

Capítulo

6

Arquiteturas Digitais Interoperáveis e Inteligentes para Navegação do Cuidado em Condições Crônicas

Analúcia S. Morales, Luciana B. Frigo, Iwens G. Sene Jr., Silvio C. Cazella, Márcia Ito, Alison R. Panisson, Ione J. C. Schneider

Abstract

Population aging, the rising prevalence of chronic diseases, and the increasing reliance on digital infrastructures have intensified the complexity and burden of health systems. In Brazil's Unified Health System (SUS), persistent difficulties remain in coordinating complex care trajectories in a timely manner when data are distributed, heterogeneous, and incomplete. This article frames, as a central challenge for Applied Computing in Health, the large-scale orchestration of data and processes to enable care navigation and coordination within the SUS, with a focus on chronic conditions associated with aging and multimorbidity. The proposal involves the development of an interoperable, secure, and ethically governed digital architecture based on semantic data integration, near-real-time processing, and decision support using artificial intelligence, multi-agent systems, and language models. It argues that this problem cannot be addressed through the computerization of isolated steps but requires an integrated sociotechnical approach, involving advances in interoperability, knowledge representation, machine learning, systems architecture, security, governance, and human-computer interaction. The article outlines gaps in the state of the art, a research agenda, evaluation metrics, and the potential impact on the coordination of chronic care in the SUS.

Resumo

O envelhecimento populacional, o aumento da prevalência de doenças crônicas e a crescente dependência de infraestruturas digitais ampliam a complexidade e a sobrecarga do sistema de saúde. No Sistema Único de Saúde (SUS), persiste a dificuldade de coordenar, em tempo oportuno, trajetórias assistenciais complexas a partir de dados distribuídos, heterogêneos e incompletos. Este artigo propõe, como desafio central da Computação

Aplicada à Saúde, a orquestração de dados e processos em escala para viabilizar a navegação e a coordenação do cuidado no SUS, com foco em doenças crônicas associadas ao envelhecimento e à multimorbidade. A proposta envolve o desenvolvimento de uma arquitetura digital interoperável, segura e com governança ética, baseada em integração semântica de dados, processamento em tempo quase real e suporte à decisão por meio de inteligência artificial, sistemas multiagente e modelos de linguagem. Argumenta-se que esse problema não é solucionado pela informatização de etapas isoladas, exigindo uma abordagem sociotécnica integrada, com avanços em interoperabilidade, representação do conhecimento, aprendizado de máquina, arquitetura de sistemas, segurança, governança e interação humano-computador. O artigo apresenta lacunas do estado da arte, uma agenda de pesquisa, métricas de avaliação e o potencial impacto na coordenação do cuidado de doenças crônicas no SUS.

6.1 Introdução

A Computação Aplicada à Saúde amplia seu foco da automação de processos internos para questões distribuídas, em ecossistemas de cuidado guiados por dados. Esse movimento ganha relevância diante do envelhecimento populacional e do aumento das doenças crônicas, fatores que demandam trajetórias assistenciais contínuas e sensíveis à oportunidade do cuidado [Silva et al. 2021]. Pacientes com necessidades complexas, como os oncológicos, são vulneráveis a falhas de coordenação durante transições assistenciais, sobretudo em sistemas com elevada interdependência e baixa adaptabilidade organizacional [Hedqvist et al. 2025]. Sob a perspectiva computacional, esse cenário configura um problema de integração e coordenação envolvendo múltiplos atores, dados heterogêneos, regras de priorização e objetivos potencialmente conflitantes [Temporão et al. 2022]. A interoperabilidade em saúde constitui elemento central para enfrentar esse desafio. Trata-se da capacidade de sistemas distintos trocarem dados de forma consistente e agregarem valor ao cuidado [Gyrard and et al. 2025].

A implementação de programas de navegação no Sistema Único de Saúde (SUS) justifica-se pela necessidade de reduzir a fragmentação do cuidado, atrasos diagnósticos e terapêuticos, e qualificar a alocação de recursos [Kokorelias et al. 2021]. Embora transversal às condições crônicas, o desafio mostra a derrochada inicial mais imediata em situações de alta complexidade de coordenação, como oncologia, diabetes e multimorbidade em idosos. Evidências indicam que estratégias de navegação associadas a soluções digitais reduzem períodos assistenciais e melhoram resultados clínicos [Kokorelias et al. 2021]. Ferramentas como monitoramento remoto e e-consultas favorecem a circulação oportuna de informações e o acompanhamento longitudinal [Maida et al. 2025]. No contexto brasileiro, essas dificuldades são amplificadas por fatores estruturais como disparidades regionais, escassez de especialistas e baixa formalização de fluxos assistenciais.

Na prática, dados clínicos e administrativos permanecem dispersos entre sistemas com baixa interoperabilidade. A situação é agravada pelo volume de informações não estruturadas oriundas de canais de atendimento heterogêneos. Esse cenário dificulta o rastreamento das trajetórias e eleva as profissões a procedimentos manuais e formas informais de comunicação, o que compromete a coordenação do cuidado [Barbosa and Gottschalg-Duque 2026]. Este artigo propõe enquadrar esse conjunto

de questões como um grande desafio da Computação Aplicada à Saúde. A agenda de pesquisa orienta-se ao projeto de arquiteturas digitais escaláveis, seguras, interoperáveis e clinicamente eficazes. Tais desafios são comuns a diferentes condições crônicas associadas ao envelhecimento, marcadas por multimorbidade e coordenação intersetorial, o que reforça seu caráter transversal para a área [Silva et al. 2021].

