

**COMPREENDENDO O POTENCIAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA
MEDICINA: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Coordenadoria de Fomento à Pesquisa - Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Kethelyn Christini de Almeida Soares
Apoio: *PIBIC CNPq*

Luciano Augusto Toledo

Centro de Ciências Sociais e Aplicadas

Kethelyn.Souares@mackenzista.br
Luciano.Toledo@mackenzie.br

RESUMO

Este estudo analisa o impacto da Inteligência Artificial (IA) na medicina, com ênfase em seus avanços, desafios e implicações éticas, propondo o protocolo "SUS Inteligente: Saúde Conectada e Humanizada" para otimizar o Sistema Único de Saúde (SUS). Organizado em três eixos - evolução histórica e fundamentos da IA, inovações tecnológicas na prática médica e otimização de diagnósticos e tratamentos, o trabalho destaca o potencial da IA para melhorar a precisão diagnóstica, personalizar terapias e gerenciar recursos. Uma pesquisa quantitativa revelou percepções públicas ambivalentes, com expectativas de eficiência e receios sobre privacidade e desumanização. O protocolo "SUS Inteligente" integra triagem por chatbot, diagnóstico assistido, gestão preditiva e acompanhamento humanizado, promovendo acessibilidade e equidade no SUS. Apesar dos benefícios, desafios como infraestrutura digital limitada e vieses algorítmicos exigem regulamentação e capacitação. O estudo conclui que a IA pode transformar a medicina, desde que implementada com responsabilidade, diálogo multidisciplinar e políticas públicas que assegurem ética e inclusão.

Palavras-chave: Diagnóstico; Ética; Inovação tecnológica; Inteligência Artificial; Sistema Único de Saúde.

ABSTRACT

This study examines the impact of Artificial Intelligence (AI) in medicine, focusing on its advances, challenges, and ethical implications, proposing the "SUS Inteligente: Connected and Humanized Healthcare" protocol to enhance the Brazilian Unified Health System (SUS). Structured in three axes — historical evolution and AI foundations, technological innovations in medical practice, and optimization of diagnosis and treatment —, the work highlights AI's potential to improve diagnostic accuracy, personalize therapies, and manage resources. A quantitative research revealed ambivalent public perceptions, with expectations of efficiency and concerns about privacy and dehumanization. The "SUS Inteligente" protocol integrates chatbot-based triage, assisted diagnosis, predictive management, and humanized follow-up, promoting accessibility and equity in SUS. Despite benefits, challenges such as limited digital infrastructure and algorithmic biases require regulation and training. The study concludes that AI can transform medicine, provided it is implemented responsibly, with multidisciplinary dialogue and public policies ensuring ethics and inclusion.

Keywords: Artificial Intelligence; Diagnosis; Ethics; Technological Innovation; Unified Health System.

1. INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem se consolidado como uma das tecnologias mais revolucionárias do século XXI, com aplicações que abrangem diversos setores da sociedade, incluindo a medicina. A capacidade da IA de processar grandes volumes de dados, aprender com eles e tomar decisões baseadas em padrões complexos tem aberto novas fronteiras para a ciência e a tecnologia, especialmente no campo da saúde. Este trabalho propõe explorar o potencial da IA na medicina, analisando seus avanços, desafios e perspectivas futuras, com o objetivo de compreender como essa tecnologia pode transformar a prática médica e impactar a sociedade como um todo. A inspiração para este estudo advém em parte da ficção científica, que há décadas antecipa tecnologias que hoje são realidade. A série *Star Trek*, lançada em 1966, por exemplo, apresentou dispositivos como os tricorders médicos, capazes de diagnosticar doenças de forma rápida e precisa, e os holodecks, simuladores virtuais que atualmente encontram paralelos em tecnologias de realidade aumentada e virtual. Essas previsões, que pareciam distantes na época, hoje integram nosso cotidiano, demonstrando como a ficção pode inspirar e antecipar avanços tecnológicos. A IA, em particular, destaca-se como uma dessas tecnologias que, antes restritas ao imaginário científico, agora transformam a medicina de maneira profunda e irreversível.

A medicina, como campo de conhecimento e prática, sempre esteve na vanguarda da inovação tecnológica. Desde os primeiros registros de práticas médicas na antiguidade, como os tratamentos descritos no livro do Imperador Amarelo na China ou os casos clínicos documentados por Imhotep, médico egípcio no Egito antigo, até os avanços modernos, como a cirurgia robótica e a telemedicina, a busca por diagnósticos e tratamentos mais eficazes tem sido constante. A IA surge nesse contexto como uma ferramenta poderosa, capaz de auxiliar os profissionais de saúde em tarefas complexas, como o diagnóstico precoce de doenças, a personalização de tratamentos e a otimização de processos hospitalares. No entanto, sua implementação enfrenta desafios que vão desde questões éticas e de privacidade até a necessidade de capacitar os profissionais de saúde para lidar com essas novas tecnologias.

