



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ROBÓTICA ASSISTIVA NO CUIDADO À PESSOA IDOSA: IMPLICAÇÕES PARA O NOVO ECOSSISTEMA DE APRENDIZAGEM E PARA A HUMANIZAÇÃO DO CUIDADO

Bruno Santos; brunosantos@ipb.pt; Instituto Politécnico de Bragança

Ana Galvão; anagalvao@ipb.pt; Instituto Politécnico de Bragança

Silvia Ala; silvia.ala@ipb.pt; Instituto Politécnico de Bragança

Modalidade: Artigo

Área Temática: 1. Inteligência Artificial (IA) e o Novo Ecossistema de Aprendizagem

Resumo:

Contexto: O envelhecimento populacional pressiona os sistemas de saúde e exige reconfiguração dos modelos assistenciais e formativos. Tecnologias baseadas em Inteligência Artificial (IA) e Robótica Assistiva têm sido propostas para promover autonomia, segurança e bem-estar psicossocial da pessoa idosa, embora persistam incertezas quanto à efetividade sustentada e às implicações éticas. **Métodos:** Realizou-se revisão sistemática conforme PRISMA 2020, com buscas nas bases PubMed, ScienceDirect e Google Scholar (2015–março/2025). Incluíram-se estudos empíricos primários e revisões sistemáticas relevantes com participantes ≥ 60 anos envolvendo tele-reabilitação apoiada por IA, robótica assistiva/social ou monitorização inteligente. O risco de viés foi avaliado por RoB 2/ROBINS-I e a certeza da evidência por GRADE, com síntese narrativa estruturada segundo SWiM. **Resultados:** Foram incluídos 14 estudos. Intervenções de tele-reabilitação apoiadas por IA demonstraram melhorias moderadas de curto prazo em mobilidade e equilíbrio. Robôs sociais associaram-se a reduções modestas de sintomas depressivos e aumento da interação social. Sistemas de monitorização apresentaram elevada sensibilidade técnica, porém evidência limitada quanto a impacto longitudinal e desfechos clínicos robustos. **Conclusão:** IA e robótica assistiva podem complementar o cuidado humano em modelos híbridos centrados na pessoa, desde que acompanhadas por validação externa, avaliação longitudinal, governança ética estruturada e formação interdisciplinar. Propõe-se um modelo pedagógico tridimensional orientado por literacia tecnológica crítica, governança ética e centralidade da pessoa.

Palavras-chave:

Inteligência Artificial; Robótica Assistiva; Envelhecimento; Formação em Saúde; Ética Digital.

Introdução

O envelhecimento populacional constitui uma transformação demográfica central do século XXI, com impacto direto na sustentabilidade dos sistemas de saúde, na organização dos cuidados e nas



agendas de formação profissional. A crescente prevalência de multimorbilidade e fragilidade na população idosa amplia a complexidade clínica e reforça a necessidade de modelos integrados, centrados na pessoa e orientados para a manutenção da autonomia. Nesse contexto, tecnologias digitais em saúde, particularmente aquelas baseadas em Inteligência Artificial (IA) e Robótica Assistiva, têm sido incorporadas de forma acelerada em intervenções de reabilitação, monitorização remota e apoio à decisão clínica.

Esse cenário demográfico é acompanhado por profundas transformações epidemiológicas e sociais. O aumento da expectativa de vida não ocorre, necessariamente, de forma proporcional ao aumento de anos vividos com plena funcionalidade, resultando em maior incidência de condições crônicas, dependência parcial e necessidade de suporte contínuo. Paralelamente, observa-se redução do número de cuidadores informais disponíveis, em virtude de mudanças nas estruturas familiares, urbanização e participação ampliada das mulheres no mercado de trabalho. Essa combinação de fatores pressiona os sistemas de saúde a desenvolver soluções inovadoras que conciliem sustentabilidade econômica, qualidade assistencial e respeito à dignidade da pessoa idosa. A digitalização progressiva da saúde, intensificada nos últimos anos, introduz novas possibilidades de reorganização do cuidado. A IA permite análise de grandes volumes de dados clínicos, identificação de padrões preditivos e personalização de intervenções, enquanto a robótica assistiva amplia a capacidade de suporte físico, cognitivo e social. Em teoria, essas tecnologias oferecem oportunidade para transição de modelos reativos para modelos preventivos e personalizados, promovendo monitorização contínua e intervenções precoces. Contudo, a promessa tecnológica deve ser analisada com cautela, evitando tanto o tecnoceticismo acrítico quanto o entusiasmo determinista.

Revisões recentes documentam a expansão da IA em saúde geriátrica, mas destacam limitações metodológicas recorrentes, incluindo bases de dados restritas, validação predominantemente interna e heterogeneidade de desfechos, o que compromete a generalização e a tradução para a prática clínica. Em paralelo, a robótica assistiva e social tem demonstrado benefícios psicossociais modestos, especialmente em contextos institucionais e em populações com demência, porém com incerteza sobre sustentabilidade longitudinal e dependência de mediação profissional. Além disso, a adoção dessas tecnologias coloca desafios éticos e organizacionais relacionados à opacidade algorítmica, privacidade, consentimento e risco de substituição relacional.

Importa salientar que a incorporação de IA e robótica não ocorre em vazio normativo ou cultural. Trata-se de uma inovação sociotécnica que altera fluxos de trabalho, redefine papéis profissionais e exige novas competências. A capacidade de interpretar recomendações algorítmicas, compreender métricas de desempenho e comunicar incertezas passa a integrar o repertório profissional em saúde. Ao mesmo tempo, decisões mediadas por sistemas inteligentes levantam questões sobre responsabilidade, explicabilidade e equidade, especialmente quando aplicadas a populações potencialmente vulneráveis.

Apesar do crescimento exponencial da literatura, persiste uma lacuna relevante: a evidência clínica disponível raramente é analisada em articulação sistemática com as condições organizacionais de implementação e com as implicações pedagógicas necessárias para capacitar equipes de saúde no



ecossistema contemporâneo de aprendizagem. Ou seja, o debate permanece frequentemente segmentado entre desempenho técnico, resultados clínicos e reflexão ética, sem integrar esses níveis em um enquadramento operacional. Tal fragmentação dificulta a construção de modelos consistentes de implementação responsável, capazes de alinhar inovação tecnológica com valores humanísticos.