6.2 Caracterização do problema como grande desafio em Computação Aplicada à Saúde

Para se qualificar como grande desafio, o problema deve ultrapassar a informatização convencional e demandar contribuições originais em múltiplas subáreas da Computação. Esse é o caso da navegação e da coordenação de linhas de cuidado crônicas em sistemas fragmentados como o SUS. Condições crônicas associadas ao envelhecimento, como câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e doenças respiratórias, caracterizam-se por trajetórias prolongadas, acompanhamento contínuo e dependência de coordenação entre níveis de atenção [Silva et al. 2021, Hedqvist et al. 2025]. Falhas de coordenação afetam diretamente a segurança do paciente, os desfechos clínicos e a sustentabilidade do sistema público de saúde. As soluções existentes são em geral isoladas, como prontuários eletrônicos, painéis de monitoramento e canais de comunicação. Essa fragmentação leva profissionais a recorrerem a múltiplas plataformas, dificultando a construção de uma visão integrada da trajetória assistencial.

O desafio consiste em conceber uma infraestrutura computacional capaz de representar o percurso assistencial como processo distribuído, dinâmico e longitudinal. Tal infraestrutura deve integrar evidências clínicas e organizacionais em tempo quase real, produzir recomendações factíveis e ser transparente, segura e governada de forma ética. Trata-se de um problema que envolve coordenação, priorização e tomada de decisão sobre dados incompletos, heterogêneos, não estruturados e produzidos de forma assíncrona [Temporão et al. 2022, Gyrard and et al. 2025]. Apesar dos avanços recentes, soluções voltadas à coordenação ainda apresentam limitações relevantes. Iniciativas de telessaúde expandiram-se desde a pandemia, mas permanecem concentradas em parcelas específicas da população. Barreiras de interoperabilidade, infraestrutura e letramento digital dificultam a implantação em contextos reais de cuidado longitudinal [Hedqvist et al. 2025].

No contexto brasileiro, iniciativas recentes buscam integrar informações por meio do SUS Digital e da Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS), com a adoção de padrões de interoperabilidade, vocabulários semânticos e tecnologias como *blockchain* [Lima 2025, Barbosa and Gottschalg-Duque 2026]. Essas iniciativas, contudo, permanecem centradas na troca de dados. Profissionais de saúde conseguem acessar informações dos pacientes, e os próprios pacientes podem consultar seus registros por meio de aplicativos, incluindo atendimentos, vacinas, medicamentos e outros dados de saúde. No entanto, essas soluções não enfrentam de modo sistemático a representação computacional das trajetórias assistenciais, a coordenação entre os diferentes atores, a gestão de eventos críticos nem a governança das decisões clínicas e organizacionais [Hedqvist et al. 2025].

6.3 Formulação do desafio

O grande desafio consiste em conceber bases conceituais, metodológicas e tecnológicas para um ambiente digital sociotécnico voltado à coordenação do cuidado em linhas crônicas complexas. A solução computacional deve conectar dados clínicos e administrativos, representar eventos relevantes ao longo da trajetória assistencial, inferir riscos, gerar alertas e apoiar a interação humana de forma qualificada. Evidências indicam que, em contextos de cuidado crônico, falhas de coordenação decorrem menos da ausência de informação do que da incapacidade de integrar e operacionalizar dados distribuídos em tempo oportuno [Hedqvist et al. 2025].

Em vez de um sistema único e monolítico, propõe-se um ecossistema interoperável e observável, apto a acompanhar trajetórias longitudinais. Esse ecossistema pode ser incrementado com soluções tecnológicas recentes. Recursos de Internet das Coisas aplicados à saúde, suportados por redes 5G, WiFi 6 e *Bluetooth Low Energy* (BLE), permitem o monitoramento contínuo de sinais clínicos por meio de dispositivos vestíveis e equipamentos médicos conectados. Esses dispositivos atuam como fontes longitudinais de eventos relevantes, ampliando a granularidade temporal do acompanhamento de pacientes crônicos para além das consultas presenciais. O processamento em borda e em camadas intermediárias, viabilizado por *Edge AI* e *fog computing*, sustenta a detecção precoce de descompensações em ambientes com conectividade intermitente, situação frequente no contexto territorial do SUS [Morales and Cazella 2023]. A incorporação de técnicas de computação afetiva pode ampliar o conjunto de eventos clínicos relevantes para a navegação, ao captar sinais de sofrimento psicológico, *distress* e baixa adesão que antecedem descontinuidades do cuidado. Apesar do potencial, técnicas de computação afetiva ainda não foram incorporadas a arquiteturas de navegação, configurando uma lacuna relevante para pacientes crônicos [Morales et al. 2026].

A unidade central de análise é o fluxo assistencial. A arquitetura deve operar sobre eventos clínicos ou organizacionais relevantes, como suspeita diagnóstica, confirmação histopatológica, início do tratamento, intercorrências, sinais de incapacidade funcional, alta, retorno ao sistema ou perda de seguimento. Esses eventos demandam uma abordagem orientada a eventos [Overeem et al. 2021]. Padrões como *Event Sourcing* e CQRS (*Command Query Responsibility Segregation*) permitem reconstruir trajetórias longitudinais auditáveis a partir de *logs* imutáveis, reduzindo a dependência de estados consolidados em sistemas isolados [HL7 International 2023].

