

APLICAÇÕES DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA EM IMAGENS TERMOGRÁFICAS PARA PREDIÇÃO DE AGRAVOS À SAÚDE: UMA REVISÃO NARRATIVA

PIRES, M. V. S. ¹; FUNCK, C. ²; MULLER, C. B. ³; LERSCH, E. S. ³; SAUSEN, A. G. ⁴; KILLA, A. T. ⁵; MAGDALENA, M. S. ⁶; HELFER, G. A. ⁷; RENNER, J. D. P. ⁸; KOEPP, J. ⁸; GAEDKE, M. A. ⁸.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia. Aprendizado de máquina. Diagnóstico. Saúde.

RESUMO

Introdução: A criação de um banco de dados é essencial em pesquisa pois armazena, centraliza e protege dados, além de ser fundamental para a análise e treinamento de sistemas de Machine Learning (ML), que usam algoritmos para identificar padrões nos dados e prever resultados futuros. **Objetivo:** Identificar estudos sobre o uso de técnicas de Machine Learning para a predição de agravos de saúde utilizando imagens termográficas. **Metodologia:** Realizou-se uma revisão narrativa da literatura como apoio a um estudo maior focado em desenvolver uma metodologia analítica para monitorar complicações de terapias infusionais. A busca foi realizada nas bases PubMed, Web of Science e Scopus, incluindo estudos sobre termografia infravermelha e aplicação de ML para previsão de agravos de saúde. **Resultados:** A revisão evidenciou o uso crescente da termografia infravermelha como ferramenta diagnóstica na saúde, por meio da identificação de variações térmicas na pele. A aplicação de ML nas imagens termográficas tem mostrado grande potencial para aprimorar a análise das imagens e prever condições de saúde com mais precisão. Contudo, a implementação de técnicas de ML enfrenta desafios, como a necessidade de validação rigorosa e a falta de pessoal qualificado, limitando sua aplicação clínica. **Conclusão:** A integração de termografia infravermelha e técnicas de ML tem grande potencial para diagnóstico precoce e monitoramento de saúde, mas enfrenta obstáculos técnicos e operacionais na prática clínica.

CONSTRUCTION OF A THERMOGRAPHIC IMAGE BANK FOR TRAINING MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTION OF HEALTH PROBLEMS: A NARRATIVE REVIEW

KEYWORDS: Thermography. Machine learning. Health monitoring. Diagnosis. Health.

ABSTRACT

Introduction: The creation of a database is essential in research as it stores, centralizes, and protects data, and is fundamental for the analysis and training of Machine Learning (ML) systems, which use algorithms to identify patterns in data and predict future outcomes. **Objective:** To identify studies on the use of machine learning techniques for predicting health issues using thermographic images. **Methodology:** A narrative literature review was conducted to support a larger study focused on developing an analytical methodology to monitor complications from infusion therapies. The search was performed in the PubMed, Web of Science, and Scopus databases, including studies on infrared thermography and the application of ML for predicting health issues. **Results:** The review highlighted the growing use of infrared thermography as a

¹ Enfermeiro pela Universidade de Santa Cruz do Sul. Programa de Residência Multidisciplinar do Hospital Santa Cruz.

² Biomédica pela Universidade do Vale do Taquari. Discente do Curso de Medicina na Universidade de Santa Cruz do Sul.

³ Discente do curso de Enfermagem na Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁴ Enfermeira pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁵ Enfermeira no Hospital Santa Cruz. Mestre em Promoção da Saúde pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁶ Enfermeira no Hospital Santa Cruz. Mestranda em Promoção da Saúde pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁷ Vinculado ao Programa de Pós-graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁸ Vinculado ao Programa de Pós-graduação em Promoção da Saúde da Universidade de Santa Cruz do Sul.

diagnostic tool in healthcare by identifying thermal variations in the skin. The application of ML to thermographic images has shown great potential to enhance image analysis and predict health conditions more accurately. However, the implementation of ML techniques faces challenges, such as the need for rigorous validation and a lack of qualified personnel, limiting their clinical application. **Conclusion:** The integration of infrared thermography and ML techniques has great potential for early diagnosis and health monitoring, but it faces technical and operational obstacles in clinical practice.

1 INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias avançadas tem se tornado cada vez mais crucial, principalmente na área da saúde para a predição e prevenção de agravos. A inteligência artificial (IA), especialmente o Machine Learning (ML), desempenha um papel fundamental nesse contexto, permitindo a análise de grandes volumes de dados e a identificação de padrões complexos que podem não ser perceptíveis ao olho humano. A detecção precoce de doenças otimiza o prognóstico dos pacientes e com isso, reduz os custos associados ao tratamento prolongado no sistema de saúde. Com a capacidade de processar informações de maneira rápida e precisa, o ML pode auxiliar na identificação de fatores de risco e na previsão de complicações, tornando os cuidados em saúde mais eficientes (LUDERMIR, 2021).