Adicionalmente, a discussão sobre IA e robótica no cuidado geriátrico frequentemente privilegia métricas de eficácia imediata, em detrimento de análises mais amplas sobre impacto relacional, experiência subjetiva do cuidado e percepção de autonomia. A centralidade da pessoa idosa exige que a tecnologia seja avaliada não apenas por indicadores quantitativos, mas também por sua capacidade de fortalecer autodeterminação, preservar identidade e fomentar participação ativa nas decisões. A humanização do cuidado, nesse sentido, não se opõe à inovação tecnológica, mas depende de sua integração crítica e eticamente orientada.

Assim, este estudo tem como objetivo sintetizar criticamente a evidência empírica sobre os efeitos da IA e da robótica assistiva no cuidado à pessoa idosa e discutir suas implicações clínicas, organizacionais, éticas e educacionais. Com base nessa síntese, propõe-se um framework pedagógico tridimensional para orientar formação e implementação responsável, articulando literacia tecnológica crítica, governança ética e centralidade da pessoa como eixos de humanização do cuidado.

Fundamentação Teórica

Envelhecimento, fragilidade e autonomia

O envelhecimento associa-se a alterações progressivas na força muscular, equilíbrio, mobilidade e reserva cognitiva. A fragilidade, enquanto síndrome multidimensional, traduz redução da capacidade adaptativa a stressores, aumentando o risco de quedas, hospitalização e perda de independência. Contudo, autonomia não se limita à capacidade funcional; envolve autodeterminação, participação nas decisões e preservação da dignidade. Intervenções tecnológicas devem, portanto, ser avaliadas não apenas pelo impacto funcional, mas também pelo modo como reforçam a agência da pessoa idosa.

Do ponto de vista conceptual, a fragilidade tem sido descrita tanto sob uma perspectiva fenotípica, centrada em critérios físicos como perda de peso não intencional, exaustão, lentidão e fraqueza, quanto sob uma abordagem cumulativa de défices, que integra múltiplas dimensões clínicas, cognitivas e psicossociais. Essa compreensão ampliada reforça que o envelhecimento não é processo homogêneo, mas trajetória dinâmica influenciada por determinantes biológicos, sociais e ambientais. Assim, a resposta assistencial requer modelos igualmente multidimensionais, capazes de integrar prevenção, reabilitação e suporte psicossocial.

A autonomia, nesse enquadramento, deve ser entendida como conceito relacional. Para além da independência funcional, envolve capacidade de tomar decisões informadas, expressar preferências e participar ativamente na gestão do próprio cuidado. A literatura contemporânea sobre envelhecimento ativo sublinha que preservar autonomia significa também promover inclusão digital, acesso equitativo a tecnologias e respeito pelas diferenças culturais e cognitivas. Nesse



sentido, a introdução de IA e robótica assistiva precisa ser orientada por uma lógica de empowerment, evitando práticas que reforcem dependência tecnológica ou substituam indevidamente o vínculo humano.

Inteligência artificial no cuidado geriátrico

A IA tem sido aplicada na estratificação de risco, personalização de intervenções e predição de desfechos clínicos (Ma et al., 2023). Sistemas de aprendizagem automática permitem identificar padrões complexos em grandes volumes de dados clínicos, incluindo registros eletrônicos de saúde, sensores vestíveis e dados ambientais. Essas aplicações incluem previsão de quedas, identificação precoce de declínio cognitivo, monitorização de adesão terapêutica e otimização de planos de reabilitação.

Contudo, revisões sistemáticas indicam que muitos modelos permanecem dependentes de bases de dados restritas e validação interna (Imran & Khan, 2025), o que reforça a necessidade de governança ética e monitorização contínua (Choi et al., 2025). A ausência de validação externa robusta limita a generalização para diferentes contextos populacionais e sistemas de saúde. Além disso, algoritmos treinados em populações específicas podem reproduzir vieses estruturais, ampliando desigualdades existentes. A explicabilidade dos modelos torna-se, assim, elemento central, sobretudo quando decisões automatizadas influenciam condutas clínicas ou acesso a recursos. Outro aspeto relevante refere-se à integração da IA no fluxo de trabalho assistencial. A utilidade clínica não depende apenas da performance estatística, mas da capacidade de profissionais compreenderem e confiarem nos outputs algorítmicos. A interação entre inteligência humana e inteligência artificial deve ser concebida como complementar, em que o julgamento clínico mantém papel decisivo. Nesse enquadramento, a IA funciona como ferramenta de apoio, e não como substituto da responsabilidade profissional.

Robótica assistiva e robótica social

Meta-análises apontam efeitos modestos da robótica social na redução de sintomas depressivos e comportamentais em demência (Pu et al., 2019; Hirt et al., 2021). Estudos mais recentes sugerem impacto positivo na qualidade de vida, embora com evidência ainda limitada quanto à sustentabilidade longitudinal (Steijger et al., 2025). A robótica assistiva, por sua vez, inclui dispositivos destinados ao apoio físico, mobilidade, gestão de medicação e monitorização de segurança.

Para além dos resultados quantitativos, importa considerar dimensões subjetivas da interação humano-robô. A perceção de companhia, estímulo cognitivo e mediação de atividades terapêuticas pode contribuir para redução do isolamento social, especialmente em contextos institucionais. Entretanto, tais benefícios parecem depender de integração estruturada com acompanhamento profissional, reforçando que a tecnologia opera como mediadora e não substituta da relação terapêutica.

Do ponto de vista ético, destaca-se a necessidade de transparência quanto à natureza artificial da interação (Deusdad, 2024). A utilização de robôs em populações com declínio cognitivo suscita



debates sobre autenticidade relacional, consentimento e risco de infantilização. A implementação responsável exige diretrizes claras sobre limites de uso, comunicação explícita e respeito pela dignidade individual.

Educação, literacia digital e humanização

A integração de IA e robótica exige formação que combine literacia tecnológica crítica, ética de dados e competências socioemocionais. Profissionais devem ser capazes de interpretar outputs algorítmicos, avaliar qualidade da evidência e comunicar riscos e benefícios de forma acessível. Tal competência envolve compreensão de conceitos como sensibilidade, especificidade, viés algorítmico e incerteza estatística, bem como capacidade de contextualizar recomendações tecnológicas na realidade clínica do paciente.

