

Algoritmos de Inteligência Artificial na Identificação e Monitoramento do Alzheimer: Aplicações com Variáveis Ambientais

JÚLIA M. SANTOS (IFPB, Campus João Pessoa), RAYAN C. F. GOMES (IFPB, Campus João Pessoa), VALERIA M. L. DE MEDEIROS (IFPB, Campus João Pessoa).

E-mails: julia.marques@academico.ifpb.edu.br, ravan.chenai@academico.ifpb.edu.br, valeria.medeiros@ifpb.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 4.06.03.00-8 Medicina Preventiva.

Palavras-chave: cognição; diagnóstico; memória; neurociência; saúde; tecnologia.

1. Introdução

O Alzheimer constitui uma patologia neurodegenerativa progressiva que compromete, de forma gradual e irreversível, as funções cognitivas superiores, incluindo a memória, o raciocínio lógico e as capacidades executivas. Embora a doença seja predominantemente incidente na população idosa, trata-se de uma condição patológica multifatorial e distinta do processo natural de envelhecimento. A senescência pode acarretar declínios nos domínios cognitivo, motor e funcional; no entanto, é a interação entre esse processo e fatores neurodegenerativos específicos que pode aumentar a vulnerabilidade do Sistema Nervoso Central (SNC), culminando em disfunções estruturais e bioquímicas no cérebro (Feng; Wang, 2019). Em face das limitações tecnológicas atuais e da complexidade intrínseca do SNC, ainda não há um tratamento curativo ou profilático plenamente eficaz. Nesse contexto, torna-se imperativo o desenvolvimento de abordagens terapêuticas alternativas que visem mitigar a progressão da patologia, atenuar as manifestações sintomatológicas recorrentes e fomentar melhorias substanciais na qualidade de vida e na autonomia funcional dos indivíduos acometidos (Garuffi et al., 2013).

Sob tal ótica, a Inteligência Artificial (IA) configura-se como uma ferramenta de elevado potencial disruptivo na detecção precoce e no monitoramento clínico da Doença de Alzheimer (DA). A aplicação de algoritmos avançados tem-se revelado promissora ao redefinir paradigmas diagnósticos, permitindo a identificação automatizada de padrões neurocognitivos sutis associados à progressão da disfunção. Tais tecnologias viabilizam abordagens mais sensíveis e precisas, promovendo inovações significativas nos processos de triagem, acompanhamento e intervenção terapêutica. A IA destaca-se por sua capacidade analítica avançada, processando rapidamente grandes volumes de dados complexos, como informações genômicas, neuroimagens e registros clínicos. Essa proficiência computacional possibilita a extração de padrões latentes e a geração de inferências diagnósticas precoces (Acharya et al., 2019).

Considerando tal cenário, a convergência entre inovações tecnológicas e os preceitos da sustentabilidade na saúde potencializa a reconfiguração de modelos assistenciais mais integrados e eficazes frente às demandas contemporâneas. Portanto, estabeleceu-se como objetivo do presente estudo analisar a aplicação de algoritmos de inteligência artificial na identificação e no monitoramento da Doença de Alzheimer, considerando seus impactos nos aspectos clínicos, metodológicos e na sustentabilidade dos sistemas de saúde. Nesse contexto, pretende-se examinar o uso das tecnologias na literatura científica, considerando seus achados empíricos, limitações, potencialidades e contribuições para modelos assistenciais mais integrados às demandas contemporâneas da saúde.