As imagens termográficas têm sido amplamente utilizadas no contexto biomédico devido à sua capacidade de detectar padrões térmicos na superfície da pele, além de ser um método seguro, não invasivo e de baixo custo. A termografia é uma técnica que utiliza a radiação infravermelha para avaliar a temperatura corporal, tornando-se uma ferramenta valiosa na detecção de doenças como câncer de mama, neuropatia diabética e problemas circulatórios. Além disso, a termografia é aplicada na medicina esportiva para monitorar lesões e na avaliação de condições crônicas, como artrite e fibromialgia. Sua natureza não invasiva e a capacidade de fornecer informações objetivas sobre a saúde da pele a tornam uma técnica promissora para a detecção precoce de anomalias (AMALU, 2018).

O ML tem sido aplicado com sucesso na análise de imagens médicas, incluindo radiografias, tomografias e, potencialmente, imagens termográficas (LUBKOWSKA; PLUTA, 2022). Modelos de ML aprendem a extrair padrões complexos dessas imagens, melhorando significativamente a precisão diagnóstica. Ao combinar o ML com a termografia, é possível ampliar a capacidade preditiva na detecção precoce de doenças. Essa combinação permite a identificação de padrões térmicos sutis que podem indicar o início de condições patológicas, antes mesmo que sintomas clínicos sejam evidentes (SILVA et al., 2016). Portanto, a integração de ML e termografia oferece um grande potencial para melhorar os resultados de saúde, ao permitir intervenções mais precoces e personalizadas para cada paciente.

Dentro deste contexto, teve-se o objetivo de realizar uma discussão teórica sobre ML aplicado à predição de agravos com imagens termográficas para embasar pesquisa de campo que vem sendo desenvolvida pelo grupo de pesquisa Tecnologia, Ensino e Segurança do Paciente (GTESP) da Universidade de Santa Cruz do Sul. A referida pesquisa vem desenvolvendo a construção de um banco de imagens termográficas em software desenvolvido para treinar modelos de machine learning para predição de complicações em cateteres vasculares.

Visto que a ausência de padronização nos métodos de aquisição, processamento e interpretação dessas imagens pode limitar sua aplicabilidade clínica, este estudo se justifica pela necessidade de uma discussão teórica que aprofunde a compreensão sobre a viabilidade e os desafios da utilização de ML na

análise de imagens termográficas. Pretende-se assim, contribuir para o avanço de estratégias diagnósticas e prognósticas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso de imagens termográficas e ML gradativamente tem sido utilizado em aplicações médicas, já que padrões clínicos térmicos anormais de doenças nas superfícies da pele auxiliam em diagnósticos (DA SILVA et al., 2018). Todos os objetos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação conhecida como infravermelho (ou seja, abaixo do vermelho) ou radiação térmica. Assim, o corpo é considerado um objeto que absorve toda a radiação incidente e irradia um espectro contínuo. A emissividade da pele humana é relatada como sendo quase constante e seu valor é $0,98 \pm 0,01$ para faixa de comprimento de onda de 2–14 μm . Para aplicações médicas, uma banda de comprimento de onda muito estreita (8–12 μm) é geralmente usada (LAHIRI et al., 2012). Como os padrões térmicos anormais são facilmente reconhecíveis pela Imagem termográfica (IT), diferentes diagnósticos de forma precoce são possíveis. Os achados tomográficos são comparados com outros achados clínicos para conclusões diagnósticas. Essa tecnologia vem sendo aplicada em diferentes contextos da área da saúde, como detecção do câncer de mama, diagnóstico de neuropatia diabética e distúrbio vascular, rastreamento da febre, diagnóstico odontológico, aplicações dermatológicas, monitoramento da pressão arterial, diagnóstico de doenças reumáticas, diagnóstico da síndrome do olho seco e doenças oculares, diagnóstico de doenças hepáticas, tratamento do rim, operação cardíaca, ginecologia, testes de personalidade e imagens cerebrais (AMORIM et al., 2018; DE MEIRA et al., 2014; ECHEVARRÍA-GUANILO; FUCULO-JUNIOR, 2020; MENDES et al., 2022; SOUZA et al., 2019). Além dessas, a termografia tem-se apresentado pertinente no controle de complicações de cateteres venosos periféricos, auxiliando no diagnóstico de flebite e infiltração (Okada et al., 2017).

O uso dessa técnica vem sendo designada e aceita cada vez mais entre o âmbito da saúde por uma série de razões favoráveis, como cita o estudo de Politi et al., (2021) ao salientar os aspectos benéficos de ser um recurso rápido, remoto, sem contato e não invasivo. Destaca-se que a termografia é capaz de realizar o monitoramento térmico completo de diferentes áreas do corpo humano em tempo real. Além disso, esta técnica registra apenas a radiação natural que procede da superfície corporal, sem efeitos radioativos para o paciente, sendo adequado para aplicações estendidas e repetitivas.