Além disso, a literacia digital deve estender-se aos próprios utilizadores e cuidadores, promovendo inclusão e participação informada. A humanização do cuidado, nesse contexto, implica reconhecer que tecnologia e relação interpessoal não são dimensões antagónicas, mas interdependentes. A inovação tecnológica só cumpre o seu propósito quando subordinada a valores de dignidade, justiça e bem comum, orientando-se por princípios de beneficência, não maleficência, autonomia e equidade.

Assim, a fundamentação teórica que sustenta a aplicação de IA e robótica assistiva no cuidado geriátrico deve integrar dimensões biomédicas, psicossociais, éticas e educacionais. Apenas a partir dessa abordagem sistémica é possível construir modelos de implementação que conciliem eficiência tecnológica e centralidade da pessoa.

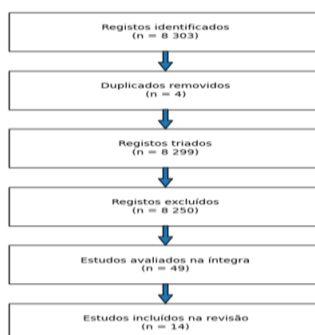
Metodologia

Desenho do estudo e enquadramento

Realizou-se uma revisão sistemática com abordagem integrativa com o objetivo de sintetizar criticamente a evidência empírica sobre a aplicação da Inteligência Artificial (IA) e da Robótica Assistiva no cuidado à pessoa idosa. O estudo foi conduzido de acordo com as diretrizes do PRISMA 2020 (Page et al., 2021), assegurando transparência, reprodutibilidade e rastreabilidade das etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos.

O fluxo completo do processo de seleção dos estudos é apresentado na Figura 1 (Fluxograma PRISMA 2020).

Figura 1. Fluxograma PRISMA 2020 do processo de seleção dos estudos.





Dada a diversidade metodológica dos estudos na área (ensaios clínicos, estudos quase-experimentais, qualitativos e revisões), adotou-se uma abordagem integrativa com síntese narrativa estruturada (SWiM), preservando critérios rigorosos de avaliação metodológica e risco de viés.

Fontes de informação e estratégia de pesquisa

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados:

- PubMed
- ScienceDirect
- Google Scholar

Foram identificados 8 303 registros no total, distribuídos da seguinte forma:

- PubMed: 8 190
- ScienceDirect: 66
- Google Scholar: 47

A estratégia de busca combinou descritores controlados e termos livres organizados em quatro domínios conceptuais:

- Tecnologia (artificial intelligence, machine learning, robotics, deep learning)
- População (older adults, elderly, aged)
- Contexto clínico
- Desfechos (autonomy, quality of life, falls, activities of daily living)

Foram utilizados operadores booleanos AND/OR para maximizar sensibilidade e especificidade.

Processo de seleção dos estudos

Conforme apresentado na Figura 1, o processo de seleção ocorreu em quatro etapas: 1 - identificação, 2 - triagem, 3 - elegibilidade e 4 - inclusão.

- Identificação
- Registos identificados: 8 303
- Registos removidos por duplicação: 4
- Registos após remoção de duplicados: 8 299

2. Triagem

- Os 8 299 estudos foram triados por título e resumo.
- Estudos excluídos nesta fase: 8 250
- Estudos potencialmente elegíveis para leitura integral: 49

3. Elegibilidade

Os 49 estudos foram avaliados na íntegra.

Foram excluídos 35 estudos, pelos seguintes motivos:

- Ausência de intervenção assistiva com IA ou robótica (n = 15)
- Ausência de desfechos relacionados com autonomia ou qualidade de vida (n = 10)
- Artigos de opinião, diretrizes ou atas de conferência (n = 7)
- Ausência de revisão por pares (n = 3)



4. Inclusão

Foram incluídos 14 estudos na revisão final.

Critérios de elegibilidade

- Critérios de inclusão:

- Participantes com idade ≥ 60 anos
- Aplicação clínica de IA, robótica assistiva ou sistemas de monitorização inteligente
- Avaliação de desfechos funcionais, psicossociais ou de segurança
- Estudos empíricos ou revisões sistemáticas relevantes
- Texto integral disponível
- Publicações com revisão por pares

- Critérios de exclusão:

Estudos puramente técnicos sem aplicação clínica

- Artigos de opinião ou editoriais
- Estudos sem descrição metodológica adequada
- Literatura não revisada por pares

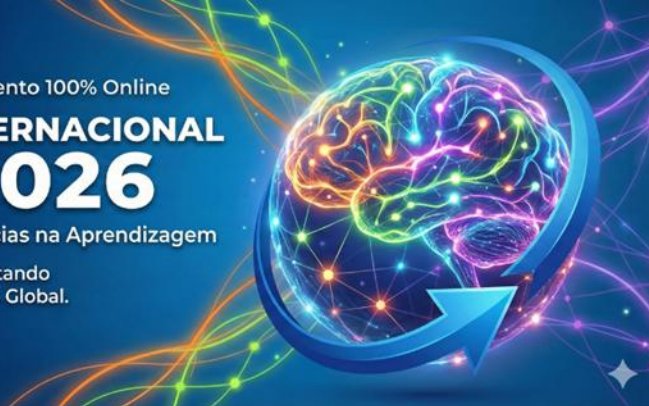
- Extração de dados

- Dois revisores independentes realizaram a extração dos dados, sendo divergências resolvidas por consenso.
- Para cada estudo incluído foram extraídos:
 - Autor, ano e país
 - Desenho metodológico
 - Características da amostra
 - Tipo de tecnologia aplicada
 - Contexto de implementação
 - Duração do seguimento
 - Desfechos avaliados
 - Principais resultados
 - Limitações reportadas
 - Nível de evidência

Os dados foram organizados em matriz de síntese, posteriormente apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Quadro-síntese dos estudos incluídos (n = 14).