A operacionalização dessa arquitetura no SUS requer recursos interoperáveis. Não há um padrão global unificado, mas tendências apontam para o uso de padrões abertos, como openEHR, ISO 13606 e HL7 [de Mello et al. 2022]. O HL7 FHIR (*Fast Healthcare Interoperability Resources*) define recursos voltados à coordenação longitudinal, como por exemplo, *CarePlan*, *CareTeam*, *EpisodeOfCare*, *Task* e *Goal*, que modelam, respectivamente, o plano de cuidado compartilhado, a equipe multiprofissional, o episódio longitudinal de cuidado, as ações pendentes e os objetivos terapêuticos. Embora especificados internacionalmente, esses recursos ainda carecem de perfis brasileiros consolidados no âmbito da RNDS [Ministério da Saúde 2024, de Mello et al. 2022]. Outro desafio relevante é o mapeamento de eventos que não são registrados de forma padronizada, frequentemente presentes em texto livre, sistemas legados, planilhas, au-

torizações e laudos heterogêneos. Essa fragmentação impõe a necessidade de mecanismos robustos de extração, normalização, vinculação e interpretação semântica de dados [Gyrard and et al. 2025]. A interpretação semântica depende da combinação de vocabulários controlados, como CID-10/11 e CIAP-2, bem como de terminologias internacionais, incluindo LOINC e SNOMED CT, operacionalizadas por serviços de terminologia compatíveis com FHIR, por meio de operações como *lookup*, *translate* e *validate – code* [de Mello et al. 2022, Ministério da Saúde 2024]. Modelos de informação clínica baseados em arquétipos, como o openEHR, são complementares ao FHIR na persistência longitudinal estruturada de dados clínicos.

O sistema deve responder às questões clínicas e operacionais, como: (a) identificar pacientes em risco de atraso na avaliação funcional; (b) detectar trajetórias fora do esperado; (c) localizar pontos críticos da rede; e (d) explicitar evidências subjacentes às recomendações geradas. Para isso, é necessária a integração de mineração de dados, raciocínio probabilístico, modelagem de processos, aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural, articulados a mecanismos de apoio à decisão clínica [Sutton et al. 2020, Shortliffe and Sepúlveda 2018, Singhal et al. 2023]. No caso específico de trajetórias crônicas, a mineração de processos sobre *logs* assistenciais permite descobrir o fluxo real de atendimento e verificar conformidade com linhas de cuidado preconizadas [Ito et al. 2023]. A utilização de redes semânticas clínicas e ontologias formais habilitam o raciocínio sobre comorbidades, contraindicações e relações temporais entre eventos [Al Khatib et al. 2024]. Tais representações suportam busca ativa que caracteriza a navegação proativa do cuidado crônico.

Quatro perguntas científicas norteiam o presente desafio: (i) Como representar computacionalmente trajetórias assistenciais longitudinais a partir de eventos heterogêneos, incompletos e assíncronos? (ii) Como integrar dados estruturados, narrativas em texto livre e sinais de IoT em uma camada semântica auditável? (iii) Como coordenar agentes humanos e computacionais sob restrições clínicas, organizacionais e regulatórias? (iv) Como produzir recomendações explicáveis e acionáveis em ambientes distribuídos com governança ética? Responder a essas perguntas exige equilibrar interoperabilidade semântica, explicabilidade [Čyras et al. 2021], privacidade e auditabilidade [Li et al. 2025], aceitabilidade clínica e viabilidade de implantação em redes públicas.

Um cenário ilustra a natureza do problema. Uma paciente diabética é atendida na Unidade Básica de Saúde (UBS) em janeiro, com HbA1c de 9,2%, e recebe encaminhamento para endocrinologia em uma UAE (Unidade de Atenção Especializada). Seis meses depois, não há registro de atendimento subsequente, exame de controle ou retirada de medicação. A paciente reaparece então no pronto-socorro com cetoacidose. Esse desfecho não decorreu da ausência de dados, mas da inexistência de uma camada computacional capaz de identificar a perda de seguimento e acionar mecanismos de busca ativa em tempo oportuno. A Figura 1.1 sintetiza essa articulação. O paciente crônico ocupa o centro da arquitetura, cercado por cinco camadas concêntricas que representam, de dentro para fora, as fontes de dados, a interoperabilidade semântica, a arquitetura orientada a eventos, as técnicas de inteligência artificial e a coordenação multiagente. Eixos transversais de governança, LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados), auditabilidade e equidade atravessam todas as camadas, refletindo o caráter sociotécnico do desafio no contexto do

SUS Digital e da RNDS.