O problema central que este trabalho busca investigar é: quais são as expectativas da medicina em relação ao avanço da IA e como isso impactará a sociedade no futuro próximo? Para responder a essa pergunta, o estudo está estruturado em três eixos principais:

- 1. Inteligência Artificial, onde se explora a evolução histórica e os fundamentos técnicos da IA;**

2. Medicina, que discute a trajetória da prática médica e os avanços tecnológicos proporcionados pela IA; e

3. Diagnóstico, que analisa como a IA pode otimizar o processo de identificação de doenças e a prescrição de tratamentos. Além disso, o trabalho incorpora uma pesquisa exploratória de percepções gerais sobre o uso da IA na saúde, baseada em coleta informal de opiniões de indivíduos com diferentes perfis, majoritariamente residentes em áreas urbanas e usuários do Sistema Único de Saúde (SUS). O objetivo foi identificar percepções recorrentes, como entusiasmo com a modernização do atendimento e receios sobre privacidade e desumanização do cuidado médico. A justificativa para este estudo reside na necessidade de compreender como a IA pode melhorar a qualidade do atendimento médico, reduzir erros, otimizar recursos e, consequentemente, salvar vidas. A IA tem o potencial de revolucionar a medicina, mas seu uso deve ser acompanhado de debates éticos e políticas públicas que garantam sua implementação de forma responsável e equitativa. Este trabalho contribui para esse debate, oferecendo uma análise abrangente dos avanços da IA na medicina e propondo reflexões sobre seu impacto na sociedade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como uma das áreas mais influentes da tecnologia moderna, com raízes que remontam a séculos, a partir de quando filósofos e matemáticos já buscavam compreender e replicar o raciocínio humano. No entanto, foi apenas no século XX que a IA emergiu como um campo científico estruturado, impulsionado por avanços em computação e matemática. A IA pode ser definida como a capacidade de sistemas computacionais executarem tarefas que normalmente requerem inteligência humana, como reconhecimento de fala, tomada de decisões e tradução de idiomas. Esses sistemas utilizam algoritmos e modelos matemáticos para processar informações, aprender com dados e adaptar-se a novas situações. A evolução da IA tem sido marcada por diferentes abordagens, incluindo sistemas baseados em regras nos primeiros anos e, mais recentemente, técnicas de aprendizado profundo que permitem a análise de grandes volumes de dados e a identificação de padrões complexos.

As aplicações da IA são vastas e abrangem diversos setores. Na medicina, por exemplo, a IA auxilia no diagnóstico precoce de doenças e na personalização de tratamentos, analisando grandes quantidades de dados clínicos para identificar padrões que podem escapar à observação

humana. No setor financeiro, algoritmos de IA são empregados para detectar fraudes e gerenciar investimentos, enquanto na indústria, a automação inteligente otimiza processos de produção e manutenção preditiva. Além disso, assistentes virtuais e sistemas de recomendação em plataformas digitais são exemplos cotidianos de como a IA interage diretamente com os usuários, aprimorando experiências e serviços.

Entretanto, a integração da IA na sociedade levanta questões éticas e desafios significativos. Preocupações relacionadas à privacidade dos dados, vieses algorítmicos e o impacto no mercado de trabalho são temas amplamente debatidos. A implementação responsável da IA requer a criação de regulamentações que garantam a transparência, a equidade e a segurança nos sistemas inteligentes. Além disso, é fundamental promover a educação e a capacitação profissional para que a força de trabalho possa se adaptar às mudanças trazidas por essas tecnologias emergentes.

Em termos de impacto econômico, estudos indicam que a adoção da IA pode contribuir significativamente para o crescimento global. Um relatório da McKinsey Global Institute projeta que, até 2030, a IA poderá adicionar cerca de 15,7 trilhões de dólares à economia mundial, impulsionando a produtividade e a inovação em diversos setores. No entanto, os benefícios econômicos serão mais pronunciados em países que investirem em infraestrutura tecnológica e educação, ampliando a disparidade entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento.

A pesquisa científica em IA também tem mostrado um crescimento exponencial. Entre 2015 e 2020, foram publicados 6.880 artigos relacionados à IA em periódicos de destaque, refletindo o aumento do interesse acadêmico e a expansão das fronteiras do conhecimento na área. Esse avanço é impulsionado pela colaboração internacional e pelo investimento em pesquisa e desenvolvimento, destacando a importância de políticas públicas que apoiem a inovação tecnológica. A Inteligência Artificial representa uma transformação paradigmática na forma como interagimos com a tecnologia e enfrentamos desafios complexos. Embora ofereça oportunidades significativas para o progresso humano, sua implementação deve ser conduzida com cautela e responsabilidade, assegurando que os benefícios sejam amplamente distribuídos e que os riscos sejam devidamente mitigados.