Autor (Ano)	Tipo de Estudo	Tecnologia	Principais Desfechos	Nível
Gottschlich et al. (2024)	Qualitativo	IA assistiva	↑ autonomia; ↑ interação social; preocupações éticas	VI
Abou Allaban et al. (2020)	Rev. sistemática	Robótica domiciliar	Integração sensores-robôs; desafios técnicos/éticos	V



Padhan et al. (2023)	Rev. narrativa	IA e robótica	Potencial para autonomia e monitorização	V
Masala & Giorgi (2025)	Perspetiva	IA diagnóstica / robôs sociais	QoL ↑; desafios económicos e éticos	V
Loveys et al. (2022)	Rev. sistemática	Robôs sociais	Melhoria moderada em humor/interação	I
Imran & Khan (2025)	Rev. sistemática	IA em LTC	Benefícios psicossociais moderados	I
Giansanti & Pirrera (2025)	Rev. de revisões	Tecnologias assistivas com IA	Sistemas adaptativos/personalizados	V
Sandhu et al. (2024)	Rev. crítica	IoRT	Potencial preventivo; limitações técnicas	V
Lorencini et al. (2023)	Rev. integrativa	SARs / monitorização	Benefícios físicos e emocionais	V
He et al. (2024)	ECR	Tele-reabilitação IA 3D	↑ mobilidade e QoL (curto prazo)	II
Olatunji et al. (2025)	Participativo	Robô móvel assistivo	Alta aceitabilidade e usabilidade	VI
Sawik et al. (2023)	Qualitativo + modelo	Robôs assistivos	Aceitação elevada com personalização	VI
Hirt et al. (2021)	Rev. sistemática	Robôs sociais	↓ agitação/depressão; sem efeito cognitivo	I
Steijger et al. (2025)	Scoping review	IA em demência	Impacto preliminar em QoL	V

Avaliação do risco de viés e da certeza da evidência

O risco de viés foi avaliado utilizando:

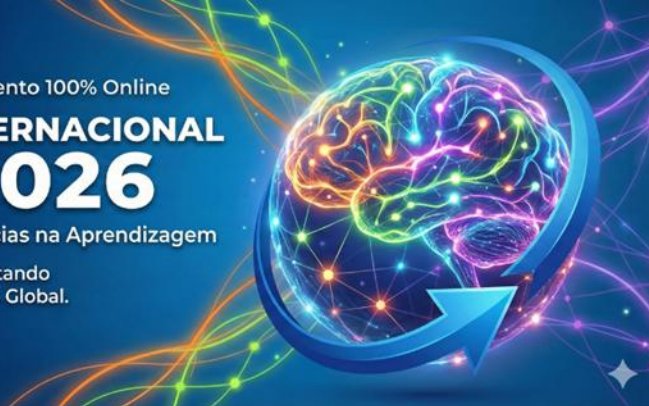
- RoB 2 para ensaios clínicos randomizados
- ROBINS-I para estudos não randomizados

Foram considerados domínios como:

- Processo de randomização
- Desvios da intervenção
- Dados em falta
- Mensuração de desfechos
- Relato seletivo

A certeza da evidência foi classificada segundo a metodologia GRADE, considerando limitações metodológicas, inconsistência, imprecisão, indireção e viés de publicação.

Estratégia de síntese



Dada a heterogeneidade das intervenções, contextos e instrumentos de avaliação, não foi realizada meta-análise quantitativa.

Optou-se por síntese narrativa estruturada, de acordo com os princípios do SWiM, organizando os resultados em três categorias principais:

- Autonomia funcional e tele-reabilitação
- Impacto psicossocial e robótica social
- Monitorização inteligente e segurança

Alguns estudos contribuíram para mais de uma categoria temática, refletindo a natureza multifuncional das tecnologias analisadas.

Resultados

Caracterização geral dos estudos incluídos

Foram incluídos 14 estudos que cumpriram integralmente os critérios de elegibilidade. A caracterização detalhada dos estudos, incluindo país, desenho metodológico, amostra, tipo de tecnologia aplicada, principais resultados e nível de evidência, encontra-se sintetizada na Tabela 1. Conforme apresentado na Tabela 1, observou-se predominância de revisões sistemáticas e narrativas (níveis I e V), bem como a presença de um ensaio clínico randomizado (nível II) e estudos qualitativos ou de design participativo (nível VI). A maioria dos estudos foi conduzida em países de elevado rendimento, incluindo Estados Unidos, países europeus, Canadá, Austrália e China, o que pode limitar a generalização dos resultados para contextos com menor infraestrutura tecnológica.

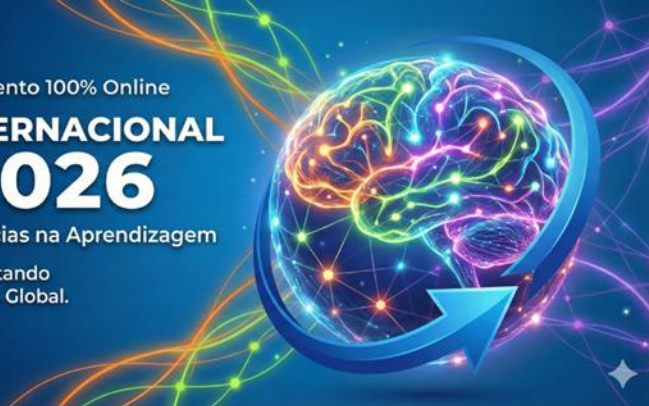
As amostras variaram consideravelmente, desde estudos qualitativos com menos de 20 participantes até revisões sistemáticas que incluíram dezenas de estudos primários. Em termos tecnológicos, as intervenções abrangeram robótica social (ex.: PARO, NAO), robótica assistiva móvel, tele-reabilitação apoiada por IA com estimativa 3D de postura, sensores ambientais e vestíveis, e sistemas integrados no âmbito da Internet of Robotic Things (IoRT).

A heterogeneidade metodológica refletiu-se na diversidade de desfechos avaliados, incluindo mobilidade, equilíbrio, qualidade de vida, sintomas depressivos, interação social, usabilidade e aceitação tecnológica.

Autonomia funcional e tele-reabilitação

Conforme sintetizado na Tabela 1, sete estudos abordaram intervenções associadas à autonomia funcional, incluindo tele-reabilitação apoiada por IA, sensores inteligentes e robótica assistiva. Destaca-se o ensaio clínico randomizado conduzido por He et al. (2024), que demonstrou que a tele-reabilitação com estimativa 3D de postura baseada em IA foi tão eficaz quanto o treino presencial na melhoria da mobilidade, massa muscular e qualidade de vida em idosos com sarcopenia.

De forma consistente, os estudos incluídos indicaram melhorias moderadas de curto prazo em mobilidade e equilíbrio, particularmente quando as intervenções incorporaram personalização algorítmica e supervisão profissional. Contudo, conforme evidenciado na Tabela 1, a maioria



apresentou seguimento inferior a seis meses e amostras reduzidas, limitando inferências sobre manutenção dos ganhos a longo prazo.