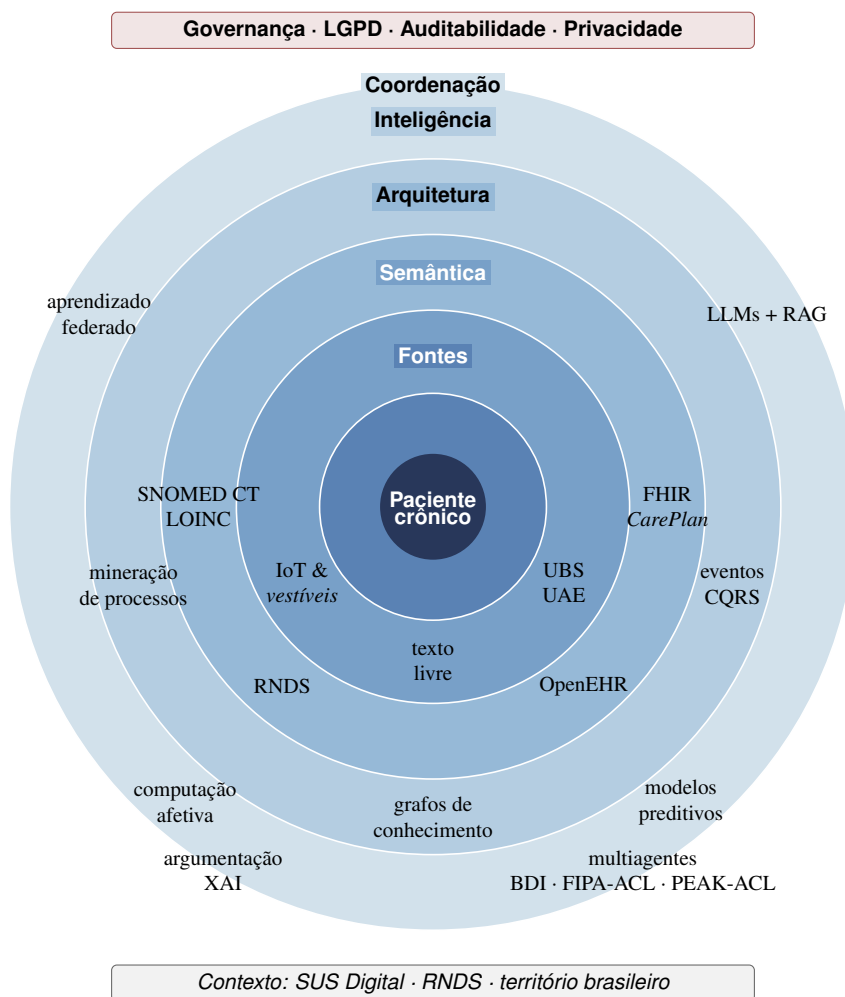


Figura 1.1. Síntese do desafio: como as técnicas computacionais se articulam em torno do paciente crônico para navegação do cuidado.

6.4 Estado atual e lacunas técnico-científicas

Apesar dos avanços recentes em saúde digital, o estado atual permanece marcado por soluções isoladas e de escopo limitado. Sistemas de informação foram concebidos para registrar episódios, atender exigências administrativas ou apoiar operações locais. Não foram projetados para orquestrar trajetórias dinâmicas e longitudinais. Iniciativas de reorganização do cuidado e de uso intensivo de dados permanecem concentradas em níveis departamentais ou institucionais, com pouca integração sistêmica e baixa capacidade de escalar [Douglas et al. 2025]. A interoperabilidade sintática avança com a adoção de padrões, mas a interoperabilidade semântica continua restrita, sobretudo quando dados clínicos residem em narrativas livres ou em sistemas sem modelagem padronizada [Gyrard and et al. 2025].

No contexto brasileiro, a consolidação da RNDS e a adoção do HL7 FHIR com perfis nacionais criam um substrato técnico viável para a navegação computacional do paciente em escala nacional [Ministério da Saúde 2024, de Mello et al. 2022]. Esse avanço

é necessário, mas insuficiente. A RNDS resolve a camada de troca sintática de dados, com envelopes padronizados, autenticação por ICP-Brasil e documentos clínicos como o Registro de Atendimento Clínico. Não endereça, contudo, quatro lacunas críticas para a coordenação do cuidado crônico. A primeira é a heterogeneidade semântica do conteúdo trocado, com uso predominante de CID-10 sem especificidade e adoção ainda incipiente de padrões internacionais (SNOMED CT) [de Mello et al. 2022]. A segunda é a ausência, na prática brasileira, de perfis consolidados para os recursos FHIR de coordenação longitudinal. A terceira lacuna é a fragilidade na identificação única do paciente entre os sistemas. Devido ao preenchimento irregular do Cartão Nacional de Saúde (CNS), torna-se necessário o uso de técnicas de *record linkage* probabilístico para cruzar dados de diferentes bases e confirmar que pertencem ao mesmo indivíduo. A quarta é a inexistência de uma camada computacional de coordenação ativa, como motores de regras, sistemas multiagente e orquestradores de processos clínicos, capaz de transformar dados trocados em ação coordenada [Barbosa and Gottschalg-Duque 2026, Lima 2025]. Tal diagnóstico evidencia as lacunas das soluções vigentes: barramentos integram dados, mas não processos; a telessaúde viabiliza encontros, mas não trajetórias; e os prontuários unificados exibem informações, mas não coordenam ações. A distinção central deste estudo reside em tratar a coordenação como um objeto computacional, dissociando-a de uma visão puramente integradora.

No campo da inteligência artificial, a literatura cresceu em tarefas específicas, como classificação por imagem, previsão de risco, processamento de linguagem natural e suporte à decisão. Boa parte dessas aplicações permanece desconectada do fluxo real de trabalho clínico. Modelos são treinados em bases estáticas, com baixa integração aos ambientes reais e escassa avaliação de impacto organizacional [Sutton et al. 2020, Shortliffe and Sepúlveda 2018]. Esse diagnóstico aplica-se também aos modelos de linguagem. Embora demonstrem capacidade promissora para extração e síntese de informação clínica, sua incorporação responsável depende de camadas adicionais de validação, rastreabilidade, governança e integração ao processo decisório humano [Kuziemy et al. 2019, Singhal et al. 2023]. Estratégias como geração aumentada por recuperação (*Retrieval-Augmented Generation*, RAG) sobre bases terminológicas e diretrizes locais ajudam a mitigar alucinações e ancorar respostas em conhecimento auditável. A confiabilidade no domínio médico é ampliada pelo ajuste fino (*fine tuning*) de modelos em conjuntos de dados clínicos em português brasileiro e pelo emprego de mecanismos de controle (*guardrails*), tais como a decodificação restrita e a verificação por ontologia, aumentando assim a confiabilidade. No âmbito do SUS, o aprendizado federado e a privacidade diferencial surgem como soluções estratégicas para o treinamento colaborativo de modelos, uma vez que evitam a centralização de dados sensíveis e atendem aos requisitos da LGPD [Brasil 2018].

