

Gêmeos Digitais Humanos para Personalização do Treinamento de Profissionais da Saúde: Uma Proposta Baseada em Evidências Organizacionais

Rosemary Francisco¹, Wagner Dorneles da Silva¹, Jorge Luis Victória Barbosa¹, Danielly de Paula²

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Brasil

²Hasso Plattner Institute, Universidade de Potsdam, Alemanha

{rosemaryf, jbarbosa}@unisinos.br, danielly.depaula@hpi.de

Abstract. *The training of healthcare professionals faces challenges such as lack of personalization. This study proposes a Human Digital Twin (HDT) model structured into two dimensions: individual and professional relationships, enabling continuous learning personalization. The model, developed based on a case study, integrates a data pipeline to capture organizational, physiological, and performance-related information, adapting recommendations to the professional's profile. A scenario-based evaluation highlights the HDT's potential to optimize training and support professional development throughout the career. This proposal extends HDTs to the context of healthcare training.*

Resumo. *A capacitação de profissionais da saúde enfrenta desafios como a falta de personalização. Este estudo propõe um modelo de Gêmeo Digital Humano (GDH) estruturado em duas dimensões: indivíduo e relações profissionais, permitindo a personalização contínua do aprendizado. O modelo, construído com base em um estudo de caso, integra um pipeline de dados para capturar informações organizacionais, fisiológicas e de desempenho, adaptando recomendações ao perfil do profissional. Uma avaliação baseada em simulações de cenários evidencia o potencial do GDH para otimizar treinamentos e viabilizar o acompanhamento profissional ao longo da carreira. A proposta estende os GDHs para o contexto da capacitação em saúde.*

1. Introdução

O setor da saúde enfrenta desafios crescentes, impulsionados pelo envelhecimento populacional¹, pelo aumento das doenças crônicas² e pela escassez de profissionais qualificados³. Esses fatores comprometem a capacidade dos sistemas de saúde de oferecer um atendimento seguro e eficiente, tornando indispensável o investimento em capacitação e retenção de talentos [European Commission, 2023a,b].

A pandemia de COVID-19 amplificou essas fragilidades, evidenciando a necessidade urgente de soluções inovadoras para treinamento e desenvolvimento profissional

¹Artigo disponível em Forbes Tech Council. Acesso em: 9 de maio de 2025.

²Informações disponíveis em Organização Mundial da Saúde (OMS). Acesso em: 9 de maio de 2025.

³Dados disponíveis em Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Acesso em: 9 de maio de 2025.

contínuo [OECD, 2023]. No entanto, os métodos tradicionais de capacitação frequentemente não acompanham a evolução tecnológica nem respondem à complexidade crescente dos cuidados modernos, que exigem não apenas competências técnicas avançadas, mas também habilidades de comunicação e colaboração interdisciplinar [Bruynseels et al., 2018; Lim et al., 2024]. Diante desse cenário, a inovação na educação em saúde torna-se essencial para preparar os profissionais para os desafios emergentes [European Commission, 2023b].

Nesse contexto, tecnologias emergentes, como os Gêmeos Digitais Humanos (GDHs), apresentam-se como soluções promissoras para transformar o treinamento na área da saúde. Os GDHs são modelos virtuais personalizados, que refletem características fisiológicas, comportamentais e profissionais dos indivíduos, permitindo simulações realistas, aprendizado adaptativo e *feedback* contínuo [Wang et al., 2024]. A adoção dessa tecnologia pode aprimorar o treinamento ao proporcionar experiências personalizadas e interativas. Por exemplo, GDHs podem monitorar dados fisiológicos do profissional em tempo real, sugerindo treinamentos adaptativos baseados em fadiga e desempenho clínico. Além disso, podem oferecer simulações realistas de procedimentos médicos críticos, permitindo que profissionais pratiquem em um ambiente seguro antes de atuarem em pacientes reais [Azevedo et al., 2024].