Apesar dos ganhos com a ferramenta da termografia, faz-se também necessário atentar para as interferências de seu uso. Influência de fatores ambientais, individuais e técnicos devem ser considerados. Como fatores ambientais, tem-se o tamanho do ambiente, a temperatura ambiente, a umidade relativa, a pressão atmosférica, e a radiação de outras fontes. Já em relação a fatores individuais, aspectos extrínsecos - tratamento medicamentoso, tabaco, estimulantes, alimentos, hidratação e atividade física - e intrínsecos - parâmetros biológicos e anatômicos - devem ser levados em consideração (FERNÁNDEZ-CUEVAS et al., 2015). A aplicação da tecnologia requer uma câmera infravermelha, um tripé, um visor dispositivo e uma unidade de processamento de imagem, sendo necessário assim, investimento em saúde. O seu uso deve ser padronizado e protocolado, já que aspectos como contexto, distância, faixa de

temperatura, calibração, posição, resolução e recursos da câmera, podem interferir nas análises e esses caracterizam os fatores técnicos (VIEGAS et al., 2020).

A necessidade de formar um banco de dados comum de imagens térmicas normais de todas as partes do corpo humano, para comparação, foi sinalizada no estudo de Lahiri et al., (2012). Nesse sentido, o conceito de ML vem contribuindo ainda mais com o campo médico. O ML, é uma subdivisão da IA que explora o estudo e a construção de algoritmos computacionais a partir do aprendizado por dados, ao invés de instruções pré-programadas. O objetivo principal de um modelo de ML é construir um sistema de computador que aprenda com um banco de dados pré-definido e gere, ao final, um modelo de predição, classificação ou detecção. No campo da saúde, ML é utilizado para diagnóstico e prognóstico, digitalização de prontuários médicos, exames laboratoriais e de imagem, visando a prevenção e diagnóstico precoce.

As principais categorias do ML são: a) Aprendizado Supervisionado que utiliza um conjunto de dados rotulados para treinar o modelo. Exemplos incluem regressão linear, árvores de decisão e máquinas de vetores de suporte; b) Aprendizado Não Supervisionado que usa dados não rotulados para encontrar padrões ou estruturas. Exemplos incluem: *clustering* (agrupamento) e análise de componentes principais; c) Aprendizado Semi Supervisionado, que combina dados rotulados e não rotulados para melhorar o desempenho do modelo; d) Aprendizado por Reforço, que treina o modelo para tomar decisões em um ambiente dinâmico, maximizando uma recompensa ao longo do tempo. Exemplos incluem: algoritmos de Q-learning; e) Aprendizado profundo por reforço para treinar a inteligência para tomar decisões em um ambiente dinâmico, maximizando uma recompensa ao longo do tempo. Exemplos incluem: algoritmos de Q-learning e aprendizado profundo por reforço (MORAIS, 2023).

A imagem termográfica tem demonstrado ajudar na previsão de doença arterial coronariana (CAD) ao capturar a distribuição e variações de temperatura na superfície da pele, especialmente no rosto (KUNG et al., 2024). O estudo demonstrou que informações de temperatura facial obtidas por termografia por infravermelho, quando analisadas por algoritmos avançados de ML, podem prever CAD com alta precisão. O modelo de imagem termografica apresentou um desempenho superior (AUC 0.804) em comparação com os modelos de probabilidade pré-teste (PTP) recomendados pelas diretrizes (AUC 0.713). A termografia por infravermelho permite uma avaliação não invasiva e em tempo real, identificando áreas de circulação sanguínea anormal e atividade inflamatória, que são indicativas de condições relacionadas à aterosclerose.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma revisão de literatura do tipo narrativa, conduzida para subsidiar estudo maior que pretende desenvolver metodologia analítica para identificação e monitoramento de complicações da terapia infusional por meio de imagens termográficas que sinalizem alterações na área de inserção dos cateteres vasculares. Para tanto, é necessária a construção de banco de imagens termográficas em software desenvolvido para treinar modelos de ML.

A pesquisa está subsidiada na metodologia do Design Science Research (DSR), uma vez que pretende-se produzir conhecimento científico para o desenvolvimento de uma inovação, com a intenção de

resolver problemas reais. Assim, o resultado da pesquisa será a construção de um artefato que representa uma solução para uma ampla gama de problemas (Dresch; Lacerda; Júnior *et al.*, 2015).

Dentre as primeiras etapas do DSR, está a identificação do problema (primeira etapa) e sua conscientização (segunda etapa). No cenário desta pesquisa, está reconhecido que a terapia infusional pode ocasionar complicações como extravasamento de soluções, flebite e infecções de corrente sanguínea, o que repercute nos custos hospitalares e tempo de internação. E apesar dos avanços alcançados, há ainda lacunas no desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na identificação precoce dessas complicações para que intervenções assertivas sejam realizadas em tempo oportuno.

Já a terceira etapa do método, prevê revisão de literatura para identificar a inovação e originalidade da pesquisa. Desta forma, este artigo explorou a identificação de estudos sobre o uso de técnicas de ML para a predição de agravos de saúde utilizando imagens termográficas. Assim, foi realizada uma busca no mês de janeiro, nas bases de dados PubMed, Web of Science, Scopus, utilizando a seguinte estratégia de busca: (((((thermographies) OR ("Infrared Imaging")) OR ("Thermographic Imaging")) OR ("thermography")) OR ("thermal imaging")) AND (((("Health Monitoring") OR ("Disease Prediction")) OR ("Health Prediction"))).