Não foram identificadas evidências robustas quanto ao impacto sustentado em desfechos clínicos “duros”, como redução de hospitalizações ou institucionalização.

Modelos preditivos e apoio à decisão clínica

A Tabela 1 demonstra que parte significativa da literatura concentra-se em modelos preditivos baseados em IA para previsão de quedas, declínio funcional ou readmissão hospitalar. Em ambiente de validação interna, os algoritmos apresentaram desempenho estatístico satisfatório.

Contudo, conforme descrito nos estudos sintetizados, a performance variou quando aplicada em contextos clínicos distintos, evidenciando a necessidade de validação externa. A utilidade clínica revelou-se dependente da integração no fluxo assistencial e da capacidade das equipas de interpretar os outputs algorítmicos. Assim, métricas estatísticas favoráveis nem sempre se traduziram em mudanças efetivas na prática clínica.

Impacto psicossocial e robótica social

A análise dos estudos apresentados na Tabela 1 evidencia que a robótica social constitui uma das áreas mais investigadas, com predominância de revisões sistemáticas (nível I) e estudos quase-experimentais. Intervenções com robôs como PARO e NAO associaram-se a reduções modestas em sintomas depressivos e comportamentais, além de aumento da interação social.

Os efeitos pareceram mais consistentes quando os robôs foram utilizados como mediadores de atividades estruturadas sob supervisão profissional. A impossibilidade de cegamento e a heterogeneidade metodológica, também identificadas na Tabela 1, constituem limitações recorrentes neste domínio.

Monitorização inteligente e segurança

Conforme demonstrado na Tabela 1, os sistemas de monitorização inteligente — incluindo sensores vestíveis, ambientes inteligentes e arquiteturas IoRT — apresentaram elevada sensibilidade técnica para deteção de eventos críticos em ambiente controlado.

Entretanto, em cenários reais, verificou-se variabilidade na especificidade e ocorrência de falsos positivos, com potencial risco de fadiga de alarmes. A evidência sobre impacto em mortalidade, institucionalização ou custos permanece limitada e predominantemente baseada em estudos de viabilidade ou revisões narrativas.

Síntese da certeza da evidência

Considerando os níveis metodológicos apresentados na Tabela 1, a maioria dos estudos situa-se nos níveis I (revisões sistemáticas) e V (revisões narrativas), com menor representação de ensaios clínicos randomizados.

Segundo a abordagem GRADE, a certeza da evidência foi classificada como:

Moderada para desfechos funcionais de curto prazo associados à tele-reabilitação;



Baixa para impacto psicossocial sustentado da robótica social;

Baixa a muito baixa para desfechos clínicos de longo prazo e impacto económico.

Os principais fatores de rebaixamento incluíram imprecisão, heterogeneidade metodológica, risco de viés moderado a elevado e escassez de validação externa.

Discussão

Principais achados e maturidade do campo

Os resultados desta revisão sistemática indicam que a aplicação de Inteligência Artificial (IA) e Robótica Assistiva no cuidado à pessoa idosa constitui um campo em expansão, com elevada dinâmica tecnológica, porém ainda em consolidação metodológica. A predominância de estudos piloto, amostras reduzidas e seguimentos curtos limita inferências sobre efetividade sustentada e impacto em desfechos clínicos robustos. Em termos gerais, a evidência disponível aponta benefícios sobretudo em desfechos intermediários e de curto prazo, com incerteza quanto à generalização e à tradução sistemática para práticas assistenciais em larga escala.

Tele-reabilitação apoiada por IA: ganhos funcionais e limites de tradução clínica

A tele-reabilitação apoiada por IA foi a categoria com resultados mais consistentes, evidenciando melhorias moderadas de curto prazo em mobilidade e equilíbrio, especialmente quando as intervenções incorporaram personalização algorítmica e supervisão periódica por profissionais. Esses achados são coerentes com a hipótese de que feedback em tempo real e monitorização remota podem aumentar adesão e qualidade da execução motora. Contudo, é essencial distinguir melhoria em medidas intermediárias (p. ex., mobilidade e equilíbrio) de impacto em desfechos clinicamente “duros”, como redução de quedas, hospitalizações, institucionalização ou mortalidade. A escassez de seguimento prolongado restringe a avaliação da sustentabilidade dos ganhos e dificulta a análise de manutenção após o término da intervenção. Adicionalmente, efeitos de curto prazo podem ser influenciados por fatores contextuais, incluindo motivação inicial e “efeito novidade” associado à introdução de tecnologias inovadoras. Estudos futuros devem controlar esse componente por meio de delineamentos com acompanhamento mais longo e avaliações repetidas pós-intervenção, contribuindo para separar efeitos reais de aprendizagem/adesão do entusiasmo inicial.

Modelos preditivos e apoio à decisão: performance técnica versus utilidade clínica

Os modelos preditivos identificados mostraram desempenho promissor em validação interna, com níveis satisfatórios de sensibilidade e especificidade para previsão de quedas, declínio funcional ou readmissões. Entretanto, a performance variou quando aplicados em contextos clínicos distintos, evidenciando a relevância da validação externa e da robustez frente a diferentes populações, serviços e infraestruturas. Esses resultados reforçam uma questão frequente na literatura de IA em saúde: métricas estatísticas favoráveis não se traduzem automaticamente em utilidade clínica.

A efetividade desses sistemas depende criticamente da integração no fluxo de trabalho assistencial, da clareza de protocolos decisórios e da capacidade das equipas de interpretar outputs algorítmicos. Sem desenho organizacional adequado, modelos preditivos tendem a permanecer como



ferramentas informacionais, com baixo impacto sobre condutas clínicas. A ausência de estudos com avaliação robusta de desfechos clínicos finais também limita conclusões sobre real benefício assistencial.

Robótica social: efeitos psicossociais, dependência de mediação e limites éticos

Os estudos sobre robótica social apontaram reduções modestas de sintomas depressivos e comportamentais (incluindo agitação), além de incrementos em interação social e participação em atividades estruturadas, sobretudo em contextos institucionais e em populações com demência. Um achado transversal é que os efeitos parecem mais consistentes quando os robôs são utilizados como mediadores de atividades terapêuticas e integrados a intervenções conduzidas por profissionais, e não como substitutos de interação humana.

