por um editor interno e totalmente revisado por revisores externos. Ele é distribuído de acordo com a licença Creative Commons Attribution NonCommercial (CC BY-NC 4.0), que permite que outros distribuam, remixem, adaptem, desenvolvam este trabalho de forma não comercial e licenciem seus trabalhos derivados em termos diferentes, desde que o original o trabalho está devidamente citado e o uso não é comercial. Veja: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**País/Território de origem:** Reino Unido

**Número ORCID:** Joseph M Pappachan 0000-0003-0886-5255; Bill Cassidy 0000-0003-3741-8120; Cornélio James Fernández 0000-0002-1171-5525; Moi Hoon Yap 0000-0001-7681-4287.

**Editor S:** Liu GL

**Editor L:** Webster JR

**Editor P:** Liu GL

## REFERÊNCIAS

- 1 **Zhang P**, Lu J, Jing Y, Tang S, Zhu D, Bi Y. Epidemiologia global da ulceração do pé diabético: uma revisão sistemática e meta-análise <sup>†</sup>. *Ann Med* 2017; **49**: 106-116 [PMID: [27585063](#) DOI: [10.1080/07853890.2016.1231932](#)]
- 2 **Du F**, Ma J, Gong H, Bista R, Zha P, Ren Y, Gao Y, Chen D, Ran X, Wang C. Infecção microbiana e antibiótico Suscetibilidade da úlcera do pé diabético na China: revisão da literatura. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2022; **13**: 881659 [PMID: [35663325](#) DOI: [10.3389/fendo.2022.881659](#)]
- 3 **Hurlow JJ**, Humphreys GJ, Bowling FL, McBain AJ. Infecção do pé diabético: uma complicação crítica. *Ferida Internacional J* 2018; **15**: 814-821 [PMID: [29808598](#) DOI: [10.1111/iwj.12932](#)]
- 4 **Lipsky BA**, Berendt AR, Cornia PB, Pile JC, Peters EJ, Armstrong DG, Deery HG, Embil JM, Joseph WS, Karchmer AW, Pinzur MS, Senneville E; Sociedade de Doenças Infecciosas da América. Clínica da Sociedade de Doenças Infecciosas da América de 2012 Diretriz prática para o diagnóstico e tratamento de infecções do pé diabético. *Clin Infect Dis* 2012; **54**: e132-e173 [PMID: [22619242](#) DOI: [10.1093/cid/cis346](#)]
- 5 **Soo BP**, Rajbhandari S, Egun A, Ranasinghe U, Lahart IM, Pappachan JM. Sobrevida em 10 anos após extremidade inferior amputações em pacientes com pé diabético. *Endócrino* 2020; **69**: 100-106 [PMID: [32281048](#) DOI: [10.1007/s12020-020-02292-7](#)]
- 6 **Normahani P**, Mustafa C, Standfield NJ, Duguid C, Fox M, Jaffer U. Manejo da doença arterial periférica em diabetes: uma pesquisa nacional sobre a prática de podologia no Reino Unido. *J Pé Tornozelo Res* 2018; **11h29** [PMID: [29930710](#) DOI: [10.1186/s13047-018-0270-5](#)]
- 7 **Leong Tan GW**, Chandrasekar S, Lo ZJ, Hong Q, Yong E, Lingam P, Zhang L, Quek LHH, Pua U. Experiência inicial no Pandemia de COVID-19 em uma unidade de cirurgia vascular em um hospital terciário de Cingapura. *J Vasc Surg* 2020; **72**: 12-15 [PMID: [32305387](#) DOI: [10.1016/j.jvs.2020.04.014](#)]
- 8 **Mbela Lusendi F**, Matricali GA, Vanherwegen AS, Doggen K, Nobels F. Abordagem de baixo para cima para construir um risco de 'precisão' Classificação Fatorial para Cicatrização de Úlcera em Pé Diabético. Prova de conceito. *Diabetes Res Clínica Prática* 2022; **191**: 110028 [PMID: [35926667](#) DOI: [10.1016/j.diabres.2022.110028](#)]