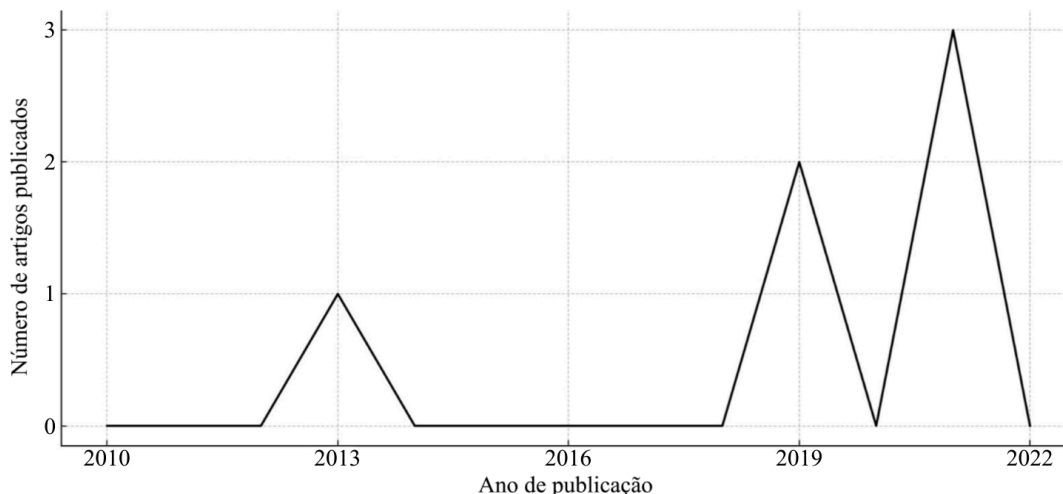
2. Materiais e métodos

Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, com o objetivo de identificar estudos que investigassem a aplicação de tecnologias, com ênfase em algoritmos de inteligência artificial, no diagnóstico e monitoramento da Doença de Alzheimer. A busca foi conduzida por meio da plataforma da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), contemplando bases como PubMed, ScienceDirect, Nature, Wiley Online Library e a Revista Brasileira de Cineantropometria. Para a busca, foram utilizadas palavras-chave em português, como “Cognição”, “Diagnóstico”, “Memória”, “Neurociência”, “Saúde” e “Tecnologia”. Para a seleção dos artigos, os critérios de inclusão consideraram estudos publicados entre 2010 e 2024, disponíveis na íntegra, de acesso gratuito e que abordassem o tema de forma explícita. Como critério de exclusão, adotou-se a ausência de delineamento metodológico claro, de coleta ou análise de dados, ou a falta de relação direta com o tema proposto. A busca inicial resultou em 16 artigos, dos quais 6 atenderam integralmente aos critérios de inclusão. Esses artigos foram analisados quanto aos seus objetivos, metodologias adotadas, tecnologias utilizadas, resultados obtidos e relevância para a inovação no cuidado de pacientes com Alzheimer. Por fim, foram sistematizados em repositório eletrônico e categorizados conforme o idioma (n=5 em inglês; n=1 em português) e por tipo de estudo: n=1 (16,7%) revisão sistemática, n=4 (66,6%) estudos experimentais e n=1 (16,7%) estudo descritivo.

3. Resultados e discussão

Ao investigar a aplicação de algoritmos de inteligência artificial no diagnóstico e monitoramento da DA, os dados obtidos foram organizados em tabelas e quadros, com o intuito de garantir uma melhor sistematização das abordagens e metodologias presentes nas produções científicas selecionadas. Dessa forma, foi possível analisar com mais clareza aspectos como o ano de publicação, o tipo de estudo realizado, os recursos tecnológicos empregados e a evolução do uso da IA na área da saúde voltada à neurodegeneração.

Figura 1. Distribuição dos Estudos por Ano de Publicação



Fonte: Elaboração própria (2024)

A análise cronológica dos artigos evidencia um crescimento progressivo nas publicações voltadas ao uso de IA no contexto da Doença de Alzheimer, especialmente a partir de 2019. O ano de 2021 destacou-se como um marco relevante, concentrando o maior número de estudos dentro do recorte analisado. Esse aumento indica uma crescente valorização da inteligência artificial como ferramenta de suporte diagnóstico, principalmente em decorrência dos avanços tecnológicos recentes e da maior disponibilidade de bases de dados neurológicas. A intensificação dessas publicações também reflete um movimento científico que busca alternativas mais precisas, precoces e escaláveis para o enfrentamento da DA, diante das limitações dos métodos convencionais.