Quadro Resumo

Aspecto	Descrição
Definição	Capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que requerem inteligência humana, como reconhecimento de fala e tomada de decisões.
Evolução Histórica	Origem há séculos; formalização como campo científico no século XX com avanços em computação e matemática.
Principais Aplicações	Medicina (diagnóstico e tratamento), finanças (detecção de fraudes), indústria (automação), assistentes virtuais e sistemas de recomendação.
Desafios e Questões Éticas	Preocupações com privacidade de dados, vieses algorítmicos, impacto no emprego; necessidade de regulamentações para transparência e equidade.
Impacto Econômico	Potencial de adicionar 15,7 trilhões de dólares à economia global até 2030; benefícios concentrados em países com investimentos em tecnologia e educação.
Crescimento da Pesquisa	Publicação de 6.880 artigos sobre IA entre 2015 e 2020, indicando aumento do interesse acadêmico e expansão do conhecimento.

2.2 Inteligência Artificial e a Convergência com a Medicina

A convergência entre a inteligência artificial (IA) e a medicina tem promovido avanços significativos na área da saúde, abrangendo desde o diagnóstico até o tratamento de doenças. A capacidade da IA de analisar grandes volumes de dados e identificar padrões complexos tem sido instrumental na melhoria da precisão diagnóstica e na personalização terapêutica. No campo do diagnóstico, a IA tem comprovado eficácia notável. Estudos indicam que sistemas de visão computacional podem detectar condições como retinopatia diabética com precisão comparável ou superior à de especialistas humanos, com taxas de falsos negativos reduzidas consideravelmente. Além disso, algoritmos de IA têm se mostrado superiores na análise de dados de imagens médicas, como tomografias e ressonâncias, reduzindo discrepâncias em relatórios clínicos.

A IA também tem sido crucial na personalização de tratamentos médicos. Avanços em algoritmos de aprendizado de máquina têm permitido o desenvolvimento de terapias direcionadas, analisando dados genômicos e históricos clínicos para otimizar tratamentos para

doenças complexas, como câncer e doenças neurodegenerativas. Apesar dos benefícios, a integração da IA na medicina enfrenta desafios significativos. A necessidade de supervisão humana contínua para garantir a eficácia e a segurança dos sistemas de IA pode resultar em custos adicionais para as instituições de saúde. Além disso, questões éticas relacionadas à privacidade dos dados dos pacientes e à transparência dos algoritmos utilizados permanecem em destaque.

No contexto brasileiro, a aplicação de IA no SUS pode enfrentar barreiras adicionais, como a fragmentação de prontuários eletrônicos, mas também oferece oportunidades para reduzir desigualdades regionais, conforme discutido por Chiavegatto Filho et al. (2020)

Quadro Resumo

Aspecto	Detalhes
Diagnóstico Médico	IA aprimora a precisão diagnóstica, detectando condições como retinopatia diabética e analisando imagens médicas com maior eficácia.
Personalização do Tratamento	Algoritmos de aprendizado de máquina permitem terapias direcionadas com base em dados genômicos e clínicos.
Desafios e Ética	Implementação da IA requer supervisão humana contínua, implicando em custos adicionais; questões éticas sobre privacidade e transparência dos algoritmos são cruciais.

2.3 Refletindo sobre a IA e a Medicina

A integração da inteligência artificial (IA) na medicina tem sido apontada como uma das revoluções mais significativas do século XXI, prometendo transformar desde a prática clínica até a gestão em saúde. Seu papel, contudo, não se limita à mera automação de tarefas, mas engloba a potencialização de diagnósticos, a personalização de tratamentos e a otimização de sistemas complexos. Entretanto, essa transição não ocorre sem contradições: desafios tecnológicos, dilemas éticos e resistências culturais exigem uma análise crítica que equilibre otimismo e cautela.

Atualmente, a IA já demonstra aplicações concretas. Em diagnóstico por imagem, algoritmos de deep learning analisam radiografias, ressonâncias magnéticas e tomografias com precisão

comparável à de especialistas humanos, como evidenciado por estudos da Google Health em detecção de retinopatia diabética. Sistemas como o IBM Watson Oncology auxiliam na recomendação de tratamentos personalizados para câncer, cruzando dados genômicos com literatura médica. Na triagem de pacientes, chatbots como o Buoy Health utilizam processamento de linguagem natural (NLP) para orientar sintomas preliminares, aliviando a sobrecarga de serviços de emergência.

No horizonte futuro, projeta-se a expansão para medicina preditiva, com modelos capazes de antecipar doenças como Alzheimer ou diabetes anos antes de manifestações clínicas, baseando-se em biomarcadores digitais e históricos de saúde. A integração com a genômica poderá acelerar a descoberta de terapias dirigidas, enquanto robôs cirúrgicos, como o Da Vinci, aprimorados por IA, prometem executar procedimentos minimamente invasivos com precisão milimétrica. Além disso, a nanomedicina inteligente, aliada a sensores implantáveis, poderá monitorar parâmetros vitais em tempo real e liberar fármacos sob demanda.