- 9 **Kleibert M**, Mrozkiewicz-Rakowska B, Byk PM, Baýut D, Zieliński J, Czupryniak L. Análise da úlcera do pé diabético Cuidados durante o primeiro ano da pandemia na Polónia: um estudo retrospectivo de coorte nacional. *Int J Meio Ambiente Res Pública Saúde* 2022; **19** [PMID: [35409510](#) DOI: [10.3390/ijerph19073827](#)]
- 10 **Lozano-Corona R**, Reyes-Monroy JA, Lara-González V, Anaya-Ayala JE, Dardik A, Hinojosa CA. Revascularização previne a amputação entre pacientes com pé diabético durante a era COVID-19. *Vascular* 2022; **17085381221079108** [PMID: [35311392](#) DOI: [10.1177/17085381221079108](#)]
- 11 **Yunir E**, Tarigan TJE, Iswati E, Sarumpaet A, Christabel EV, Widiyanti D, Wisnu W, Purnamasari D, Kurniawan F, Rosana M, Anestherita F, Muradi A, Tahapary DL. Características dos pacientes com úlcera de pé diabético antes e durante Pandemia de COVID-19: Lições aprendidas com um hospital de referência nacional na Indonésia. *J Prim Care Saúde Comunitária* 2022; **13**: 21501319221089767 [PMID: [35343835](#) DOI: [10.1177/21501319221089767](#)]
- 12 **Huang JA**, Hartanti IR, Colin MN, Pitaloka DA. Telemedicina e inteligência artificial para apoiar o auto-isolamento de Pacientes com COVID-19: Atualizações e desafios recentes. *Dígito Saúde* 2022; **8**: 20552076221100634 [PMID: [35603328](#) DOI: [10.1177/20552076221100634](#)]
- 13 **Brahmbhatt DH**, Ross HJ, Moayed Y. Aplicação de tecnologia digital para melhores respostas aos cuidados de saúde Desafios: Lições Aprendidas com a COVID-19. *Pode J Cardiol* 2022; **38**: 279-291 [PMID: [34863912](#) DOI: [10.1016/j.cjca.2021.11.014](#)]
- 14 **Kuang B**, Pena G, Szpak Z, Edwards S, Battersby R, Cowled P, Dawson J, Fitridge R. Avaliação de um smartphone baseado em aplicação para medição de úlcera de pé diabético. *Regeneração de reparo de feridas* 2021; **29**: 460-465 [PMID: [33657252](#) DOI: [10.1111/wrr.12905](#)]
- 15 **Cassidy B**, Reeves ND, Pappachan JM, Gillespie D, O'Shea C, Rajbhandari S, Maiya AG, Frank E, Boulton AJ, Armstrong DG, Najafi B, Wu J, Kochhar RS, Yap MH. O conjunto de dados DFUC 2020: análise para detecção de úlceras no pé diabético. *touchREV Endocrinol* 2021; **17**: 5-11 [PMID: [35118441](#) DOI: [10.17925/EE.2021.17.1.5](#)]
- 16 **Yap MH**, Hachiuma R, Alavi A, Brüngel R, Cassidy B, Goyal M, Zhu H, Rückert J, Olshansky M, Huang X, Saito H, Hassanpour S, Friedrich CM, Ascher DB, Song A, Kajita H, Gillespie D, Reeves ND, Pappachan JM, O'Shea C, Frank E. Aprendizado profundo na detecção de úlceras no pé diabético: uma avaliação abrangente. *Comput Biol Med* 2021; **135**: 104596 [PMID: [34247133](#) DOI: [10.1016/j.compbiomed.2021.104596](#)]
- 17 **Lavery LA**, Barnes SA, Keith MS, Seaman JW Jr, Armstrong DG. Predição de cura para pé diabético pós-operatório feridas com base na progressão precoce da área da ferida. *Cuidados com Diabetes* 2008; **31**: 26-29 [PMID: [17934156](#) DOI: [10.2337/dc07-1300](#)]
- 18 **Cabal Mirabal CA**, Berlanga Acosta J, Fernández Montequín J, Oramas Díaz L, González Dalmau E, Herrera Martínez L, Sauri JE, Baldomero Hernández J, Savigne Gutiérrez W, Valdés JL, Tabio Reyes AL, Pérez Pérez SC, Valdés Pérez C, Armstrong AA, Armstrong DG. Estudos quantitativos da evolução da úlcera do pé diabético sob tratamento digital