Foram selecionados para compor esta revisão narrativa aqueles estudos que trataram da temática estabelecida, culminando numa síntese qualitativa sobre as técnicas de ML mais comuns e os tipos de agravos de saúde que vem sendo preditos até o momento por meio de imagens termográficas. Assim como, os desafios e limitações na combinação dessas tecnologias.

Como todos os dados utilizados foram de domínio público, não houve necessidade de aprovação ética.

4 SÍNTESE DA LITERATURA E DISCUSSÃO

A revisão dos artigos pré-selecionados indica que a técnica de ML ainda é pouco mencionada como uma etapa fundamental no desenvolvimento de softwares para análise termográfica. Na tabela 1 são apresentadas as principais características dos estudos analisados. Entende-se ML como o uso de algoritmos que permitem que sistemas aprendem padrões a partir de dados, sem a necessidade de programação explícita para cada tarefa, com o objetivo de melhorar a precisão e a eficiência de processos como a análise de imagens termográficas e a detecção de padrões (EL NAQA; MURPHY, 2015).

Tabela 1. Caracterização dos estudos incluídos na revisão narrativa em relação ao ano, tamanho de amostra, tipo de agravo predito, técnica de ML e principais achados.

<i>Autores</i>	<i>Ano</i>	<i>Amostra</i>	<i>Tipo de Agravo Predito</i>	<i>Técnica de ML Utilizada</i>	<i>Principais Achados</i>
<i>Fernández-Cuevas et al.</i>	<i>2015</i>	<i>22 indivíduos</i>	<i>Lesões esportivas</i>	<i>Correlação espaço-temporal com ML</i>	<i>Identificação precoce de lesões com software baseado em padrões térmicos em diferentes segmentos corporais.</i>

<i>Hirata et al.</i>	2023	10 indivíduos	Extravasamento de soluções isotônicas e não isotônicas	Light-CNN e Light-ConvLSTM	Sistema robusto com alta acurácia e baixa taxa de falsos positivos para detecção precoce de extravasamento.
<i>Sillero-Quintana et al.</i>	2015	Não especificada	Assimetrias térmicas musculares	Correlação de padrões (ML implícito)	Desenvolvimento do software ThermoHuman para automação da extração de dados termográficos.
<i>Damasceno e Figueiredo</i>	2021	Simulação	Câncer de mama	Não especificado	Protocolo de estresse térmico aumentou contraste térmico entre tecidos tumorais e saudáveis.
<i>Medrano Jiménez et al.</i>	2024	Série de casos clínicos	Neuropatia diabética, distúrbios vasculares	Não especificado	Diferenças térmicas auxiliaram na detecção de osteomielite, isquemia e neuropatia.
<i>Kennedy et al.</i>	2009	Não especificada	Câncer de mama	Não especificado	Dados térmicos complementares para rastreamento mamário e detecção de hipertermia tumoral.
<i>Bharara; Schoess; Armstrong</i>	2012	Não especificada	Pé diabético	Não especificado	Termografia como ferramenta diagnóstica para alterações vasculares e neuropatia.
<i>Forcelini, Varnier e Merino</i>	2018	Não especificada	Não se aplica	Não se aplica	Destacadas limitações ambientais e necessidade de padronização e capacitação técnica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No estudo realizado por Fernández-Cuevas *et al.*, (2015), na Faculdade de Ciências da Atividade Física e do Esporte (INEF) da Universidade Politécnica de Madrid, Espanha, a amostra foi composta por vinte e duas pessoas. O ML foi utilizado para correlacionar e analisar padrões espaço-temporais em diferentes segmentos corporais, com foco em áreas afetadas por lesões esportivas. O objetivo dessa abordagem foi desenvolver um software capaz de identificar precocemente essas lesões, aprimorando a precisão diagnóstica e a resposta clínica.

O artigo, realizado por Hirata *et al.*, (2023), contou com uma amostra composta por dez indivíduos. O estudo aplicou técnicas de machine learning (ML) para otimizar a implementação de parâmetros e hiperparâmetros nos modelos Light-CNN e Light-ConvLSTM. O Light-CNN (*Convolutional Neural Network* leve) é uma rede convolucional simplificada, projetada para realizar extração de características com eficiência computacional, mantendo alta precisão. Já o Light-ConvLSTM é uma versão compacta da arquitetura *Convolutional Long Short-Term Memory*, capaz de capturar tanto padrões espaciais quanto temporais em sequências de dados, como sinais fisiológicos contínuos. A utilização dessas arquiteturas, combinada à otimização automática de seus hiperparâmetros por meio de ML, permitiu a construção de um sistema robusto e eficiente para detecção precoce de extravasamento, com alta taxa de acerto e baixo índice de falsos positivos. Essa abordagem foi projetada para aprimorar a detecção precoce do extravasamento de soluções isotônicas e não isotônicas infundidas. Durante o experimento, foram administradas infusões de 3,1 ml de solução isotônica e 4,3 ml de solução não isotônica. Ressalta-se que foi utilizado um cateter venoso periférico, com a coleta de dados realizada por meio de um hardware desenvolvido especificamente para a pesquisa.