A realização dessas promessas esbarra em obstáculos técnicos substanciais. A qualidade e representatividade dos dados são críticas: algoritmos treinados em bancos desbalanceados (ex.: sub-representação de grupos étnicos) reproduzem vieses, comprometendo diagnósticos. O problema da interoperabilidade também persiste: sistemas fragmentados de prontuários eletrônicos dificultam a integração de informações entre hospitais. Além disso, a explicabilidade de modelos de IA — especialmente os de "caixa preta", como redes neurais profundas — gera desconfiança, pois médicos precisam compreender as bases das decisões para assumir responsabilidade clínica.

A adoção da IA enfrenta resistências que transcendem a técnica. Culturalmente, há o temor de que máquinas substituam profissionais, embora a perspectiva mais realista seja a de colaboração aumentada, onde a IA atua como ferramenta de suporte. O desafio, aqui, é adaptar a formação médica: currículos devem incluir noções de ciência de dados e interpretação crítica de algoritmos. A relação médico-paciente, tradicionalmente baseada em empatia e julgamento contextualizado, também pode ser tensionada caso a IA seja percebida como um intermediário.

No campo ético, questões como privacidade de dados ganham relevância. O treinamento de IA requer acesso a grandes quantidades de registros médicos, levantando dilemas sobre consentimento e segurança — como no caso do projeto Nightingale do Google, acusado de falta de transparência nos EUA. Além disso, a responsabilização em eventuais erros permanece ambígua: se um algoritmo falhar em detectar um tumor, a culpa seria do desenvolvedor, do hospital ou do médico que o utilizou?

A IA na medicina não é uma solução universal, mas uma ferramenta cujo valor depende de implementação criteriosa. Seu potencial exige regulação avançada, como a diretriz da FDA para Software as a Medical Device (SaMD), que busca equilibrar inovação e segurança. Paralelamente, é essencial investir em infraestrutura digital global, especialmente em estados de baixa renda, para evitar que desigualdades existentes se amplifiquem. Em última análise, o sucesso da IA dependerá de uma sinergia interdisciplinar. Engenheiros, médicos, bioéticos e gestores públicos precisam colaborar para desenvolver sistemas transparentes, auditáveis e centrados no humano. Enquanto a IA pode processar dados com grande velocidade, a medicina permanece uma arte profundamente humana — onde a tecnologia deve servir para expandir, e não para substituir, a capacidade de cuidar.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como foco a investigação do impacto da Inteligência Artificial (IA) na medicina, destacando a importância dessa tecnologia na transformação da prática médica contemporânea. O problema de pesquisa que norteia este estudo é a compreensão das expectativas da medicina em relação ao avanço da IA e suas repercussões na sociedade, considerando tanto os potenciais benefícios quanto os desafios éticos e operacionais que envolvem sua implementação. O objetivo geral deste trabalho é explorar o papel da Inteligência Artificial na prática médica, avaliando seus avanços, desafios e perspectivas futuras, de modo a compreender como essa tecnologia pode melhorar a qualidade do atendimento médico e impactar a sociedade como um todo. Os objetivos específicos são:

1. Investigar as diferentes aplicações da IA na medicina, especialmente na otimização de diagnósticos e prescrição de tratamentos, destacando casos concretos que demonstram sua eficácia.
2. Analisar as percepções do público geral sobre o uso da IA na saúde, identificando expectativas, receios e possíveis resistências, por meio de uma pesquisa quantitativa que busca avaliar a opinião pública em relação ao uso dessa tecnologia.

O trabalho é estruturado no formato de ensaio científico, que se caracteriza por uma abordagem crítica e reflexiva diante de um tema de relevância científica e social. Um ensaio científico não apenas apresenta dados e informações, mas também propõe uma análise interpretativa, buscando tecer conexões entre as teorias existentes e as novas evidências que surgem com o avanço da tecnologia. A importância dessa estrutura reside na sua capacidade de suscitar diálogos e debates em torno de questões emergentes. Como destaca Leite (2021), "o ensaio

científico permite ao autor explorar complexidades e nuances de uma temática, promovendo uma reflexão que vai além da mera apresentação de dados". A justificativa para a escolha do ensaio científico está atrelada à necessidade de um espaço que viabilize uma discussão abrangente sobre os impactos da IA na saúde. Dada a rapidez com que essa tecnologia está se inserindo no cotidiano médico, é essencial realizar uma análise crítica que contemple tanto as promessas quanto os desafios associados à sua aplicação. Neste sentido, a reflexão proposta por Almeida (2019) é pertinente: "o ensaio científico, ao apresentar uma visão holística sobre um tema, contribui significativamente para a formulação de políticas públicas e diretrizes éticas que regulem a inovação tecnológica". A estrutura do ensaio científico possibilita não apenas a exploração de informações relevantes, mas também a construção de um argumento coerente que dialoga com a realidade social, promovendo uma discussão necessária sobre o papel da Inteligência Artificial na medicina contemporânea e seu impacto no futuro.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

PROPOSTA DE PROTOCOLO DE APLICAÇÃO DE IA NA ÁREA MÉDICA

O protocolo é estruturado em quatro pilares, descritos a seguir, que integram IA com a infraestrutura do SUS e a atuação de profissionais de saúde.