Outra lacuna importante é a ausência de modelagem explícita da coordenação. Muitos sistemas pressupõem que a integração de dados, por si, produzirá melhor coordenação. Evidências indicam que essa suposição não se sustenta [Hedqvist et al. 2025, Douglas et al. 2025]. A coordenação exige a representação computacional de papéis, regras, prioridades, recursos, restrições temporais e mecanismos de escalonamento. Arquiteturas orientadas a eventos e sistemas multiagente permitem que serviços, profissionais e módulos computacionais atuem como entidades com estados, metas e protocolos

de interação em ambientes distribuídos [Wooldridge 2009]. Modelos cognitivos como BDI (*Belief-Desire-Intention*) fornecem bases formais para representar pontos de atenção, equipes de cuidado e centrais de regulação como agentes autônomos [Jennings 2001]. Protocolos padronizados de comunicação, como FIPA-ACL, garantem a interoperabilidade entre módulos heterogêneos. Avanços recentes endereçam essa heterogeneidade na prática: o PEAK-ACL implementa a especificação FIPA-ACL em Python e viabiliza a comunicação padronizada entre agentes desenvolvidos em *frameworks* distintos, como SPADE e JADE, eliminando a necessidade de pontes improvisadas entre plataformas [Bossa et al. 2026]. A integração com técnicas de argumentação computacional permite que conflitos entre prioridade clínica e disponibilidade organizacional sejam resolvidos de forma transparente, viabilizando a geração automática de justificativas, elemento essencial para inteligência artificial explicável (Explainable Artificial Intelligence, XAI) e para a *accountability* exigida em sistemas públicos.

Finalmente, observa-se um *déficit* de métricas adequadas para avaliar soluções digitais em saúde. Projetos reportam indicadores de adoção, satisfação ou desempenho técnico, mas raramente combinam essas métricas com medidas de equidade, latência decisória, continuidade do cuidado e auditabilidade [Douglas et al. 2025]. Enfrentar esse desafio exige deslocar a avaliação para esse plano mais abrangente.

6.5 Agenda de pesquisa associada ao desafio

A agenda de pesquisa pode ser organizada em cinco camadas interdependentes, refletindo a natureza sociotécnica da coordenação do cuidado em doenças crônicas. A primeira camada é a arquitetura e interoperabilidade, voltado ao desenvolvimento de uma infraestrutura baseada em eventos, APIs e modelos semânticos reutilizáveis. Questões centrais incluem a granularidade dos eventos, a sincronização entre fontes heterogêneas, o tratamento de dados ausentes e a integração incremental com sistemas legados [Gyrard and et al. 2025, Douglas et al. 2025]. Como ponto de entrada prioritário, destaca-se o eixo de arquitetura e interoperabilidade, condição necessária para que os demais avancem.

A segunda camada seria da inteligência artificial clinicamente útil. O objetivo não é maximizar métricas tradicionais, como acurácia ou F1-score, mas desenvolver modelos úteis para priorização, navegação e coordenação. Isso implica avaliar desempenho sob deslocamento de distribuição, explicabilidade local e global, robustez frente à documentação imperfeita e capacidade de operar sob supervisão humana [Sutton et al. 2020, Shortliffe and Sepúlveda 2018]. No caso de modelos de linguagem (LLM), a agenda inclui investigar limites de generalização, mecanismos de validação contínua e formas responsáveis de integração ao processo decisório clínico [Singhal et al. 2023].

A terceira camada é a da coordenação multiagente. Deve investigar como representar atores institucionais, filas, recursos e restrições em uma lógica distribuída, compatível em sistemas fragmentados. Entre as questões de pesquisa, destacam-se quais protocolos de comunicação são adequados à coordenação assistencial, como resolver conflitos entre prioridade clínica e disponibilidade organizacional e como registrar justificativas e responsabilidades quando recomendações emergem da interação entre múltiplos agentes [Wooldridge 2009].

A quarta camada seria da governança algorítmica e regulatória. A incorporação de inteligência artificial em saúde pública exige mecanismos regulatórios compatíveis com a LGPD e com exigências de segurança clínica. Esse eixo inclui a documentação de modelos, políticas de registro e auditoria, gestão de consentimento, salvaguardas para dados sensíveis e auditorias periódicas sobre desempenho e segurança [Douglas et al. 2025].

A quinta camada seria de avaliação de impacto. Avaliar se as soluções reduzem o tempo até intervenção, melhoram a visibilidade da trajetória, aumentam a qualidade da comunicação interprofissional, reduzem perdas no seguimento e atenuam desigualdades de acesso. Metodologicamente, isso abre espaço para estudos híbridos de efetividade e implementação, simulações computacionais, pilotos controlados e avaliações pragmáticas que podem incorporar avaliação emocional, conduzidas em serviços reais do SUS [Douglas et al. 2025].

6.6 Métricas de progresso e critérios de sucesso

A progressão do desafio deve ser acompanhada por métricas técnicas, organizacionais, assistenciais e éticas, capazes de refletir o avanço real em contextos de uso concreto. O objetivo é evitar a armadilha de medir apenas o desempenho algorítmico ou a satisfação do usuário, sem considerar impactos sistêmicos [Douglas et al. 2025]. As dimensões técnica e semântica avaliam se a arquitetura suporta a coordenação baseada em eventos, com indicadores como cobertura de interoperabilidade, latência de atualização e qualidade da extração de informação [Gyrard and et al. 2025, Singhal et al. 2023]. As dimensões organizacional e assistencial refletem o impacto da solução sobre a rotina dos serviços e a continuidade do cuidado, incluindo o tempo entre marcos da trajetória e a proporção de desvios manejados adequadamente [Hedqvist et al. 2025]. A dimensão ética e regulatória aborda auditabilidade, conformidade de acesso, transparência das recomendações e estabilidade de desempenho entre subgrupos populacionais. A Tabela 1.1 sintetiza exemplos representativos para cada dimensão.