Já o estudo realizado por Sillero-Quintana *et al.*, (2015), teve como objetivo a padronização de imagens termográficas para viabilizar a criação de um software denominado *ThermoHuman*, voltado para a automação da extração de dados termográficos de segmentos corporais. Esse software visa facilitar a monitoração de assimetrias térmicas musculares, caracterizando uma aplicação de ML no desenvolvimento da ferramenta, ainda que a técnica não tenha sido explicitamente nomeada no estudo. A análise do método empregado revelou a utilização da correlação de padrões pré-estabelecidos, indicando a aplicação implícita de machine learning. No protocolo desenvolvido pela equipe TERMOINEF, os participantes forneceram diversos valores térmicos como temperatura máxima, temperatura mínima e variação térmica associados a suas respectivas regiões de interesse, com o intuito de construir um modelo preditivo.

Esses achados sugerem que, apesar da crescente aplicação do ML na termografia médica e no desenvolvimento de softwares diagnósticos, sua presença ainda é incipiente na literatura revisada. O avanço dessas técnicas pode representar um potencial significativo para aprimorar a precisão e a eficiência na detecção precoce de lesões e complicações médicas. No entanto, apesar de seu grande potencial, o ML também enfrenta desafios, como a necessidade de pessoal qualificado para desenvolver e interpretar os modelos, além da exigência de validação rigorosa para garantir que os modelos sejam confiáveis e transparentes (SANTOS *et al.*, 2019).

A termografia infravermelha é comumente utilizada para predição de agravos em saúde, pois através das imagens térmicas possibilita a identificação de padrões térmicos anormais, a partir da análise de variações na emissão de radiação infravermelha pela superfície cutânea, permitindo a detecção precoce de alterações fisiológicas antes do surgimento de sintomas clínicos evidentes. Dessa forma, os achados termográficos são correlacionados com dados clínicos, a fim de contextualizar possíveis correlações patológicas (LAHIRI *et al.*, 2012; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015).

Embora apresente limitações de especificidade e dependa do histórico e do ambiente circundante, essa técnica tem se consolidado na área da saúde devido a suas vantagens. Entre elas, podemos citar o fato de ser um método não invasivo e indolor, onde não é realizado contato físico, nem exposição a radiação ionizante ou utilizado contrastes, tornando-o seguro, inclusive para o monitoramento prolongado. Da

mesma forma, permite avaliação rápida de extensas áreas corporais, com interpretação simplificada por meio de pseudocores, facilitando a identificação de assimetrias térmicas. Ademais, o funcionamento em tempo real possibilita o registro de variações térmicas durante atividades ou intervenções (FERNÁNDEZ-CUEVAS et al., 2015).

A termografia transcende sua função como mera alternativa de imagem, emergindo como uma ferramenta diagnóstica inovadora que explora variações térmicas superficiais anteriormente subutilizadas em diversas patologias. A integração de técnicas de inteligência artificial amplia suas possibilidades analíticas, potencializando a precisão e a eficiência dos processos de avaliação. Embora atualmente a termografia por infravermelho não substitua métodos convencionais, sua utilidade fundamenta-se na capacidade de detectar alterações metabólicas e funcionais antes de lesões estruturais serem visíveis, ou seja, a termografia corporal permite identificar variações térmicas superficiais associadas a alterações estruturais ou funcionais em tecidos internos, servindo como indicador potencial para diagnósticos de condições neurológicas, vasculares e metabólicas (KESZTYÜS et al., 2023).

Entre os agravos de saúde mais comuns preditos com termografia infravermelha, pode-se citar o câncer de mama, o qual destaca-se como o tipo mais prevalente entre os diagnósticos oncológicos femininos, correspondendo a aproximadamente um terço dos casos registrados (*National Cancer Institute*, 2021). A aprovação da termografia infravermelha como recurso auxiliar no diagnóstico mamário ocorreu em 1982, mediante avaliação regulatória da *Food and Drug Administration* (FDA) dos Estados Unidos. Estudos comparativos recentes, como os analisados por Kennedy et al. (2009), destacam o potencial da termografia por infravermelho no rastreamento mamário ao fornecer dados funcionais complementares sobre padrões térmicos e perfis vasculares dos tecidos, diferenciando-a de outras modalidades de imagem convencionais. Essa abordagem termográfica permite identificar alterações fisiológicas subjacentes, como variações na vascularização ou metabolismo celular, que podem auxiliar na caracterização de lesões suspeitas. A característica vascular dos tumores, associada a um aumento na densidade capilar e atividade metabólica elevada, resulta em áreas de hipertermia focal. Essa alteração térmica, decorrente do maior fluxo sanguíneo e do metabolismo acelerado, permite a identificação dessas lesões através de técnicas de imagem térmica, que detectam variações de temperatura na superfície corporal.