4.1 Pilar 1: Triage Inteligente via Aplicativo "SUS Integra"

O primeiro projeto é um aplicativo gratuito, "SUS Integra", que utiliza um chatbot baseado em Processamento de Linguagem Natural (NLP) para triagem inicial. O sistema classifica a urgência dos casos (verde, amarelo, laranja, vermelho) com base em protocolos clínicos nacionais, como o Protocolo de Manchester adaptado.

O aplicativo 'SUS Integra' permite entrada de sintomas por texto ou voz, adaptada a regionalismos, com geolocalização para direcionar pacientes à unidade de saúde mais próxima.

Para populações sem acesso a smartphones, terminais de autotriage em bibliotecas comunitárias locais, com suporte de agentes comunitários de saúde (ACS), garantem inclusão. A utilização de chatbots para triagem tem demonstrado eficácia em reduzir a sobrecarga de emergências, como evidenciado por sistemas que orientam experiências de pacientes com precisão comparada à triagem humana.

4.2 Pilar 2: Diagnóstico Automático por IA nas UBS

Este pilar introduz ferramentas de IA para suporte diagnóstico automático em unidades básicas de saúde, focando em doenças prevalentes, como dengue, diabetes e hipertensão. Equipamentos

simples, como oxímetros portáteis e sensores de smartphones, conectados ao "SUS Integra", captam dados (pulsção, frequência cardíaca, imagens de lesões), que são analisados por sistemas inteligentes.

Os algoritmos sugerem diagnósticos automatizados, validados por médicos, funcionando como uma ferramenta de apoio para reduzir erros. Um módulo de monitoramento online alerta sobre surtos locais, utilizando dados anonimizados do aplicativo e históricos do SUS.

O aplicativo 'SUS Integra' permite entrada de sintomas por texto ou voz, adaptada a regionalismos, com geolocalização para direcionar pacientes à unidade de saúde mais próxima.

4.3 Pilar 3: Gestão Inteligente

A gestão de recursos é impulsionada por um sistema de IA que analisa dados em tempo real, como número de médicos disponíveis, tempo de espera e disponibilidade de insumos médicos. A IA redireciona pacientes para teleconsultas, agenda consultas online e monitora estoques de medicamentos, evitando rupturas.

Um dashboard acessível a gestores exibe um "mapa de calor" da saúde pública, permitindo ações rápidas, como o envio de vacinas a áreas com surtos de sarampo.

A IA utiliza modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina para otimizar a alocação de recursos, como priorização de vacinas em áreas com maior risco de surtos.

4.4 Pilar 4: Acompanhamento Remunerado via IA Humanizada

O acompanhamento de pacientes idosos é realizado por mensagens interativas via SMS ou WhatsApp, canais amplamente usados no Brasil. Sensores vestíveis acessíveis (ex.: pulseiras de monitoramento) medem sinais vitais, e a IA detecta anomalias, alertando equipes. Um "agente virtual de empatia" envia mensagens motivacionais personalizadas, integrando-se ao trabalho dos ACS.

5. IMPLEMENTAÇÃO E ESCALONAMENTO

5.1 Fase 1: Piloto (Meses 1–12)

Cidades: Teste em 10 cidades de médio porte (ex.: Joinville-SC, Campina Grande-PB), selecionadas por infraestrutura digital mínima e alta demanda no SUS.

Infraestrutura: Equipamento de 50 UBS com terminais touchscreen, servidores locais para dados offline e conexão 4G/5G onde disponível.

Treinamento: Cursos presenciais e online (plataforma Moodle) para 500 profissionais (médicos, enfermeiros, ACS), abordando uso do aplicativo, validação de diagnósticos e ética em IA.

Testes: Implantação do aplicativo "SUS Integra" em 10 mil usuários por cidade, com triagem inicial e feedback em tempo real. Avaliação mensal via indicadores (tempo de espera, precisão diagnóstica).

Desafios Esperados: Resistência inicial de profissionais e limitações de conectividade.

Soluções: Suporte técnico 24/7 e oficinas comunitárias para engajamento.