- Fotografia Estereotática. *J Diabetes Sci Technol* 2019; **13**: 821-826 [PMID: [31195816](#) DOI: [10.1177/1932296819853843](#)]
- 19 **Larsen SB**, Clemensen J, Ejlskjær N. Um estudo de viabilidade de telefones celulares UMTS para apoiar enfermeiros em visitas domiciliares para pacientes com úlceras no pé diabético. *J Telemed Telecare* 2006; **12**: 358-362 [PMID: [17059653](#) DOI: [10.1258/13576306778682323](#)]
  - 20 **Foltynski P**, Ladyzynski P, Wojcicki JM. Um novo método baseado em smartphone para medição de área de ferida. *Órgãos Artificiais* 2014; **38**: 346-352 [PMID: [24102380](#) DOI: [10.1111/aor.12169](#)]
  - 21 **Wang L**, Pedersen PC, Strong DM, Tulu B, Agu E, Ignatz R. Sistema de avaliação de feridas baseado em smartphone para pacientes com diabetes. *IEEE Trans Biomed Eng* 2015; **62**: 477-488 [PMID: [25248175](#) DOI: [10.1109/TBME.2014.2358632](#)]
  - 22 **van Netten JJ**, Clark D, Lazzarini PA, Janda M, Reed LF. A validade e confiabilidade da úlcera remota do pé diabético avaliação por meio de imagens de celulares. *Representante Científico* 2017; **7**: 9480 [PMID: [28842686](#) DOI: [10.1038/s41598-017-09828-4](#)]
  - 23 **Pak C**, In Jeon J, Kim H, Kim J, Park S, Ahn KH, Son YJ, Yoo S, Baek RM, Jeong JH, Heo CY. Baseado em smartphone sistema de teleconsulta para manejo de lesões por pressão crônicas. *Regeneração de reparo de feridas* 2018; **26** Suplemento 1: S19-S26 [PMID: [30460767](#) DOI: [10.1111/wrr.2](#)]
  - 24 **Ploderer B**, Brown R, Seng LSD, Lazzarini PA, van Netten JJ. Promovendo o autocuidado de úlceras de pé diabético por meio de um Aplicativo para celular: design e avaliação centrados no usuário. *JMIR Diabetes* 2018; **3**: e10105 [PMID: [30305266](#) DOI: [10.2196/10105](#)]
  - 25 **Kim RB**, Gryak J, Mishra A, Cui C, Sorousmehr SMR, Najarian K, Wrobel JS. Utilização de smartphone e tablet fotografias de câmeras para prever a cura de úlceras nos pés relacionadas ao diabetes. *Comput Biol Med* 2020; **126**: 104042 [PMID: [33059239](#) DOI: [10.1016/j.combiomed.2020.104042](#)]
  - 26 **Yap MH**, Kendrick C, Reeves ND, Goyal M, Pappachan JM, Cassidy B. Desenvolvimento de conjuntos de dados de úlceras de pé diabético: Uma visão geral. DFUC 2021. Notas de aula em Ciência da Computação. Springer, Cham. 2022; 13183. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94907-5\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94907-5_1)
  - 27 **Cassidy B**, Kendrick C, Reeves ND, Pappachan JM, O'Shea C, Armstrong D, Yap MH. Úlcera do Pé Diabético Grande Desafio 2021: Avaliação e Resumo. DFUC 2021. Notas de aula em Ciência da Computação. Springer, Cham. 2022; 13183. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94907-5\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94907-5_7)
  - 28 **Wang C**, Yan X, Smith M, Kochhar K, Rubin M, Warren SM, Wrobel J, Lee H. Uma estrutura unificada para ferimento automático segmentação e análise com redes neurais convolucionais profundas. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2015; **2015**: 2415-2418 [PMID: [26736781](#) DOI: [10.1109/EMBC.2015.7318881](#)]
  - 29 **Al-Garaawi N**, Ebsim R, Alharan AFH, Yap MH. Classificação da úlcera do pé diabético utilizando padrões binários mapeados e redes neurais convolucionais. *Comput Biol Med* 2021; **140**: 105055 [PMID: [34839183](#) DOI: [10.1016/j.combiomed.2021.105055](#)]
  - 30 **Goyal M**, Reeves ND, Rajbhandari S, Ahmad N, Wang C, Yap MH. Reconhecimento de isquemia e infecção em diabéticos úlceras nos pés: conjunto de dados e técnicas. *Comput Biol Med* 2020; **117**: 103616 [PMID: [32072964](#) DOI: [10.1016/j.combiomed.2020.103616](#)]