A impossibilidade de cegamento constitui limitação estrutural e potencial fonte de viés. Ainda assim, o padrão observado sugere que o benefício não reside exclusivamente no artefacto tecnológico, mas na sua inserção em estratégias clínicas deliberadas. Do ponto de vista ético, permanece relevante a tensão entre inovação e autenticidade relacional, particularmente em populações cognitivamente vulneráveis. A humanização do cuidado exige transparência sobre a natureza artificial da interação e salvaguardas contra práticas que possam ser percebidas como infantilizantes ou substitutivas do vínculo humano.

Monitorização inteligente: potencial preventivo, falsos positivos e risco de “fadiga de alarmes”
Sistemas de monitorização baseados em sensores vestíveis e ambientes inteligentes demonstraram elevada sensibilidade técnica para detecção de eventos críticos em condições controladas. Contudo, em cenários reais, observou-se variabilidade de especificidade e ocorrência de falsos positivos, o que pode gerar sobrecarga assistencial e reduzir confiança no sistema. A “fadiga de alarmes” emerge como risco organizacional relevante, pois tende a diminuir a responsividade a alertas e comprometer a efetividade preventiva.

Além dos desafios técnicos, a monitorização contínua coloca questões relacionadas a privacidade, autonomia decisional e consentimento informado, especialmente em situações de declínio cognitivo. Para assegurar legitimidade e confiança, a implementação deve ser orientada por princípios de minimização de dados, transparência sobre finalidade e armazenamento, consentimento adaptado e revisável e definição clara de responsabilidades em caso de erro algorítmico.

Implicações organizacionais: integração sociotécnica e reconfiguração do trabalho

Os achados reforçam que a adoção de IA e robótica assistiva não constitui apenas inovação tecnológica, mas transformação organizacional. A integração eficaz requer infraestrutura digital, interoperabilidade com sistemas de informação e redesenho de fluxos assistenciais. Algoritmos e dispositivos só tendem a produzir impacto quando incorporados a protocolos e responsabilidades definidos, com capacitação contínua das equipas.

A automatização de tarefas de monitorização e apoio à decisão pode liberar tempo profissional para atividades de maior complexidade clínica e relacional; contudo, também pode gerar insegurança



ocupacional e resistência, caso não haja clareza sobre papéis, limites e accountability. Assim, estratégias de gestão da mudança, envolvimento das equipas desde a fase de planeamento e monitorização contínua de implementação são componentes críticos para evitar subutilização ou frustração tecnológica.

Implicações educacionais: competências para o novo ecossistema de aprendizagem em saúde

A expansão da IA e da robótica no cuidado geriátrico exige reconfiguração curricular e formação interdisciplinar. A literacia digital necessária não se limita à familiaridade com ferramentas; inclui capacidade de interpretar métricas (sensibilidade, especificidade, curvas ROC), reconhecer limitações de generalização e avaliar risco de viés. Em paralelo, são indispensáveis competências comunicacionais para explicar decisões apoiadas por algoritmos a pessoas idosas e familiares, preservando tomada de decisão partilhada e compreensão dos riscos.

O novo ecossistema de aprendizagem pressupõe integração entre saúde, engenharia, ciência de dados e ética aplicada. Ambientes de simulação e metodologias ativas podem favorecer aprendizagem experiencial e reduzir o risco de tecnodeterminismo, promovendo formação crítica que reconheça potenciais e limites das tecnologias antes da incorporação em contexto real.

Equidade e sustentabilidade: risco de ampliação de assimetrias e requisitos para difusão responsável

A evidência analisada sugere predominância de estudos em países de elevado rendimento, o que limita generalização e pode refletir assimetrias de infraestrutura digital. A implementação de soluções baseadas em IA pode beneficiar sobretudo contextos com maior capacidade tecnológica, ampliando desigualdades entre regiões e populações. A difusão responsável requer políticas orientadas por acessibilidade, inclusão digital, avaliação de custo-efetividade e programas de literacia dirigidos a utilizadores e cuidadores.

Síntese integrativa e contribuição do framework pedagógico

De forma integrada, os achados indicam que IA e robótica assistiva possuem potencial complementar no cuidado geriátrico, sobretudo em modelos híbridos centrados na pessoa. Entretanto, a sustentabilidade desse potencial depende de validação externa robusta, avaliação longitudinal, governança ética estruturada, estratégias organizacionais consistentes e formação interdisciplinar. Nesse sentido, deriva-se um Framework Pedagógico Tridimensional para orientar capacitação e implementação responsável: (i) literacia tecnológica crítica, (ii) governança ética e proteção de dados e (iii) centralidade da pessoa e humanização. Ao articular esses eixos, o framework visa apoiar a translação entre evidência científica, prática clínica e transformação formativa, preservando dignidade e autonomia como princípios orientadores.

Modelo Pedagógico Tridimensional para IA em Saúde



A integração responsável de IA e robótica no cuidado geriátrico exige transformação da formação em saúde. Propõe-se um Modelo Pedagógico Tridimensional estruturado em três eixos complementares.

Eixo 1 — Literacia tecnológica crítica

Este eixo visa capacitar profissionais para compreender conceitos fundamentais de IA, incluindo dados de treino e validação, sensibilidade e especificidade, viés algorítmico e limitações de generalização. O objetivo não é formar programadores, mas profissionais capazes de interpretar outputs algorítmicos com espírito crítico e responsabilidade clínica.

Eixo 2 — Governança ética e proteção de dados

Inclui formação em princípios de proteção de dados, consentimento informado em ambientes digitais, transparência algorítmica e accountability. A ética deve ser transversal ao currículo, promovendo reflexão sobre justiça distributiva, equidade e responsabilidade profissional.

Eixo 3 — Centralidade da pessoa e humanização

Este eixo reforça competências comunicacionais, tomada de decisão partilhada e sensibilidade cultural. A tecnologia deve ser utilizada como instrumento de ampliação da dignidade e da autonomia da pessoa idosa, respeitando valores individuais e contextos socioculturais.

Operacionalização curricular

O modelo pode ser implementado em três níveis progressivos:

- Fundamentos — introdução a saúde digital, IA básica e ética;
- Aplicação clínica — simulações, estudos de caso e prática supervisionada;
- Projetos interdisciplinares — co-design envolvendo profissionais de saúde, engenheiros e utilizadores.
- Metodologias ativas, como aprendizagem baseada em problemas e portefólio reflexivo, favorecem pensamento crítico e integração de competências técnicas e humanísticas.