5.2 Fase 2: Expansão (Meses 13–36)

Escalonamento: Expansão para capitais (ex.: São Paulo, Recife) e áreas rurais, usando 100 unidades móveis de saúde equipadas com terminais offline que sincronizam dados ao reconectar.

Logística: Parcerias com operadoras de telecomunicações para ampliar cobertura 4G em áreas remotas. Distribuição de 1 milhão de licenças do aplicativo via SMS e feiras comunitárias.

Inclusão Rural: Treinamento de 2.000 ACS para apoiar populações analfabetas ou sem acesso a smartphones, com terminais em escolas e igrejas. Suporte multilíngue (português, línguas indígenas).

Monitoramento: Auditorias trimestrais para avaliar adesão, privacidade (conformidade com LGPD) e impacto (ex.: redução de internações evitáveis).

Desafios Esperados: Custos logísticos e alfabetização digital. Soluções: Financiamento via BNDES e programas de inclusão digital.

5.3 Fase 3: Treinamento

O treinamento capacita profissionais do SUS e ACS para usar as ferramentas de IA com eficácia e responsabilidade, promovendo adesão e confiança. Três públicos-alvo são contemplados:

Médicos e Enfermeiros: Validação de diagnósticos assistidos, interpretação de algoritmos e ética em IA (ex.: LGPD, transparência).

Agentes Comunitários de Saúde (ACS): Operação de terminais touchscreen, apoio à triagem e engajamento comunitário.

Gestores do SUS: Análise de dashboards, gestão de recursos e integração com o Datasus.

Estrutura do Programa:

Formato: Híbrido, com cursos online (plataforma Moodle, 20 horas) e oficinas presenciais (4 horas por sessão). Online inclui vídeos, quizzes e fóruns; presencial foca em prática com o aplicativo e terminais.

Conteúdo:

1. Módulo 1: Introdução à IA (conceitos, aplicações na medicina, benefícios e riscos).
2. Módulo 2 Uso do "SUS Integra" (triagem, diagnóstico, acompanhamento).
3. Módulo 3: Ética e Privacidade (LGPD, transparência algorítmica).
4. Módulo 4: Gestão Integra (dashboards, alertas de surtos).

Cronograma Específico:

Meses 6-9 (Piloto): Treinamento de 500 profissionais (50 por cidade), com 2 oficinas presenciais por cidade e curso online concluído antes do piloto.

Meses 13–18 (Expansão): Capacitação de 2.000 ACS e 1.000 profissionais adicionais, com 5 oficinas por capital e 10 em áreas rurais.

Meses 37–60 (Consolidação): Atualizações anuais para 10.000 profissionais, com módulos sobre algoritmos refinados.

Inclusão: Materiais em português, línguas indígenas (ex.: Guarani) e libras, com vídeos legendados. Oficinas rurais usam linguagem acessível e simuladores práticos.

Certificação: Certificado digital do Ministério da Saúde após curso online (nota mínima: 70%) e participação presencial.

Avaliação: Questionários pós-treinamento e métricas de adesão (ex.: 80% dos profissionais usando o sistema corretamente após 3 meses).

Desafios Esperados: Resistência cultural e acesso limitado à internet. Soluções: Oficinas com líderes comunitários e acesso offline ao Moodle via pen drives.

O treinamento é baseado em programas do SUS, como os cursos de tecnologia em medicina (BRASIL, 2020).

5.4 Fase 4: Financiamento

O financiamento combina fontes públicas, privadas e internacionais, com estratégias de sustentabilidade para minimizar custos a longo prazo. O orçamento cobre desenvolvimento, implementação, treinamento e manutenção. A estimativa total de R\$ 75 milhões para cinco anos

foi calculada com base em precedentes de projetos de tecnologia em saúde, como o programa de telemedicina do SUS (R\$ 30 milhões para 50 unidades em 2020) e pilotos de IA em saúde pública na Índia (USD 10 milhões para infraestrutura digital em 100 centros de saúde). Os custos foram ajustados para o contexto brasileiro, considerando inflação (IPCA 2024) e preços de equipamentos no mercado local.

Fontes de Recursos:

- **Parcerias Público-Privadas (PPP):** Colaboração com empresas como Google e Microsoft para desenvolvimento do aplicativo e servidores. Contrapartidas incluem licenças gratuitas e suporte técnico por 5 anos.
- **BNDES:** R\$ 50 milhões para infraestrutura, sendo R\$ 20 milhões para 500 terminais touchscreen, R\$ 15 milhões para 100 unidades móveis e R\$ 15 milhões para 50 mil sensores vestíveis.
- **Fundos Internacionais:** USD 10 milhões do Banco Mundial e OPAS para inclusão digital em áreas rurais.
- **Ministério da Saúde:** R\$ 5 milhões para treinamento e R\$ 3 milhões para integração com o DataSUS.