A simulação realizada por Damasceno e Figueiredo (2021) demonstrou que a termografia dinâmica, quando associada a um protocolo de estresse a frio com aplicação de compressa a 5 °C por 120 segundos, proporcionou um ganho térmico de 74,48% em relação ao método estacionário. A análise evidenciou uma variação de temperatura de até 1,518 °C nas regiões próximas ao tumor, com o pico de contraste térmico sendo atingido após 1440 segundos de recuperação. Esses resultados indicam que a técnica é capaz de realçar significativamente as diferenças térmicas entre tecidos saudáveis e tumorais, favorecendo a identificação de lesões com maior taxa metabólica. Além disso, observou-se que temperaturas de resfriamento mais elevadas, como 10 °C e 15 °C, resultaram em ganhos reduzidos (41,38% e 30,92%, respectivamente), o que reforça a importância da intensidade do estímulo térmico e do tempo de recuperação na eficácia do exame.

Outro exemplo de agravo predito com a termografia por infravermelho discutido na literatura científica é a neuropatia diabética e o distúrbio vascular. Estudos indicam que aproximadamente metade dos pacientes com diabetes mellitus desenvolvem complicações nos membros inferiores, sendo essas as condições mais frequentemente associadas a internações hospitalares nessa população. A etiologia

desses problemas está diretamente relacionada a dois fatores principais: a redução do fluxo sanguíneo (alterações vasculares) e a perda progressiva de sensibilidade (neuropatia diabética), que combinam-se para aumentar o risco de lesões e infecções graves. Alterações na temperatura superficial da pele, decorrentes tanto de distúrbios vasculares quanto de neuropatia diabética, conferem à termografia infravermelha relevância como método diagnóstico para ambas as condições (BHARARA; SCHOESS; ARMSTRONG, 2012).

A aplicação da termografia infravermelha demonstrou utilidade clínica em diferentes contextos do pé diabético em atenção primária, conforme evidenciado na série de casos apresentada por Medrano Jiménez et al. (2024). No primeiro caso, a diferença de apenas 0,1 °C entre pontos contralaterais descartou a suspeita de osteomielite. Já no segundo caso, uma assimetria térmica de 2,2 °C entre os pés indicou processo infeccioso moderado, enquanto uma variação de -0,9 °C no mesmo pé apontou para isquemia distal grave. No terceiro caso, a distribuição assimétrica das temperaturas máximas e mínimas entre os pés permitiu corroborar o diagnóstico clínico de neuropatia sensitiva unilateral. Esses achados reforçam o potencial da termografia como ferramenta complementar ao exame clínico para avaliação vascular e neurológica em pacientes com diabetes, permitindo intervenções precoces em contextos ambulatoriais.

Embora a aplicabilidade da termografia vem se mostrando relevante, a variabilidade observada em avaliações termográficas pode comprometer a confiabilidade dos resultados obtidos em contextos clínicos, limitando sua eficácia na obtenção de diagnósticos precisos. Essa instabilidade metodológica sugere a necessidade de padronização de protocolos para garantir maior consistência nas análises termográficas aplicadas à prática médica. A ausência de protocolos estabelecidos e universalmente adotados para a aplicação da termografia resulta em variações metodológicas significativas, tanto na fase de coleta de dados quanto na interpretação das imagens termográficas. Essa falta de padronização compromete a reprodutibilidade dos achados, dificultando a comparação crítica entre diferentes investigações científicas e contextos clínicos. Consequentemente, a heterogeneidade nas práticas de análise limita a validação cruzada de resultados, o que pode restringir a generalização de conclusões (MERINO et al., 2018).

Os resultados apresentados por Forcelini, Varnier e Merino (2018) evidenciam que, embora a termografia infravermelha seja uma ferramenta eficiente na coleta de dados térmicos, sua aplicação apresenta algumas desvantagens. Entre elas, destaca-se a influência de fatores ambientais nas medições, como variações de temperatura do ambiente e condições de iluminação, que podem comprometer a precisão das análises. Além disso, a interpretação das imagens pode ser dificultada pelas características dos materiais observados, exigindo conhecimento técnico especializado. Outro ponto relevante é a limitação de desempenho de alguns modelos de câmeras, que apresentam menor sensibilidade e precisão, além do alto custo dos equipamentos mais avançados. Também é ressaltada a necessidade de profissionais capacitados para operar o sistema e realizar a análise adequada dos dados térmicos gerados.

5 CONCLUSÃO

A integração de termografia infravermelha e técnicas de ML oferece grande potencial para o diagnóstico precoce e monitoramento de agravos de saúde, mas sua implementação na prática clínica enfrenta ainda alguns obstáculos técnicos e operacionais que precisam ser superados. Pois, algoritmos de ML exigem grandes volumes de dados, entretanto, as termografias médicas de alta qualidade são difíceis

de obter devido a restrições que vão desde as ambientais como iluminação e temperatura do ambiente por exemplo, até artefatos de captura como o movimento do paciente, que podem gerar dados distorcidos. Isto exige metodologias complexas no pré-processamento das imagens. Esses desafios exigem avanços técnicos em ML com protocolos clínicos rigorosos para garantir que os dados térmicos sejam viáveis para aplicações confiáveis.