Apesar do potencial transformador dos GDHs, ainda há lacunas na literatura e na prática sobre sua aplicação efetiva no treinamento de profissionais da saúde. Faltam diretrizes estruturadas para modelar Sistemas de Informação (SI) que personalizem o aprendizado e integrem dados organizacionais, fisiológicos e de desempenho profissional. Estudos recentes destacam a necessidade de frameworks que viabilizem a implementação de GDHs para humanos, garantindo uma modelagem confiável e alinhada às demandas práticas da área da saúde [Gaffinet et al., 2025]. Para preencher essa lacuna, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: *Como modelar um Gêmeo Digital Humano (GDH) para personalizar o treinamento de profissionais da saúde e integrar aprendizado adaptativo?*

Para responder à pergunta de pesquisa, este estudo realizou um estudo de caso em uma grande instituição hospitalar brasileira, resultando na modelagem de um GDH fundamentado em evidências organizacionais. O modelo foi avaliado preliminarmente por meio de cenários simulados, demonstrando seu potencial para personalizar o aprendizado e aumentar o engajamento. Diferentemente de abordagens anteriores que focam em suporte clínico [Azevedo et al., 2024] ou em modelos conceituais [Gaffinet et al., 2025], este estudo propõe a aplicação prática dos GDHs à personalização do treinamento contínuo, com base em dados reais de contexto hospitalar, contribuindo para a pesquisa em sistemas de informação aplicados ao treinamento de profissionais de saúde, ao identificar oportunidades para a implementação de GDHs e ampliar a personalização na capacitação profissional.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 discute o papel dos GDHs no treinamento de profissionais da saúde, destacando avanços recentes e aplicações potenciais. A Seção 3 apresenta a metodologia adotada no estudo, enquanto que a Seção 4 apresenta a modelagem do GDH, a estrutura de dados e a avaliação baseada em cenários. Por fim, a Seção 5 discute os achados do estudo, suas implicações e direções futuras da pesquisa.

2. Aprimorando o Treinamento de Profissionais da Saúde com Gêmeos Digitais Humanos

Os Gêmeos Digitais Humanos (GDHs) são uma aplicação especializada de *Digital Twins* (DTs), projetada para modelar indivíduos e suas interações com o ambiente. De acordo com National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [2024], um *Digital Twin* (DT) é definido como “um conjunto de construções virtuais de informação que mimetizam a estrutura, contexto e comportamento de qualquer sistema natural, engenheirado ou social”, destacando sua capacidade preditiva e interação bidirecional. No setor da saúde, DTs têm sido amplamente utilizados para otimizar processos hospitalares e personalizar tratamentos [Azevedo et al., 2024; Pellegrino et al., 2024], porém, sua aplicação no desenvolvimento profissional ainda é uma área emergente.

Enquanto os métodos tradicionais de aprendizado são fixos, os GDHs integram dados multimodais (organizacionais, biométricos e de desempenho profissional) para fornecer *feedback* adaptativo em tempo real [van der Valk et al., 2022], otimizando a capacitação contínua dos profissionais. Esses sistemas emergentes vêm ganhando destaque na pesquisa em Sistemas de Informação [Muschkiet et al., 2022] e diferem de outras abordagens digitais. Em termos de modelagem, um *Digital Model* representa um objeto físico de maneira estática, sem comunicação contínua, enquanto um *Digital Shadow* apenas reflete alterações no objeto real, sem interação direta. Já um *Digital Twin*, base conceitual dos GDHs, estabelece uma relação **bidirecional e contínua**, possibilitando monitoramento, simulações e recomendações personalizadas [Gaffinet et al., 2025].

No contexto do treinamento profissional, os GDHs não apenas representam digitalmente o profissional da saúde, mas também se adaptam dinamicamente, antecipando lacunas de aprendizado e fornecendo suporte contínuo. Além disso, podem atuar como suporte à tomada de decisão clínica, auxiliando na recomendação de conteúdos e práticas baseadas em dados [Azevedo et al., 2024]. Essa capacidade é especialmente relevante em ambientes de alta carga de trabalho, onde informações precisas impactam diretamente a qualidade do atendimento.