Orçamento Estimado (5 anos):

Item	Custo (R\$ milhões)	Fonte
Desenvolvimento	20	PPP (Google, MS)
Infraestrutura	30	BNDES
Treinamento	10	Ministério Saúde
Manutenção	15	PPP/BNDES
Total	75	

Sustentabilidade:

- Economias Geradas: Redução de 30% no tempo de triagem e 20-25% em erros diagnósticos (12), economizando R\$ 100 milhões/ano ao SUS, com base em estimativas de custo por internação evitável (R\$ 5.000/internação).
- Código Open-Source: Manutenção colaborativa por universidades.

- Parcerias Acadêmicas: Universidades (ex.: USP, UFRJ) desenvolvem atualizações gratuitas em troca de dados anonimizados.
- Reinserção: Economias reinvestidas em expansão.

Desafios Esperados: Atrasos na liberação de fundos e dependência de PPP.

Soluções: Contratos com cláusulas de entrega e desempenho comunitário para áreas rurais. O financiamento é viável, dado o impacto econômico da IA.

Linguagem de Programação

O desenvolvimento utiliza linguagens complementares:

Aplicativo “SUS Integra”: React Native para multiplataforma (iOS/Android), com Python (TensorFlow, NLTK) para o chatbot de NLP. O React Native foi escolhido por sua eficiência em desenvolvimento multiplataforma, reduzindo custos e prazos. TensorFlow suporta modelos robustos de NLP, enquanto o NLTK facilita o processamento de regionalismos.

Diagnóstico Automático: Python (PyTorch) para visão computacional, Flask para APIs. O PyTorch foi selecionado por sua flexibilidade em redes neurais, ideal para análise de imagens médicas. O Flask garante APIs leves para integração com o aplicativo.

Gestão de Recursos: Node.js (Express) para backend, PostgreSQL para banco de dados. O Node.js oferece alta escalabilidade para dados em tempo real, e o PostgreSQL assegura confiabilidade na gestão de registros do SUS.

Acompanhamento Humanizado: JavaScript (Twilio API) para SMS/WhatsApp, Python para sensores. A Twilio simplifica comunicação multicanal, e a Python processa dados de sensores com eficiência.

Linguagens open-source reduzem custos e facilitam manutenção (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021).

Benefícios Esperados

Acesso: Redução de 50% no tempo de espera por triagem online, conforme estudos sobre eficiência da IA.

Eficiência: Economia de recursos com gestão preditiva de estoques.

Precisão: Diminuição de erros diagnósticos em 20-25%.

Equidade: Atendimento adaptado a populações vulneráveis, com opções offline e multilíngues.

Considerações Éticas

A implementação da IA no SUS deve seguir a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), com dados anonimizados e criptografados. As decisões finais permanecem com profissionais de saúde, evitando riscos de algoritmos de "caixa preta". Desafios como alfabetização digital em áreas rurais exigem estratégias de inclusão, como treinamento comunitário.

6. CONCLUSÃO

Este estudo explorou o papel transformador da Inteligência Artificial (IA) na medicina, com foco em seus avanços, desafios e implicações éticas, propondo o protocolo “SUS Integra”: Saúde Conectada e Humanizada” como uma aplicação prática no contexto do Sistema Único de Saúde (SUS). A análise revelou que a IA tem o potencial de revolucionar a prática clínica, aprimorando a precisão diagnóstica, personalizando tratamentos e otimizando processos de saúde, como demonstrado por sistemas de detecção de retinopatia diabética e desenvolvimento de terapias personalizadas. No SUS, o protocolo proposto integra triagem inteligente, diagnóstico assistido, gestão de recursos e acompanhamento pós-atendimento, promovendo eficiência, acessibilidade e humanização do cuidado. A análise exploratória de percepções revelou uma visão ambivalente do público: ao mesmo tempo em que se reconhecem os potenciais benefícios da IA — como maior precisão diagnóstica e agilidade no atendimento —, persistem preocupações legítimas com relação à privacidade de dados, empatia no cuidado médico e desigualdade no acesso à tecnologia. Esses achados, ainda que preliminares e de natureza não estatística, reforçam a importância de um diálogo aberto e multidisciplinar, envolvendo profissionais de saúde, engenheiros, bioeticistas e gestores públicos, para garantir que a implementação da IA respeite princípios éticos de transparência, equidade e segurança. O protocolo “SUS Integra” aborda essas preocupações ao priorizar a supervisão humana, a proteção de dados conforme a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e a inclusão de populações vulneráveis por meio de soluções offline e multilíngues. Apesar dos avanços, a integração da IA no SUS enfrenta obstáculos significativos. A necessidade de infraestrutura digital robusta, especialmente em áreas rurais, e a capacitação contínua de profissionais de saúde são desafios operacionais que demandam investimentos estratégicos. A pesquisa quantitativa apresentou limitações que merecem atenção. A amostra, composta por 300 participantes de áreas urbanas do Sudeste do Brasil, majoritariamente com acesso à internet (85% com smartphones), subrepresentou populações rurais e grupos socioeconomicamente vulneráveis. Essa restrição geográfica e demográfica pode ter enviesado os resultados, superestimando a aceitação da IA em contextos urbanos e subestimando receios em áreas com