Tabela 1.1. Dimensões e exemplos de métricas para acompanhamento do desafio.

Dimensão	Exemplos de métricas
Técnica	Cobertura de interoperabilidade semântica; proporção de eventos capturados automaticamente; latência de atualização; desempenho de modelos de predição e extração; estabilidade sob <i>drift</i> .
Organizacional	Tempo de coordenação por caso; redução do retrabalho; número de interações interprofissionais mediadas pela plataforma; completude da trilha de decisão.
Assistencial	Tempo entre marcos da trajetória assistencial; taxa de encaminhamento oportuno para intervenções e reabilitação; continuidade do cuidado; proporção de desvios de fluxo identificados e manejados adequadamente.
Ética e governança	Conformidade de acesso; completude dos <i>logs</i> ; estabilidade de desempenho entre subgrupos populacionais; auditabilidade das recomendações; incidência de alertas injustificados ou não explicáveis.

6.7 Impacto potencial para o cuidado e para o SUS

Como grande desafio para a Computação Aplicada à Saúde, o impacto esperado é duplo. No plano científico, o desafio induz convergência entre áreas que evoluem de forma paralela, como interoperabilidade, web semântica, ciência de dados, inteligência artificial, sistemas distribuídos, segurança da informação e interação humano-computador. Essa integração é relevante em saúde, onde soluções tecnicamente sofisticadas tendem a fracassar quando desconsideram o contexto organizacional, regulatório e humano em que se inserem [Shortliffe and Sepúlveda 2018, Hedqvist et al. 2025].

No plano do sistema de saúde, a proposta amplia a capacidade de identificar pacientes em risco de atraso ou descontinuidade do cuidado, melhora a coordenação entre níveis assistenciais e cria mecanismos transparentes de priorização. Ao estruturar a navegação como processo computável, o desafio oferece um arcabouço reutilizável para outras linhas de cuidado, abrangendo condições crônicas e doenças raras [Douglas et al. 2025]. Há ainda impacto em política pública. Ao transformar a navegação em objeto observável, com métricas e rastreabilidade, abre-se espaço para gestão orientada por evidências e para avaliações precisas de desigualdades territoriais. Em sistemas universais como o SUS, eficiência, equidade e *accountability* precisam ser tratadas de forma integrada, e não como objetivos concorrentes.

6.8 Considerações finais

A navegação e a coordenação do cuidado em condições crônicas no SUS configuram um problema de elevada relevância social e alta complexidade computacional. A formulação aqui proposta desloca o foco de soluções isoladas para um desafio de arquitetura, representação, inferência, governança e interação. O gargalo contemporâneo não está na produção de mais dados ou no desenvolvimento de algoritmos sofisticados, mas na capacidade de torná-los operacionalmente integráveis, clinicamente úteis e eticamente sustentáveis ao longo de trajetórias reais [Hedqvist et al. 2025, Douglas et al. 2025]. Enfrentar esse desafio exigirá colaboração interdisciplinar entre Computação, Saúde Coletiva, áreas clínicas, gestão em saúde e direito digital. O ganho potencial justifica o esforço: a formulação proposta pode redefinir o papel da Computação Aplicada à Saúde, contribuindo para a sustentabilidade e a equidade do sistema como um todo.

Referências

- [Al Khatib et al. 2024] Al Khatib, H. S., Neupane, S., Kumar Manchukonda, H., Gollarz, N. A., Mittal, S., Amirlatifi, A., and Rahimi, S. (2024). Patient-centric knowledge graphs: a survey of current methods, challenges, and applications. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7:1388479.
- [Barbosa and Gottschalg-Duque 2026] Barbosa, J. M. L. and Gottschalg-Duque, C. (2026). Um modelo de arquitetura da informação para otimização do fluxo informacional no suporte ao usuário das plataformas sus digital e rede nacional de dados em saúde (rnds). *Encontros Bibli*, 31:e105200.
- [Bossa et al. 2026] Bossa, S., Ribeiro, B., Santos, G., Gomes, L., and Vale, Z. (2026). Peak-acl: A fipa-compliant agent communication package for python-based multi-