Ao integrar atributos físicos, cognitivos e comportamentais [Toshima et al., 2020], os GDHs promovem capacitação personalizada e responsiva. Sua capacidade de integração com interfaces humano-máquina permite a coleta e análise contínua de comportamentos, viabilizando um aprendizado mais interativo e contextualizado [Shangguan et al., 2022]. Estudos demonstram que os GDHs aprimoram a tomada de decisão e facilitam o aprendizado por meio de *feedback* dinâmico [Toshima et al., 2020]. Além disso, seu impacto no aprendizado organizacional tem sido evidenciado por pesquisas que apontam a eficácia de simulações realistas e ajustes contínuos ao longo da jornada profissional [Berisha-Gawlowski et al., 2021].

A modelagem do GDH pode ser estruturada em duas dimensões principais: **Indivíduo e Relações Interpessoais e Colaborativas**. A dimensão individual abrange modelos que descrevem habilidades e competências [Toshima et al., 2020; Naudet et al., 2023], necessidades de autoatualização [Wang et al., 2024], comportamento e engajamento [Toshima et al., 2020; Wang et al., 2024], ambiente de trabalho [Naudet et al., 2023; Toshima et al., 2020] e fatores fisiológicos e psicológicos [Naudet et al., 2023; Wang et al., 2024]. Já a dimensão das relações interpessoais considera interações no ambiente de trabalho, incluindo o Modelo Social, que representa conexões entre colegas e

supervisores [Naudet et al., 2023; Toshima et al., 2020], e o Modelo de Colaboração, que foca no aprendizado coletivo e desenvolvimento de práticas colaborativas [Wang et al., 2024].

Essas dimensões estruturam o GDH como uma ferramenta essencial para personalização do treinamento na saúde, diferenciando-se dos modelos tradicionais ao promover aprendizado dinâmico, responsivo e baseado em dados reais.

3. Metodologia

Este estudo adota um estudo de caso interpretativo [Walsham, 2006] para investigar os desafios da capacitação profissional na área da saúde e avaliar a viabilidade da implementação de GDHs. Ao longo de oito meses, 12 entrevistas foram realizadas com gestores de uma grande instituição hospitalar brasileira⁴. As entrevistas, conduzidas remotamente via Microsoft Teams, tiveram uma duração média de 40 minutos e foram transcritas integralmente para análise. A técnica de análise temática [Gioia et al., 2013] foi aplicada para identificar padrões nos relatos dos entrevistados, gerando evidências organizacionais que destacam desafios na personalização do treinamento e oportunidades para a implementação do GDH (ver Tabela 1). Com base nesses achados, foi proposta a modelagem do GDH como uma abordagem interdisciplinar, que estende as contribuições dos trabalhos de Azevedo et al. [2024] e Gaffinet et al. [2025]. O GDH combina dados organizacionais, biométricos e de desempenho profissional para fornecer recomendações personalizadas e adaptativas.

Para demonstrar sua aplicação prática, utilizamos a persona **Carolina Silva**, uma enfermeira com 10 anos de experiência em cuidados intensivos (ver Figura 1). A avaliação foi conduzida por meio de **simulação de cenários**, técnica amplamente utilizada na área da saúde [INACSL Standards Committee et al., 2021], assegurando que os casos modelados sejam realistas e representem desafios concretos enfrentados pelos profissionais. Esses cenários foram estruturados a partir das evidências organizacionais coletadas, garantindo que refletem situações práticas do cotidiano hospitalar.

O modelo de GDH é estruturado em duas dimensões principais: **Indivíduo** e **Relações Interpessoais e Colaborativas**. A primeira abrange habilidades, comportamento, necessidades de aprendizado e aspectos fisiológicos, enquanto a segunda modela interações profissionais e colaboração em equipe. Essa estrutura possibilita um treinamento dinâmico, personalizado e integrado ao ambiente de trabalho, diferenciando-se de abordagens tradicionais e promovendo um aprendizado contínuo e responsivo às necessidades do profissional.