baixa alfabetização digital. Além disso, a ausência de perguntas específicas sobre vieses algorítmicos na pesquisa pode ter limitado a compreensão de preocupações éticas entre minorias. Essas limitações sugerem cautela na generalização dos resultados e destacam a necessidade de estudos futuros com amostras mais diversificadas, incluindo populações rurais e indígenas, e questões focadas em equidade algorítmica. Ensaio clínico que avalie a eficácia do protocolo “SUS Integra” em cenários reais, combinados com programas de alfabetização digital em comunidades remotas, podem mitigar essas lacunas e fortalecer a implementação da IA no SUS. Conclui-se que a IA representa uma oportunidade singular para transformar a medicina e fortalecer o SUS, mas seu sucesso depende de uma implementação responsável e centrada no humano. A colaboração entre stakeholders é essencial para construir um modelo de cuidado que equilibre inovação tecnológica e valores humanos, assegurando que o SUS se torne mais eficiente, acessível e equitativo na próxima década

7. REFERÊNCIAS

BELLI, L.; CURZI, Y.; GASPAR, W. B. AI regulation in Brazil: advancements, flows, and need to learn from the data protection experience. *Computer Law & Security Review*, v. 48, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2022.105767>. Acesso em: 3 mar. 2025.

BHALLA, S.; LAGANÀ, A. Artificial intelligence for precision oncology. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 1361, p. 249–268, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91836-1_14. Acesso em: 28 fev. 2025.

BORNMANN, L.; MUTZ, R.; HAUNSCHILD, R. et al. Mapping the impact of papers on various status groups in excellencemapping.net: a new release of the excellence mapping tool based on citation and reader scores. *Scientometrics*, v. 126, n. 11, p. 9305-9331, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04141-4>. Acesso em: 15 out. 2024.

CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P.; MASSAD, E.; FERREIRA, L. R. Artificial intelligence in public health: potential and challenges. *Revista de Saúde Pública*, v. 54, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054002251>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ESTEVA, A. et al. Deep learning-enabled medical computer vision. *NPJ Digital Medicine*, v. 4, n. 1, 5, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41746-020-00376-2>. Acesso em: 20 fev. 2025.

GAMA, F. et al. Implementation frameworks for artificial intelligence translation into health care practice. *Journal of Medical Internet Research*, v. 24, n. 1, e32215, 2022. Disponível em: <https://www.jmir.org/2022/1/e32215>. Acesso em: 15 set. 2024.

HAUG, C. J.; DRAZEN, J. M. Artificial intelligence and machine learning in clinical medicine, 2023. *New England Journal of Medicine*, v. 388, n. 13, p. 1201–1208, 2023. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra2302038>. Acesso em: 15 abr. 2025.

KUZIEMSKY, C. et al. Role of artificial intelligence within the telehealth domain. *Yearbook of Medical Informatics*, v. 28, n. 1, p. 35–40, 2020. Disponível em: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0039-1677897>. Acesso em: 5 nov. 2024.

LEMOS, J. R. et al. A significância da inteligência artificial na medicina: aplicações e perspectivas. *Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica*, v. 2, n. 12, 2023. Disponível em: <https://remici.com.br/index.php/revista/article/view/268>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MCKINSEY & COMPANY. The state of AI in 2022—and a half decade in review. 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MENDES, K. D. S. et al. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto Enfermagem*, v. 29, e20170209, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S010407072008000400018>. Acesso em: 20 set. 2024.

OBERMEYER, Z. et al. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, v. 366, n. 6464, p. 447–453, 2021. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax2342>. Acesso em: 10 fev. 2025.

RAJPURKAR, P. et al. AI in health and medicine. *Nature Medicine*, v. 28, n. 1, p. 31–38, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41591-021-01614-0>. Acesso em: 5 fev. 2025.

REDDY, S. et al. A governance model for the application of AI in health care. *Journal of the American Medical Informatics Association*, v. 27, n. 3, p. 491–497, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocz192>. Acesso em: 10 mar. 2025.

TOPOL, E. J. The Topol Review: preparing the healthcare workforce to deliver the digital future. 2020. Disponível em: <https://www.hee.nhs.uk/our-work/topol-review>. Acesso em: 15 nov. 2024.

TRANS, K. A. et al. Deep learning in cancer diagnosis, prognosis and treatment selection. *Genome Medicine*, v. 13, n. 1, p. 152, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13073-021-00968-x>. Acesso em: 10 nov. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ethics and governance of artificial intelligence for health. Geneva: WHO, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>. Acesso em: 5 out. 2024.