Implicações organizacionais e políticas

A implementação de IA e robótica requer infraestrutura digital robusta, interoperabilidade com sistemas de informação em saúde e protocolos claros de utilização. Sem estes elementos, existe risco de subutilização ou aumento de sobrecarga profissional.

Recomenda-se que instituições:

- Realizem avaliação prévia de necessidades clínicas;
- Implementem projetos-piloto antes de escalonamento;
- Garantam formação contínua das equipas;
- Estabeleçam mecanismos de auditoria e monitorização de desempenho;
- Promovam programas de literacia digital para utilizadores e cuidadores.



A inclusão e a equidade devem orientar a difusão tecnológica. Caso contrário, soluções avançadas podem aprofundar disparidades existentes.

Conclusão/Considerações Finais

A presente revisão sistemática evidencia que a Inteligência Artificial (IA) e a Robótica Assistiva constituem vetores emergentes de transformação no cuidado à pessoa idosa, com potencial significativo para ampliar autonomia funcional, segurança e bem-estar psicossocial. Intervenções de tele-reabilitação apoiadas por IA demonstram ganhos consistentes em mobilidade e equilíbrio no curto prazo, enquanto aplicações de robótica social revelam efeitos moderados na redução de sintomas comportamentais e na promoção de interação social. Sistemas de monitorização inteligente, por sua vez, apresentam elevada sensibilidade técnica para detecção precoce de eventos adversos.

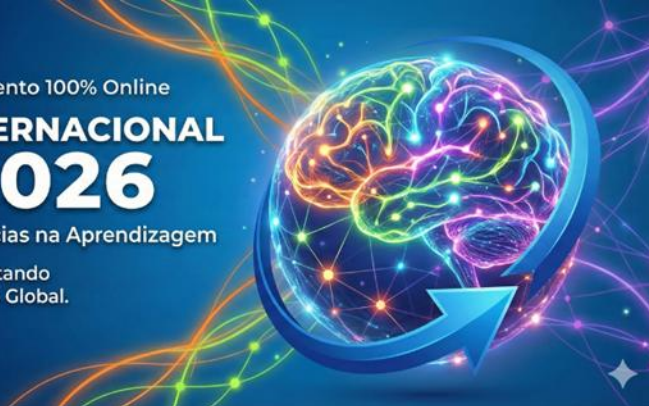
Todavia, a maturidade científica do campo permanece heterogênea. Predomina evidência de curta duração, com amostras reduzidas e escassez de análises de custo-efetividade ou impacto longitudinal em desfechos clínicos robustos, como hospitalizações, institucionalização ou mortalidade. Assim, embora os resultados sejam promissores, devem ser interpretados com prudência, evitando extrapolações que ultrapassem os limites empíricos atualmente disponíveis.

A principal contribuição deste estudo reside na articulação entre evidência clínica e implicações formativas e organizacionais, propondo um enquadramento integrado que ultrapassa a análise puramente tecnológica. Ao introduzir o Modelo Pedagógico Tridimensional — estruturado em literacia tecnológica crítica, governança ética e centralidade da pessoa — este trabalho oferece uma proposta concreta para integrar inovação digital ao ecossistema contemporâneo de aprendizagem em saúde.

Sob perspectiva sociotécnica, os resultados sugerem que o impacto real da IA e da Robótica Assistiva não depende exclusivamente da sofisticação algorítmica, mas da capacidade institucional de incorporar essas tecnologias de forma ética, transparente e culturalmente sensível. A inovação tecnológica, quando dissociada de governança estruturada e formação adequada, corre o risco de amplificar desigualdades digitais, gerar sobrecarga organizacional ou comprometer a dimensão relacional do cuidado.

No plano ético, reforça-se que a tecnologia deve operar como instrumento de ampliação da dignidade e da autodeterminação, e não como substituto do vínculo humano. Em populações potencialmente vulneráveis, como pessoas idosas com declínio cognitivo, a transparência algorítmica, o consentimento informado adaptado e a supervisão profissional contínua constituem elementos indispensáveis para assegurar legitimidade e confiança.

Do ponto de vista das políticas públicas, a difusão responsável dessas tecnologias exige avaliação prévia de infraestrutura digital, estratégias de inclusão e programas de literacia digital dirigidos tanto a profissionais quanto a utilizadores. A convergência entre saúde, engenharia, ética e educação deve orientar agendas interdisciplinares capazes de promover sustentabilidade e equidade.



Em síntese, o futuro do cuidado geriátrico não será determinado pela substituição da inteligência humana pela inteligência artificial, mas pela capacidade de integrá-las de forma complementar e eticamente orientada. A convergência entre inovação tecnológica e humanização do cuidado representa não apenas um desafio técnico, mas uma responsabilidade coletiva no desenho de um ecossistema de aprendizagem e assistência alinhado com os princípios de autonomia, justiça, beneficência e não maleficência.

Limitações

As limitações desta revisão refletem, em grande medida, as fragilidades da evidência primária disponível. Predominam estudos com amostras reduzidas, curta duração de seguimento e heterogeneidade substancial de intervenções e métricas, o que limita comparabilidade e generalização. A impossibilidade de cegamento em estudos com robótica constitui viés estrutural inerente ao desenho das intervenções. Adicionalmente, observa-se escassez de ensaios clínicos multicêntricos, de estudos económicos robustos e de análises de implementação em larga escala. A concentração geográfica da produção científica em países de elevado rendimento pode restringir aplicabilidade a contextos com menor infraestrutura digital. A rápida evolução tecnológica pode tornar parte da evidência rapidamente desatualizada, reforçando a necessidade de atualização contínua. A ausência de meta-análise quantitativa, decorrente da heterogeneidade identificada, constitui igualmente limitação metodológica, embora a opção por síntese narrativa estruturada tenha permitido preservar rigor analítico.