Isto posto, a aplicação de métodos de IA na neurociência tem promovido avanços significativos na acurácia diagnóstica e na caracterização das causas da DA. Técnicas de machine learning (ML) e deep learning (DL) têm sido instrumentalizadas para a análise de grandes volumes de dados heterogêneos, incluindo imagens de neuroimagem, dados clínicos estruturados e informações genéticas, permitindo a extração automatizada de padrões latentes com elevada sensibilidade. A adoção de abordagens multimodais, integrando modalidades como ressonância magnética funcional (fMRI), ressonância magnética estrutural (MRI), tomografia por emissão de pósitrons (PET) e dados genômicos, tem demonstrado potencial na detecção precoce de alterações neurodegenerativas associadas à DA. Assim, El-Sappagh et al. (2021) evidenciaram que modelos preditivos baseados na fusão desses dados multimodais são capazes de prover suporte clínico diferenciado, otimizando a estratificação de risco e a personalização terapêutica. Entretanto, questões relacionadas à padronização dos dados, interoperabilidade entre sistemas e limitações nas bases públicas disponíveis ainda comprometem a replicabilidade e a generalização desses modelos.

No escopo das arquiteturas de DL, redes neurais convolucionais tridimensionais (3D-CNNs) com mecanismos de atenção têm se destacado na tarefa de classificação automática de imagens cerebrais. Zhang et al. (2021) reportaram acurácia de 97,35% em imagens de MRI para a detecção da DA, utilizando uma arquitetura densa com atenção espacial. Apesar do desempenho quantitativo elevado, ressalta-se que a ausência de validação externa, a predominância de conjuntos de dados reduzidos e a opacidade interpretativa inerente a esses modelos dificultam sua aplicabilidade clínica direta, sobretudo em contextos com alto grau de variabilidade interindividual. A integração de dados estruturais (MRI) e funcionais (PET), processados por modelos de IA, tem se mostrado particularmente eficaz para aumentar a acurácia diagnóstica e a previsão da progressão da DA. No entanto, o caráter “caixa-preta” de modelos baseados em DL constitui uma limitação relevante, dado que a ausência de interpretabilidade compromete a transparência exigida em ambientes clínicos e dificulta sua aceitação por profissionais da saúde.

Adicionalmente, a IA tem sido explorada como ferramenta para o mapeamento de fatores de risco ambientais relacionados à DA. Estudos observacionais, como o conduzido por Shaffer et al. (2021), sugerem associação estatisticamente significativa entre exposição prolongada a poluentes atmosféricos, notadamente partículas finas (PM_{2.5}) e dióxido de nitrogênio (NO₂) e maior incidência de declínio cognitivo. A modelagem preditiva baseada em ML tem mostrado grande potencial para identificar padrões correlacionais entre variáveis ambientais e alterações neurobiológicas, o que pode contribuir para identificar áreas vulneráveis e apoiar intervenções específicas. No entanto, a alta colinearidade entre as variáveis ambientais e a falta de controle rigoroso sobre variáveis de confusão dificultam a inferência causal direta. Para lidar com esses desafios, algoritmos baseados em ensemble, como Random Forest e XGBoost (Extreme Gradient Boosting), têm se mostrado eficazes na análise de dados longitudinais e multivariados, especialmente em cenários com alta dimensionalidade e colinearidade. Essas técnicas têm sido

aplicadas na modelagem de trajetórias cognitivas associadas à exposição ambiental, permitindo previsões individualizadas de risco. Ainda assim, sua precisão depende da representatividade dos dados e da qualidade das variáveis predictoras, além de exigir infraestrutura computacional avançada.