- agent systems. *SoftwareX*, 34:102647.
- [Brasil 2018] Brasil (2018). Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Diário Oficial da União, Brasília.
- [Čyras et al. 2021] Čyras, K., Rago, A., Albini, E., Baroni, P., and Toni, F. (2021). Argumentative XAI: A survey. *Proceedings of the 30th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 4392–4399.
- [de Mello et al. 2022] de Mello, B. H., Rigo, S. J., da Costa, C. A., Righi, R. d. R., Donida, B., Bez, M. R., and Schunke, L. C. (2022). Semantic interoperability in health records standards: a systematic literature review. *Health and Technology*, 12(2):255–272.
- [Douglas et al. 2025] Douglas, A. O., Senkaiahliyan, S., Bulstra, C. A., Mita, C., Reddy, C. L., and Atun, R. (2025). Global adoption of value-based health care initiatives within health systems: a scoping review. In *JAMA Health Forum*, volume 6, pages e250746–e250746. American Medical Association.
- [Gyrard and et al. 2025] Gyrard, A. and et al. (2025). Lessons learned from european health data projects with cancer use cases: Implementation of health standards and internet of things semantic interoperability. *J Med Internet Res*, 27:e66273.
- [Hedqvist et al. 2025] Hedqvist, A.-T., Praetorius, G., Ekstedt, M., and Lindberg, C. (2025). Entangled in complexity: An ethnographic study of organizational adaptability and safe care transitions for patients with complex care needs. *Journal of Advanced Nursing*, 81(9):5528–5545.
- [HL7 International 2023] HL7 International (2023). *FHIR Release 5: Fast Healthcare Interoperability Resources*. Health Level Seven International, Ann Arbor, MI. Disponível em: <http://hl7.org/fhir/R5/>.
- [Ito et al. 2023] Ito, M., Carvalho, D. R., and Moro, C. (2023). Mineração de processos no apoio à saúde: Perspectiva clínica e de gestão. *Computação Brasil*, (49):25–28.
- [Jennings 2001] Jennings, N. R. (2001). An agent-based approach for building complex software systems. *Communications of the ACM*, 44(4):35–41.
- [Kokorelias et al. 2021] Kokorelias, K. M., Shiers-Hanley, J. E., Rios, J., Knoepfli, A., and Hitzig, S. L. (2021). Factors influencing the implementation of patient navigation programs for adults with complex needs: a scoping review of the literature. *Health Services Insights*, 14:11786329211033267.
- [Kuziemytsky et al. 2019] Kuziemytsky, C., Maeder, A. J., John, O., Gogia, S. B., Basu, A., Meher, S., and Ito, M. (2019). Role of artificial intelligence within the telehealth domain. *Yearbook of medical informatics*, 28(01):035–040.
- [Li et al. 2025] Li, K., Lohachab, A., Dumontier, M., and Urovi, V. (2025). Privacy preservation in blockchain-based healthcare data sharing: A systematic review. *Peer-to-Peer Networking and Applications*.

- [Lima 2025] Lima, R. A. G. (2025). Uma arquitetura distribuída de gerenciamento de dados em saúde inteligente baseada em interoperabilidade e auditoria.
- [Maida et al. 2025] Maida, E., Caruso, P., Bonavita, S., Abbadessa, G., Miele, G., Longo, M., Scappaticcio, L., Ruocco, E., Trojsi, F., Esposito, K., et al. (2025). Digital health in diabetes care: A narrative review from monitoring to the management of systemic and neurologic complications. *Journal of Clinical Medicine*, 14(12):4240.
- [Ministério da Saúde 2024] Ministério da Saúde (2024). *RNDS - Guia de Integração e Perfis FHIR*. Departamento de Informática do SUS (DATASUS) / Secretaria de Informação e Saúde Digital, Brasília, DF. Disponível em: <https://rnds-fhir.saude.gov.br/> e <https://rnds-guia.saude.gov.br/>.
- [Morales and Cazella 2023] Morales, A. S. and Cazella, S. C. (2023). Internet das coisas e ambientes inteligentes no contexto da saúde.
- [Morales et al. 2026] Morales, A. S., Reis, T. d. L., Panisson, A. R., Ourique, F., and Sene, I. G. (2026). Affective intelligent systems in healthcare: A systematic review. *Technologies*, 14(3).
- [Overeem et al. 2021] Overeem, M., Spoor, M., Jansen, S., and Brinkkemper, S. (2021). An empirical characterization of event sourced systems and their schema evolution—lessons from industry. *Journal of Systems and Software*, 178:110970.
- [Shortliffe and Sepúlveda 2018] Shortliffe, E. H. and Sepúlveda, M. J. (2018). Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *Jama*, 320(21):2199–2200.
- [Silva et al. 2021] Silva, D. S. M. d., Assumpção, D. d., Francisco, P. M. S. B., Yassuda, M. S., Neri, A. L., and Borim, F. S. A. (2021). Doenças crônicas não transmissíveis considerando determinantes sociodemográficos em coorte de idosos. *Revista brasileira de geriatria e gerontologia*, 25(5):e210204.
- [Singhal et al. 2023] Singhal, K., Azizi, S., Tu, T., Mahdavi, S. S., Wei, J., Chung, H. W., Scales, N., Tanwani, A., Cole-Lewis, H., Pfohl, S., et al. (2023). Large language models encode clinical knowledge. *Nature*, 620(7972):172–180.
- [Sutton et al. 2020] Sutton, R. T., Pincock, D., Baumgart, D. C., Sadowski, D. C., Fedorak, R. N., and Kroeker, K. I. (2020). An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success. *NPJ digital medicine*, 3(1):17.
- [Temporão et al. 2022] Temporão, J. G., Santini, L. A., Santos, A. T. C. d., Fernandes, F. M. B., and Zoss, W. P. (2022). Desafios atuais e futuros do uso da medicina de precisão no acesso ao diagnóstico e tratamento de câncer no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 38:e00006122.
- [Wooldridge 2009] Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, Chichester, 2 edition.