  - 31 **Malone M**, Schwarzer S, Walsh A, Xuan W, Al Gannass A, Dickson HG, Bowling FL. Monitorando a progressão da ferida para cicatrização em úlceras de pé diabético usando imagens tridimensionais de feridas. *J Complicações do Diabetes* 2020; **34**: 107471 [PMID: [31859145](#) DOI: [10.1016/j.jdiacomp.2019.107471](#)]
  - 32 **Chan KS**, Lo ZJ. Avaliação de feridas, sistemas de imagem e monitoramento em úlceras de pé diabético: uma revisão sistemática. *Interno Ferida J* 2020; **17**: 1909-1923 [PMID: [32830440](#) DOI: [10.1111/iwj.13481](#)]
  - 33 **Chen P**, Carville K, Swanson T, Lazzarini PA, Charles J, Cheney J, Prentice J; Doença do pé relacionada ao diabetes australiano Projeto Diretrizes e Caminhos. Diretriz australiana sobre intervenções de cicatrização de feridas para melhorar a cicatrização de úlceras nos pés: parte das diretrizes australianas baseadas em evidências de 2021 para doenças do pé relacionadas ao diabetes. *J Pé Tornozelo Res* 2022; **15:40** [PMID: [35610723](#) DOI: [10.1186/s13047-022-00544-5](#)]
  - 34 **Zayed H**, Musajee M, Thulasidasan N, Sayed M, Francia F, Green M, Arissol M, Lakhani A, Biasi L, Patel S. Impacto de Pandemia de COVID-19 nos resultados em pacientes com isquemia crítica que ameaça membros e infecção no pé diabético. *Ann Surg* 2022; **275**: 1037-1042 [PMID: [33630476](#) DOI: [10.1097/SLA.0000000000004677](#)]
  - 35 **Mariet AS**, Benzenina E, Bouillet B, Vergès B, Quantin C, Petit JM. Impacto da epidemia de COVID-19 na hospitalização para úlceras de pé diabético durante o confinamento: um estudo francês de base populacional em todo o país. *Diabetes Med* 2021; **38**: e14577 [PMID: [33797791](#) DOI: [10.1111/dme.14577](#)]
  - 36 **Bonnet JB**, Macioce V, Jalek A, Bouchdoug K, Elleau C, Gras-Vidal MF, Pochic J, Avignon A, Sultan A. Covid-19 o bloqueio mostrou um provável efeito benéfico nas úlceras do pé diabético. *Diabetes Metab Res Rev* 2022; **38**: e3520 [PMID: [35080096](#) DOI: [10.1002/dmrr.3520](#)]
  - 37 **Liu C**, You J, Zhu W, Chen Y, Li S, Zhu Y, Ji S, Wang Y, Li H, Li L, Fan S. O surto de COVID-19 afeta negativamente a prestação de cuidados a pacientes com úlceras de pé diabético. *Cuidados com o Diabetes* 2020; **43**: e125-e126 [PMID: [32769126](#) DOI: [10.2337/dc20-1581](#)]
  - 38 **Cassidy B**, Reeves ND, Pappachan JM, Ahmad M, Haycocks M, Gillespie D, Yap MH. Um aprendizado profundo baseado em nuvem Estrutura para Detecção Remota de Úlceras do Pé Diabético. Computação Pervasiva IEEE 2022; **21**: 78-86 [DOI: [10.1109/MPRV.2021.3135686](#)]
  - 39 **Yap MH**, Cassidy B, Pappachan JM, Shea CO, Gillespie D, Reeves ND. Análise para Classificação de Infecção e Isquemia de úlceras de pé diabético. 2021 Conferência Internacional IEEE EMBS sobre Informática Biomédica e em Saúde (IBH); 2021, 27 a 30 de julho; Atenas, Grécia [DOI: [10.1109/IBH50953.2021.9508563](#)]
  - 40 **Gazzaruso C**, Gallotti P, Pujia A, Montalcini T, Giustina A, Coppola A. Preditores de cura, recorrência de úlcera e persistência, amputação e mortalidade em pacientes diabéticos tipo 2 com pé diabético: um estudo de coorte retrospectivo de 10 anos. *Endócrino* 2021; **71**: 59-68 [PMID: [32712853](#) DOI: [10.1007/s12020-020-02431-0](#)]
  - 41 **Felipe RR**, Plata-Que MT. Preditores de resultados de úlceras nos pés entre indivíduos com diabetes mellitus tipo 2 em um Clínica Ambulatorial do Pé. *J ASEAN Fed Endocr Soc* 2021; **36**: 189-195 [PMID: [34966204](#) DOI: [10.15605/jafes.036.02.14](#)]
  - 42 **Ezeani IU**, Ugwu ET, Adeleye FO, Gezawa ID, Okpe IO, Enamino MI. Determinantes da cicatrização de feridas em pacientes hospitalizado por úlcera no pé diabético: resultados do estudo MEDFUN. *Regulamento Endocr* 2020; **54**: 207-216 [PMID: [32857716](#) DOI: [10.2478/enr-2020-0023](#)]