4. Considerações finais

O emprego de algoritmos de IA na análise e no monitoramento da DA representa um avanço metodológico promissor, com potencial transformador para a prática clínica e a saúde pública. A combinação de dados multimodais como neuroimagens, exames laboratoriais, informações genômicas e registros clínicos com modelos preditivos baseados em machine learning (ML) e deep learning (DL), tem viabilizado progressos significativos na identificação precoce de biomarcadores, na estratificação de risco e na previsão da progressão da patologia. Tais resultados contribuem para o aprimoramento da acurácia diagnóstica em estágios iniciais, impactando diretamente a conduta clínica e o desenvolvimento de estratégias terapêuticas personalizadas. Adicionalmente, a incorporação de variáveis ambientais e sociais aos modelos de IA configura um avanço conceitual relevante, ao integrar determinantes sociais da saúde e exposições ambientais como fatores moduladores do risco neurológico. Essa abordagem ampliada favorece a compreensão etiológica da DA, embora ainda demande rigor metodológico na definição das variáveis causais, no controle de viés e na validação dos modelos.

Apesar dos avanços promissores, persistem entraves significativos à consolidação dessas tecnologias, como a baixa interpretabilidade de alguns algoritmos, a heterogeneidade dos dados, a ausência de interoperabilidade entre plataformas e a falta de padronização nos processos de coleta e tratamento das informações. Nesse cenário, é evidente que a adoção efetiva da IA na DA depende não apenas de avanços técnicos, mas também de esforços regulatórios, éticos e institucionais. Sua utilização extrapola o campo da inovação tecnológica, assumindo papel estratégico diante do envelhecimento populacional e da crescente incidência de doenças neurodegenerativas. Ao promover diagnósticos precoces, acompanhamento eficiente e intervenções personalizadas, essas tecnologias contribuem para um sistema de saúde mais resiliente, inclusivo e sustentável, alinhado aos desafios globais contemporâneos. O campo permanece em constante evolução, exigindo o aprofundamento de investigações futuras que consolidem as evidências existentes e abram novas possibilidades para o desenvolvimento de soluções cada vez mais eficazes e integradas.

Referências

- ACHARYA, U. R.; FERNANDES, S. L.; KOH, J. E. W.; CIACCIO, E. J.; FABELL, M. K. M.; TANIK, U. J.; RAJINIKANTH, V.; YEONG, C. H. Automated Detection of Alzheimer's Disease Using Brain MRI Images - A Study with Various Feature Extraction Techniques. *Journal of Medical Systems*, v. 43, n. 9, 9 ago. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31396722/>. Acesso em: 1 mai. 2025.
- EL-SAPPAGH, S.; ALONSO, J. M.; ISLAM, S. M. R.; SULTAN, A. M.; KWAK, K. S. A Multilayer Multimodal Detection and Prediction Model Based on Explainable Artificial Intelligence for Alzheimer's Disease. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 29 jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82098-3>. Acesso em: 7 mai. 2025.
- FENG, Y.; WANG, X.. Antioxidant Therapies for Alzheimer's Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, China, v. 2012, p. 17, 25 jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2012/472932>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- GARUFFI, M.; NASCIMENTO, C. M. C.; AYAN, C.; CANCELA, J. M.; PEREIRA, J. R.; ANDRADE, L. P. de; GOBBI, S.; STELLA, F. Exercícios físicos generalizados, capacidade funcional e sintomas depressivos em idosos brasileiros. *Revista Brasileira de Cineantropologia e Desempenho Humano*, Santa Catarina, v. 15, p. 486-497, 30 abr. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2013v15n4p486>. Acesso em: 4 mai. 2025.
- SHAFFER, R. M.; BLANCO, M. N.; LI, G.; ADAR, S. D.; CARONE, M.; SZPIRO, A. A.; KAUFMAN, J. D.; LARSON, T. V.; LARSON, E. B.; CRANE, P. K.; SHEPPARD, L. Air pollution and Alzheimer's disease: New perspectives and emerging challenges. *Journal of Alzheimer's Disease*, v. 82, n. s1, p. S65-S80, aug 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34347531/>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- ZHANG, J.; ZHENG, B.; GAO, A.; FENG, X.; LIANG, D.; LONG, X. A 3D densely connected convolution neural network with connection-wise attention mechanism for Alzheimer's disease classification. *Magnetic Resonance Imaging*, v. 78, p. 119-126, mai. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33588019/>. Acesso em: 9 mai. 2025.