Sobre os Autores

Analúcia Schiaffino Morales: Doutora em Engenharia Elétrica e Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com pós-doutorado em Internet das Coisas aplicada à saúde (UFCSPA). É Professora Associada I da UFSC do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, e docente permanente no Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade (PPGES/UFSC). Áreas de interesse são sistemas inteligentes e afetivos aplicados à saúde, com ênfase em arquiteturas interoperáveis, monitoramento remoto e integração de dados para o suporte à decisão, possuindo atuação em projetos nacionais e internacionais. Membro do *Intelligent Systems Applied to Health* (CNPq), integrante da rede CIARS (FAPERGS). Informações adicionais: <http://lattes.cnpq.br/1734491043363752>; <https://orcid.org/0000-0003-0990-8886>

Luciana Bolan Frigo: Doutora em Ciência da Computação pela Université Toulouse 1 Capitole (co-tutela CAPES/COFECUB, 2007) e em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2007), com ênfase em Inteligência Artificial aplicada a Sistemas Tutores Inteligentes. É Professora Associada IV do Departamento de Engenharia do Conhecimento (EGC/CTC/UFSC) e docente colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento. Sua atuação em pesquisa está estruturada em dois eixos: Inteligência Artificial aplicada à Educação e Mulheres na Tecnologia. Integra a rede internacional Equality in Leadership for Latin American STEM (ELLAS), desenvolvendo cooperação científica fortalecendo parcerias internacionais e a articulação interdisciplinar de suas pesquisas. Possui experiência prévia no setor industrial, com atuação na Alcoa Alumínio S.A. e na Accenture, na área de gestão de projetos tecnológicos e atuando na interface universidade-empresa. Informações adicionais: <http://lattes.cnpq.br/6348215204947696>; <https://orcid.org/0000-0002-0156-2959>

Iwens Gervásio Sene Junior: Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB), Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Bacharel em Processamento de Dados pela UNITINS. É Professor Titular do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás (UFG), atuando na graduação e na pós-graduação. Seus interesses de pesquisa concentram-se em Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores, com ênfase em *middleware*, Internet das Coisas e computação ubíqua. Possui experiência em projetos de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico, frequentemente em parceria com empresas e instituições públicas. Atua no Pós Graduação em Computação da Universidade Federal de Jataí (PPGCC/UFJ). Em 2021, realizou estágio de pós-doutorado na *Lancaster University* (Reino Unido), ampliando sua atuação internacional. Atualmente coordenador de projetos do Centro de Excelência em Inteligência Artificial - CEIA/UFG. Informações adicionais: Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3693296350551971> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7605-0205>

Silvio Cesar Cazella: Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo realizado doutorado "sanduíche" na Universidade de Alberta no Canadá. Atualmente, atua como Professor Associado (Nível IV) na Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA). Professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Gestão em Saúde (PPGTIGSaúde/UFCSPA), do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Saúde (PPGCS/UFCSPA)

e permanente do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE/UFRGS). Professor Visitante da Université Toulouse - Jean Jaurès (2022). Coordenador do Grupo de Pesquisa do CNPQ -*Intelligent Systems Applied to Health*, membro do Centro de Inovação de Inteligência Artificial em Saúde (CIIA-Health)- <https://ciia-saude.dcc.ufmg.br/pesquisadores/>-, e Centro de Inteligência Artificial Aplicada a Saúde (CIARS)- <https://www.ufrgs.br/ciars/>, criado a partir do edital FAPERGS para formação de Redes Inovadoras de Tecnologias Estratégicas (RITEs). Informações adicionais: <http://lattes.cnpq.br/9173977294178020>; <https://orcid.org/0000-0003-2343-893X>

Márcia Ito: Médica (EPM/UNIFESP), tecnóloga em processamento de dados (FATEC-SP), PhD em engenharia elétrica (EPUSP). É pesquisadora no Programa de Mestrado Profissional em Sistemas Produtivos do CEETEPS (Centro Paula Souza) e professora em RJI da FATEC-SP. É editora chefe do Journal of Digital Health and Biomedical Informatics (JDHBI) da Comissão Especial de Computação Aplicada à Saúde da Sociedade Brasileira de Computação (CECAS/SBC). É *fellow* da *International Academy of Health Science Informatics* (IAHSI) desde 2020 e do *Working Group Telehealth da International Medical Informatics Association* (IMIA), desde 2017. Foi Coordenadora-Geral de Gestão da Informação Estratégica do Ministério da Saúde do Brasil de 2019-2020 e Pesquisadora da IBM Research Brasil de 2012 a 2018. Informações adicionais: <http://lattes.cnpq.br/4302456847507371>; <https://orcid.org/0000-0003-4799-2433>

Alison Roberto Panisson: Doutor em Ciência da Computação na área de Inteligência Computacional pelo programa de Pós-graduação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (2015-2019), com período sanduíche no King's College London (2017-2018). Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade de Passo Fundo (2009-2013). Pesquisador nas áreas de inteligência artificial, sistemas multi-agentes, semânticas formais, teoria da mente, e argumentação. O principal foco de pesquisa tem sido a integração de técnicas baseadas em argumentação e sistemas multi-agentes, incluindo o desenvolvimento de técnicas de Inteligência Artificial Explicável. Informações adicionais: <http://lattes.cnpq.br/8825252769988113>; <https://orcid.org/0000-0002-9438-5508>

Ione Jayce Ceola Schneider : Fisioterapeuta e pesquisadora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com mestrado em Saúde Pública, doutorado em Saúde Coletiva e pós-doutorados na UFSC e na *University College London*. Sua atuação concentra-se em epidemiologia, envelhecimento, oncologia e reabilitação, com experiência em estudos longitudinais e análise de bases populacionais de grande porte, incluindo colaborações com o ELSA e o ELSI-Brasil. É professora dos Programas de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação e em Saúde Coletiva da UFSC e coordena o Laboratório de Pesquisa em Epidemiologia. Desenvolve pesquisas na interface entre saúde, dados, organização do cuidado e inovação, com interesse em desafios complexos relacionados à atenção em saúde e ao uso de tecnologias para apoiar decisões, fluxos assistenciais e políticas públicas. É revisora de periódicos nacionais e internacionais e foi contemplada com o Prêmio Mulheres da Ciência UFSC 2021. Informações adicionais: <http://lattes.cnpq.br/9052705956321839>; <https://orcid.org/0000-0001-6339-7832>