4. Proposta de Gêmeo Digital Humano (GDH) para Auxílio no Treinamento de Profissionais da Saúde

Com base nas entrevistas, identificamos os principais desafios enfrentados pelos profissionais da saúde e as oportunidades para aprimorar a capacitação. A partir dessas evidências, desenvolvemos a modelagem do GDH e estruturamos os dados necessários

⁴A pesquisa foi conduzida com base em convênio institucional com o hospital parceiro, respeitando a Resolução CNS nº 510/2016. Os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo e consentiram voluntariamente.

para sua implementação. Em seguida, realizamos uma avaliação preliminar do modelo por meio de cenários simulados. Esta seção apresenta os resultados de cada etapa, detalhando os desafios identificados, a modelagem proposta e a avaliação do GDH no contexto de uma grande instituição hospitalar.

4.1. Evidências Organizacionais e Necessidade de Treinamento Personalizado

A análise das entrevistas revelou quatro desafios principais e cinco áreas de oportunidade que os profissionais de saúde consideram essenciais para aprimorar a capacitação na área. A Tabela 1 apresenta um resumo estruturado desses desafios e oportunidades, que são detalhados a seguir.

Tabela 1. Desafios e oportunidades para capacitação de profissionais da saúde

Tipo	Temática	Descrição
Desafio	Falta de personalização	Treinamentos padronizados não consideram as necessidades individuais dos profissionais ou das unidades hospitalares.
Desafio	Baixa adesão	Métodos tradicionais de ensino não engajam os profissionais, especialmente as novas gerações.
Desafio	Dificuldade na aplicação prática	Treinamentos muitas vezes não incluem simulações ou práticas que permitam a transposição do aprendizado para a realidade do trabalho.
Desafio	Falta de tempo	Alta carga de trabalho dificulta a participação em treinamentos extensos.
Oportunidade	Treinamento no local de trabalho	Capacitações diretamente no ambiente hospitalar tornam o aprendizado mais contextualizado e aplicável.
Oportunidade	Simulações e cenários imersivos	Uso de treinamentos práticos para desenvolver habilidades antes da aplicação real em pacientes.
Oportunidade	Pilulas de aprendizado	Pequenos treinamentos contínuos, que se encaixam melhor na rotina dos profissionais.
Oportunidade	Gamificação e incentivos	Estratégias para engajar melhor os profissionais, utilizando recompensas e desafios interativos.
Oportunidade	Integração de novas tecnologias	Uso de inteligência artificial e realidade aumentada para criar treinamentos mais dinâmicos e eficazes.

A **falta de personalização nos treinamentos** foi um dos desafios mais mencionados pelos entrevistados. Profissionais destacaram que cada colaborador possui necessidades específicas de capacitação, influenciadas por sua experiência prévia e pelo setor em que atua. Além disso, cada unidade hospitalar opera com dinâmicas e exigências próprias, tornando ineficaz a adoção de um treinamento único e padronizado. Como afirmou um dos entrevistados, “*Hoje fazemos algo comum a todos, mas sabemos que isso não funciona. Precisamos personalizar mais.*”. Outro desafio crítico é a **baixa adesão aos treinamentos**, mesmo com esforços de divulgação. Métodos tradicionais, como aulas expositivas e apresentações em PowerPoint, são frequentemente percebidos como monótonos e pouco eficazes, resultando em um engajamento reduzido. Esse problema é ainda mais evidente entre as novas gerações, que buscam formatos mais dinâmicos e interativos. Como pontuou um entrevistado, “*Sabe aquele treinamento que eu dava com PowerPoint? Hoje as pessoas estão muito mais críticas.*”.