- 43 **Caruso P**, Longo M, Gicchino M, Scappaticcio L, Caputo M, Maiorino MI, Bellastella G, Esposito K. Diabético de longa duração complicações como preditores de falha na cicatrização de úlceras nos pés: um estudo retrospectivo em um centro terciário. *Clinica de Diabetes Prática* 2020; **163**: 108147 [PMID: [32302666](#) DOI: [10.1016/j.diabres.2020.108147](#)]
- 44 **Sørensen MLB**, Jansen RB, Wilbek Fabricius T, Jørgensen B, Svendsen OL. Cura de úlceras de pé diabético em pacientes Tratado no Copenhagen Wound Healing Centre em 1999/2000 e em 2011/2012. *J Diabetes Res* 2019; **2019**: 6429575 [PMID: [31583251](#) DOI: [10.1155/2019/6429575](#)]
- 45 **Jaworek-Korjakowska J**, Brodzicki A, Cassidy B, Kendrick C, Yap MH. Interpretabilidade de um Deep Learning Baseado Abordagem para a classificação das lesões cutâneas nas principais regiões anatômicas do corpo. *Cânceres (Basileia)* 2021; **13** [PMID: [34885158](#) DOI: [10.3390/cancers13236048](#)]



Publicado por **Baishideng Publishing Group Inc**  
7041 Koll Center Parkway, Suite 160, Pleasanton, CA 94566,

**EUA Telephone:**

**+1-925-3991568 E-mail:**

**bpgoffice@wjgnet.com Suporte técnico: [https://](https://www.f6publishing.com/helpdesk)**

**[www.f6publishing.com/helpdesk](https://www.f6publishing.com/helpdesk) <https://www.wjgnet.com>**