Os achados desta revisão serviram como um **alicerce teórico** para a pesquisa de campo que está sendo desenvolvida pelo grupo de pesquisa. A compreensão aprofundada dos princípios, das aplicações e dos desafios do ML em termografia forneceu bases conceituais necessárias para o design e a implementação no estudo empírico. Como próxima etapa do estudo empírico em desenvolvimento, daremos continuidade a **ampliação do banco de imagens termográficas**, utilizando o software específico desenvolvido. Este banco de dados será fundamental para o **treinamento e a validação de modelos de ML** com o objetivo de prever complicações em cateteres vasculares, avançando assim na proposta apresentada e buscando aplicar de forma prática e inovadora os conhecimentos teóricos aqui discutidos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fapergs pelo suporte financeiro e ao Hospital Santa Cruz (HSC) pela infraestrutura e apoio técnico essenciais para a realização deste estudo. Também expressamos nossa gratidão aos colegas e colaboradores pelas contribuições valiosas, que enriqueceram significativamente esta pesquisa. Nosso reconhecimento especial aos participantes do estudo, cuja disponibilidade e colaboração foram fundamentais para a obtenção dos resultados.

REFERÊNCIAS

AMALU, W. International Academy of Clinical Thermology quality assurance guidelines: standards and protocols in clinical thermographic imaging. Foster City (CA): International Academy of Clinical Thermology (IACT)p. 12–35. Livro/Guia.), 2015.

AMORIM, Ana Marly Araújo Maia; BARBOSA, Jussara da Silva; FREITAS, Ana Priscila Lira de Farias; FERREIRA, José Eraldo Viana; VIEIRA, Luiz Eduardo Marinho; SUASSUNA, Fernanda Clotilde Mariz; BENTO, Patrícia Meira; MELO, Daniela Pita de. Termografia infravermelha na Odontologia. HU Rev, p. 15–22, 2018.

BHARARA, Manish; SCHOESS, Jeffrey; ARMSTRONG, David G.. Coming events cast their shadows before: detecting inflammation in the acute diabetic foot and the foot in remission. Diabetes/Metabolism Research and Reviews, v. 28, n. 1, 2012.

DA SILVA, Cícera Vanderléia Martins; SOUZA, Fernanda Alves de; MORAIS, Thaiane do Rosário de Almeida; BARREIRA JÚNIOR, Luiz Fidelis; AGUILA, Fernando Alves; SANTOS, Vivaldo Medeiros; LEÃO, Anicarine Ribeiro; ALMEIDA, Denise de; SILVA, Jorge Luiz Fernandes da; BRANCO, Amanda Juliane da Silva; LEME, Liana Richelma Lima. Equipamentos de termografia utilizados na área da saúde. Revista Remecs – Revista Multidisciplinar de Estudos Científicos em Saúde, p. 20–20, 2018.

DAMASCENO, Bernardo Vieira; FIGUEIREDO, Alisson Augusto Azevedo. Análise numérica da termografia dinâmica para detecção precoce do câncer de mama. In: Proceedings of the 27nd National Congress of Mechanical Engineering Students-CREEM2021. Curitiba, Brasil. Curitiba: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM). 2021.

DE MEIRA, Leanderson Franco; KRUEGER, Eddy; NEVES, Eduardo Borba; NOHAMA, Percy; SOUZA, Mauren Abreu de. Termografia na área biomédica. *Pan American Journal of Medical Thermology*, v. 1, n. 1, p. 31–41, 2014.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, Junico. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ECHEVARRÍA-GUANILO, Maria Elena; FUCULO-JUNIOR, Paulo Roberto Boeira. A termografia: método de avaliação de alterações de pele. *Revista Enfermagem Atual In Derme*, v. 94, n. 32, 2020. Disponível em: <https://mail.revistaenfermagematual.com.br/index.php/revista/article/view/919>. Acesso em: 09 abr. 2025.

EL NAQA, Issam; MURPHY, Martin J. O que é aprendizado de máquina?. *Aprendizado de máquina em radio-oncologia: teoria e aplicações*. Springer International Publishing, 2015.

ESTADOS UNIDOS. National Cancer Institute. Folhas de dados estatísticos do SEER: Mamas. Disponível em: <https://seer.cancer.gov/statfacts/html/breast.html>.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, Ismael; BOUZAS MARINS, João C; ARNÁIZ LASTRAS, Javier; GÓMEZ CARMONA, Pedro M; PIÑONOSA CANO, Sergio; ÁNGEL GARCÍA-CONCEPCIÓN, Miguel; SILLERO-QUINTANA, Manuel. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*, v. 71, p. 28-55, 2015.

FORCELINI, Franciele; VARNIER, Thiago; MERINO, Eugenio Andrés Díaz. Termografia Infravermelha e Captura de Movimentos: vantagens e desvantagens no desenvolvimento de projetos. In: *Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design*. 2018.

HIRATA, Ikue et al. A machine learning approach for early detection of infusion leakage using wearable soft sensors. *ACS Sensors*, v. 8, n. 3, p. 1017–1032, 2023.

KENNEDY, Débora A; LEE, Tanya; SEELY, Dugald. A comparative review of thermography as a breast cancer screening technique. *Terapias Integrativas do Câncer*, v. 8, 2009.