Além do baixo engajamento, os entrevistados também ressaltaram a **dificuldade na aplicação prática do conhecimento adquirido**. Muitos treinamentos carecem de oportunidades para simulações realistas e *feedback* imediato, dificultando a transferência do aprendizado para a prática profissional. Essa lacuna compromete tanto a segurança quanto a qualidade do atendimento, como apontado por um entrevistado: “*A gente está muito atrás no treinamento de habilidades, como um acesso central ou intubação difícil.*”. Outra barreira significativa mencionada foi a **falta de tempo para a capacitação**. Profissionais de saúde lidam com cargas de trabalho elevadas, tornando desafiador encaixar

treinamentos extensos em suas rotinas. Mesmo com esforços institucionais para promover a participação, a adesão permanece baixa devido à incompatibilidade com os horários de trabalho. Como destacou um entrevistado: “*A gente divulgou, mandou no WhatsApp, sinalizou no sistema, e mesmo assim não vão.*”.

Apesar desses desafios, as entrevistas também revelaram oportunidades para aprimorar a capacitação profissional. Uma das principais recomendações foi a realização de **treinamentos no local de trabalho**, para que o aprendizado ocorra no contexto real de atuação. Essa abordagem não apenas facilita a aplicação imediata do conhecimento, mas também reduz a lacuna entre teoria e prática. Como ressaltou um dos entrevistados: “*Esses treinamentos deveriam ser nos locais onde as pessoas estão.*”. Outra recomendação enfatizada foi o uso de **simulações e cenários imersivos**, permitindo que os profissionais pratiquem habilidades críticas antes de aplicá-las em pacientes reais. Essa abordagem é especialmente eficaz para procedimentos de alta complexidade, como intubação e manejo de emergências, garantindo maior segurança e precisão. Como destacou um entrevistado: “*Eu daria essa grande sugestão, cenários práticos feitos à beira do leito.*”.

Outro ponto recorrente foi a preferência por treinamentos mais curtos e contínuos, organizados no formato de “**pílulas de aprendizado**”, em vez de cursos longos e formais. Pequenas sessões de capacitação, incorporadas ao fluxo de trabalho, foram apontadas como mais eficazes na assimilação do conteúdo. Como ressaltou um entrevistado: “*Essas pílulas de treinamento são o que mais funciona, de preferência à beira do paciente.*”. Para aumentar o engajamento, os entrevistados também sugeriram a introdução de **gamificação e incentivos** no aprendizado, especialmente para atrair as novas gerações de profissionais. Como observou um dos participantes: “*Essa geração quer recompensas, eles estão dispostos a entrar e coletar frutinhas.*”. Por fim, as entrevistas indicaram que a **integração de novas tecnologias**, como inteligência artificial e realidade aumentada, pode tornar o aprendizado mais dinâmico e interativo, melhorando a retenção do conhecimento e o envolvimento dos profissionais, como destacado por outro profissional “*Tem muito espaço aqui para isso, usando tecnologia, inteligência artificial.*”.

Essas evidências reforçam a necessidade de um modelo de capacitação personalizado, adaptável e alinhado às demandas reais do ambiente de trabalho hospitalar. Diante desse cenário, o GDH surge como uma solução inovadora para personalizar o treinamento e atualizar as recomendações conforme a evolução dos profissionais. A seção a seguir apresenta essa abordagem, detalhando como o GDH pode transformar a capacitação na área da saúde.

4.2. Modelagem do Gêmeo Digital Humano para o profissional da saúde

O modelo de GDH para profissionais da saúde foi desenvolvido com base em referências da literatura e evidências organizacionais. O modelo foi estruturado em duas dimensões principais discutidas na Seção 2: o indivíduo e sua rede de relações profissionais [Toshima et al., 2020; Naudet et al., 2023; Wang et al., 2024]. Desta forma, o modelo considera tanto a individualidade do profissional quanto suas interações e conexões no ambiente de trabalho, garantindo uma visão holística da capacitação e do desenvolvimento contínuo.