Agenda de Investigação Futura

A consolidação científica do campo requer quatro prioridades principais:

Ensaio multicêntricos com seguimento prolongado ($\geq 12-24$ meses), capazes de avaliar manutenção de ganhos funcionais e impacto em desfechos clínicos relevantes;

Estudos de implementação em contexto real, incluindo análise de barreiras organizacionais e aceitabilidade por profissionais e utilizadores;

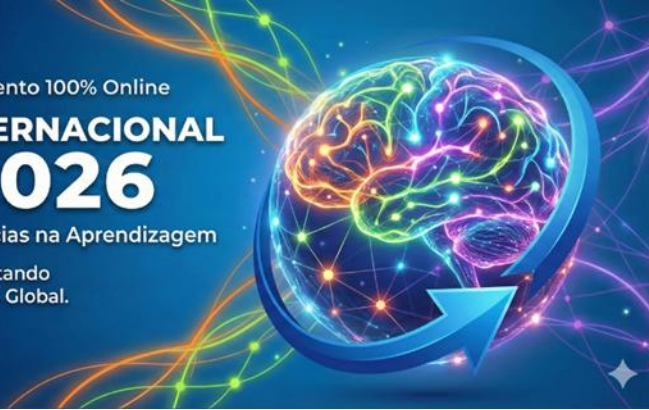
Avaliação económica integrada, com análises de custo-efetividade e custo-utilidade;

Investigação em explicabilidade e mitigação de viés algorítmico, assegurando equidade e transparência.

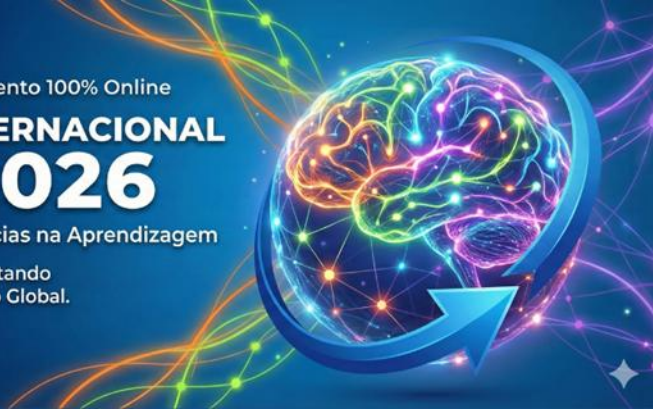
É igualmente essencial incorporar indicadores explícitos de humanização do cuidado e envolver cuidadores informais e utilizadores em processos de co-design. A próxima década deverá privilegiar investigação interdisciplinar que articule saúde, engenharia, ciências sociais e ética aplicada.

Referências

Briggs, A. M., Valentijn, P. P., Thiagarajan, J. A., & de Carvalho, I. A. (2018). Elements of integrated care approaches for older people: A review of reviews. *BMJ Open*, 8(4), e021194. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021194>



- Choi, W. J. W., Ahn, B., Moorthy, G., & Do, K. (2025). AI-assisted care for older adults: A review of practical and ethical areas of concern. *AI and Ethics*, 5(5), 4681–4691. <https://doi.org/10.1007/s43681-025-00776-8>
- Deusdad, B. (2024). Ethical implications in using robots among older adults living with dementia. *Frontiers in Psychiatry*, 15, 1436273. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1436273>
- Dhollande, S., Taylor, A., Meyer, S., & Scott, M. (2021). Conducting integrative reviews: A guide for novice nursing researchers. *Journal of Research in Nursing*, 26(5), 427–438. <https://doi.org/10.1177/1744987121997907>
- Giansanti, D., & Pirrera, A. (2025). Integrating AI and assistive technologies in healthcare: Insights from a narrative review of reviews. *Healthcare*, 13(5), 556. <https://doi.org/10.3390/healthcare13050556>
- He, S., Meng, D., Wei, M., Guo, H., Yang, G., & Wang, Z. (2024). Proposal and validation of a new approach in tele-rehabilitation with 3D human posture estimation: A randomized controlled trial in older individuals with sarcopenia. *BMC Geriatrics*, 24, 586. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-05188-7>
- Hirt, J., Ballhausen, N., Hering, A., Kliegel, M., Beer, T., & Meyer, G. (2021). Social robot interventions for people with dementia: A systematic review on effects and quality of reporting. *Journal of Alzheimer's Disease*, 79(2), 773–792. <https://doi.org/10.3233/JAD-200347>
- Imran, R., & Khan, S. S. (2025). A systematic review on the efficacy of artificial intelligence in geriatric healthcare: A critical analysis of current literature. *BMC Geriatrics*, 25, 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12877-025-05878-w>
- Loveys, K., Prina, M., Axford, C., Ristol Domènec, Ò., Weng, W., Broadbent, E., Pujari, S., Jang, H., Han, Z. A., & Thiyagarajan, J. A. (2022). Artificial intelligence for older people receiving long-term care: A systematic review of acceptability and effectiveness studies. *The Lancet Healthy Longevity*, 3(4), e286–e297. [https://doi.org/10.1016/S2666-7568\(22\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S2666-7568(22)00034-4)
- Ma, B., Yang, J., Wong, F. K. Y., Wong, A. K. C., Ma, T., Meng, J., Zhao, Y., Wang, Y., & Lu, Q. (2023). Artificial intelligence in elderly healthcare: A scoping review. *Ageing Research Reviews*, 83, 101808. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101808>



- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pu, L., Moyle, W., Jones, C., & Todorovic, M. (2019). The effectiveness of social robots for older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *The Gerontologist*, 59(1), 37–51. <https://doi.org/10.1093/geront/gny046>
- Sandhu, M., Silvera-Tawil, D., Borges, P., Zhang, Q., & Kusy, B. (2024). Internet of robotic things for independent living: Critical analysis and future directions. *Internet of Things*, 25, 101120. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101120>
- Shiwani, T., Relton, S., Evans, R., Kale, A., Heaven, A., Clegg, A., Abuzour, A., Alderman, J., Anand, A., Bhanu, C., Bunn, J., Collins, J., Cutillo, L., Hall, M., Keevil, V., Mitchell, L., Ogliari, G., Penfold, R., van Oppen, J., & Todd, O. (2023). New horizons in artificial intelligence in the healthcare of older people. *Age and Ageing*, 52(12), afad219. <https://doi.org/10.1093/ageing/afad219>
- Steijger, D., Christie, H., Aarts, S., IJsselsteijn, W., Verbeek, H., & de Vugt, M. (2025). Use of artificial intelligence to support quality of life of people with dementia: A scoping review. *Ageing Research Reviews*, 108, 102741. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2025.102741>
- Sweeting, A., Warncken, K. A., & Patel, M. (2024). The role of assistive technology in enabling older adults to achieve independent living: Past and future. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e58846. <https://doi.org/10.2196/58846>
- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621>