KESZTYÜS, Dorothea; BRUCHER, Sabrina; WILSON, Carolyn; KESZTYÜS, Tibor. Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis, Screening, and Disease Monitoring: A Scoping Review. *Medicina*, v. 59, n. 2139, 2023.

KUNG, Minghui; ZENG, Juntong; LIN, Shen; YU, Xuexin; LIU, Chang; MENGAN, Shi; SUN, Runchen; YUAN, Shangyuan; LIAN, Xiacong; SU, Xiaoting; ZHAO, Yan; ZHENG, Zhe; JI, Xiangyang. Prediction of coronary artery disease based on facial temperature information captured by non-contact infrared thermography. *BMJ Health & Care Informatics*, 2024.

LAHIRI, Barid Baran; BAGAVATHIAPPAN, S; JAYAKUMAR, T; PHILIP, John. Medical applications of infrared thermography: a review. *Infrared physics & technology*, v. 55, n. 4, p. 221-235, 2012.

LUBKOWSKA, Anna; PLUTA, Waldemar. Infrared Thermography as a Non-Invasive Tool in Musculoskeletal Disease Rehabilitation: The Control Variables in Applicability. *MDPI*, 2022.

LUDERMIR, Teresa Bernarda. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina: estado atual e tendências. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 35, n. 101, p. 85–94, 2021. doi: 10.1590/s0103-4014.2021.35101.007.

MEDRANO-JIMÉNEZ, Rafael; GILI RIU, M. del Mar; MILLÁN ABELLA, Jesús; DELCOR PÉREZ, Carmen; BONET IVARS, Verónica; PARRALO PAQUÉ, Roser. Viabilidad de la termografía infrarroja en pacientes con diabetes: serie de casos en atención primaria. *Gerokomos*, v. 35, n. 2, p. 136–140, 2024.

MENDES, Brener Nilsinho; FONSECA, Marjory Pereira da; SOUZA, Thamyres Cristina Meireles de; RIPKA, Wagner Luis; HEIMBECHER, Catia Terezinha. Termografia aplicada à Enfermagem: uma revisão bibliométrica. *Pan American Journal of Medical Thermology*, [S.l.], v. 8, p. 004, jan. 2022. ISSN 2358-4696.

MERINO, Eugenio Andrés Díaz; FORCELINI, Franciele; VARNIER, Thiago; DÍAZ MERINO, Giselle Schmidt Alves. O uso da instrumentação tecnológica em projetos de tecnologia assistiva: captura de movimentos e termografia infravermelha. *Human Factors in Design*, v. 7, n. 14, p. 095–113, 2018.

MORAIS, Pedro Henrique Carreto. Estudo comparativo entre aprendizado supervisionado e aprendizado semi-supervisionado aplicados a problemas de classificação de dados. Campinas, SP: [s.n.], 2023.

OKADA, Takumu; OKAMOTO, Shogo; YAMADA, Yoji. Passive haptics: Variable asperity by using damping brake of DC motor. 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). IEEE, 2017

POLITI, Stefano; ALOISI JR, Anna; BARTOLI, Vittorio; GUGLIETTA, Antonio; MAGNIFICA, Fabrizio. Infrared thermography images acquisition for a technical perspective in screening and diagnostic processes: protocol standardized acquisition. Cureus, v. 13, n. 11, 2021.

SANTOS, Hellen Geremias dos; NASCIMENTO, Carla Ferreira do; IzbickiYeda APARECIDA DE OLIVEIRA DUARTE, Rafael; DIAS PORTO CHIAVEGATTO FILHO, Alexandre; Machine learning para análises preditivas em saúde: exemplo de aplicação para prever óbito em idosos de São Paulo, Brasil. Cadernos de Saúde Pública, v. 35, n. 7, e00050818, 2019.

SILLERO-QUINTANA, Manuel; FERNÁNDEZ-CUEVAS, Ismael; ARNAIZ-LASTRAS, Javier; MARINS, Joao Carlos Bouzas. TERMOINEF Group protocol for thermographic assessment in humans. Technical report. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015.

SILVA, G. A; SANCHES, I. J; MORAIS, E. F; BRIOSCH, M. L. Método automático para detecção de assimetria térmica corporal por termografia infravermelha. XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB-2016). 2016.

SOUZA, T. K.; SANTANA, Maíra A. de; ANDRADE, José Filipe S. de; SANTOS, Wellington P. dos; ALMEIDA, Maria Beatriz J. de. Métodos computacionais aplicados ao diagnóstico de câncer de mama por termografia: uma revisão de literatura. Simpósio De Inovação Em Engenharia Biomédica – Sabio, 3., 2019, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2019.

VIEGAS, Fernanda; MELLO, Marco Tulio de; RODRIGUES, Sara Andrade; COSTA, Carlos Magno Amaral; FREITAS, Luísa de Sousa Nogueira; RODRIGUES, Eduester Lopes; SILVA, Andressa. The use of thermography and its control variables: a systematic review. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v. 26, n. 1, p. 82–86, 2020.