Para demonstrar a aplicação prática desse conceito, desenvolvemos a persona Carolina Silva, uma enfermeira com 10 anos de experiência em cuidados intensivos. A modelagem do GDH de Carolina permite visualizar como os diferentes componentes teóricos

se traduzem em características individuais, competências, desafios e interações profissionais. Esse modelo integra múltiplos aspectos para estruturar um processo de capacitação contínua baseado em dados, tornando o treinamento mais personalizado e alinhado às necessidades do profissional. A Figura 1 ilustra essa relação, conectando a estrutura teórica do GDH à modelagem aplicada na persona, evidenciando como essa abordagem pode transformar a capacitação na área da saúde. À esquerda da Figura 1, estão os modelos teóricos que sustentam a modelagem do GDH. À direita, a aplicação do modelo na persona Carolina Silva, evidenciando como diferentes dimensões do GDH refletem suas características profissionais e necessidades de aprendizado.



Figura 1. Estrutura do GDH aplicada à persona Carolina Silva.

O modelo do indivíduo apresenta a trajetória profissional, habilidades, lacunas de aprendizado, comportamento de aprendizado e aspectos fisiológicos. No caso da persona Carolina, o modelo reflete sua experiência avançada na UTI, destacando seu alto nível de competência em monitoramento de pacientes críticos e administração de medicamentos intravenosos. No entanto, também identifica dificuldades no uso de novos sistemas hospitalares, recomendando treinamentos específicos para aprimorar sua interação com tecnologias digitais no ambiente clínico. Além disso, o modelo das relações interpessoais e colaborativas captura interações e colaborações da persona Carolina dentro do ambiente hospitalar, incluindo médicos, técnicos de enfermagem e fisioterapeutas. Esse aspecto é fundamental para entender como a colaboração influencia o aprendizado e a tomada de decisão [Azevedo et al., 2024], possibilitando a recomendação de treinamentos baseados nas trocas de conhecimento dentro da equipe.

Para viabilizar a aplicação prática do GDH, é fundamental definir quais dados devem ser coletados e utilizados na modelagem, garantindo que o GDH reflita com precisão as competências, necessidades e interações do profissional de saúde [Gaffinet et al., 2025]. A Tabela 2 apresenta os dados essenciais para modelar o indivíduo, incluindo informações sobre habilidades, engajamento no aprendizado, estado fisiológico e contexto de trabalho.

Já a Tabela 3 detalha os dados relacionados ao modelo de relações profissionais, capturando interações colaborativas no ambiente de trabalho, como trocas de conhecimento e *feedbacks* recebidos.

O modelo do GDH integra múltiplas fontes de dados para personalizar as recomendações de treinamento. Dados fisiológicos, coletados por dispositivos vestíveis, e registros institucionais permitem identificar padrões individuais e sugerir treinamentos específicos. Já as interações profissionais são capturadas por sistemas de gestão hospitalar e plataformas de e-learning, permitindo a avaliação contínua do impacto da colaboração na capacitação do indivíduo. Assim, o GDH possibilita um aprendizado adaptativo, responsável ao contexto organizacional e altamente alinhado às necessidades individuais dos profissionais de saúde.

Tabela 2. Dados Necessários para o Modelo do Indivíduo

Modelo	Exemplo	Fonte de Dados
Habilidades e Competências	Certificações, histórico acadêmico, especializações	Registros institucionais de treinamento (LMS), RH
Necessidades de Autoatualização	Lacunas de aprendizado, avaliações de desempenho	Avaliações periódicas, <i>feedback</i> de supervisores
Comportamental	Preferências de aprendizado, engajamento em treinamentos	Registros de participação em cursos, interações em LMS
Fisiológico e Psicológico	Frequência cardíaca, estresse percebido, fadiga	Smartwatches, wearables, aplicativos de saúde
Ambiente de Trabalho	Setor de atuação, carga horária, uso de tecnologias hospitalares	Registros institucionais, prontuários eletrônicos

Tabela 3. Dados Necessários para o Modelo de Relações Profissionais

Modelo	Exemplo	Fonte de Dados
Rede de Contatos	Médicos, enfermeiros, técnicos de enfermagem, fisioterapeutas, instrutores	Registros institucionais de área de trabalho
Colaboração	Participação em treinamentos coletivos, papéis na equipe, <i>feedback</i> de supervisores	Sistemas de gestão hospitalar, LMS, avaliações 360°

4.3. Pipeline de Dados para o Gêmeo Digital Humano do profissional da saúde

A modelagem do GDH exige uma estrutura de dados robusta, capaz de integrar múltiplas fontes e adaptar continuamente os treinamentos às necessidades individuais e institucionais. A Figura 2 ilustra o *pipeline* de dados do GDH, detalhando as cinco etapas principais do processo: coleta de dados, armazenamento e organização, análise e modelagem, geração de recomendações e ajuste contínuo.

A primeira etapa do pipeline envolve a captura de dados a partir de diferentes fontes, garantindo um perfil completo do profissional da saúde. Esses dados são coletados de forma contínua e enviados para o sistema central do GDH, permitindo uma visão dinâmica e atualizada do desempenho e das necessidades do profissional. No entanto, um dos desafios fundamentais apontados na literatura para a implementação de GDHs é a necessidade de medições automáticas e coleta de dados contínuos [Gaffinet et al., 2025]. Para que um GDH seja viável na prática, é essencial integrar múltiplas fontes de informação de maneira confiável e eficiente, assegurando a qualidade e a atualização constante dos dados. A coleta de dados pode ocorrer de duas formas complementares:

- **Coleta automática:** Dispositivos vestíveis, como smartwatches e sensores biométricos, fornecem dados contínuos sobre fadiga e estresse. Sistemas institucionais, como plataformas de gestão de aprendizado (*Learning Management*

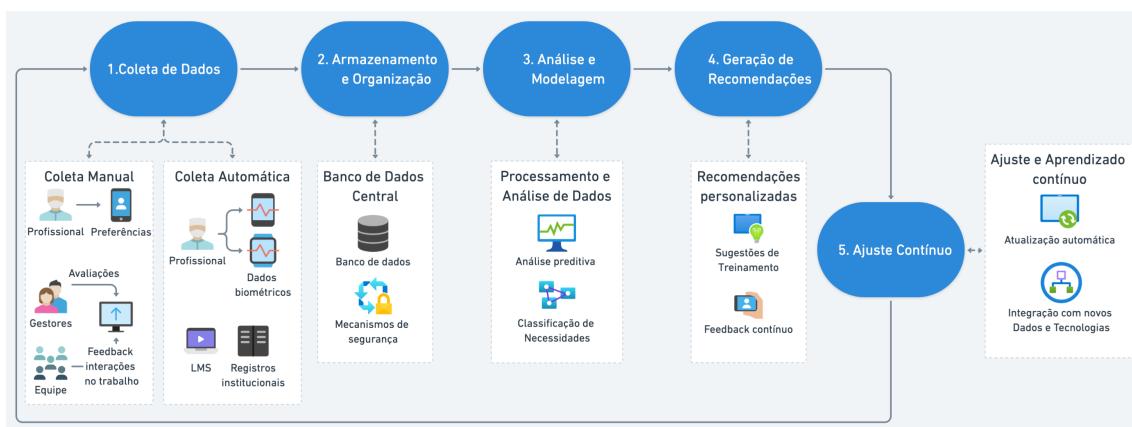


Figura 2. Pipeline de Dados do GDH: integração e processamento para personalização do treinamento.

Systems - LMS) e registros administrativos, podem identificar lacunas de conhecimento e recomendar módulos específicos de aprendizado.

- **Coleta manual:** Dados qualitativos fornecidos pelo próprio profissional ou por terceiros complementam a modelagem do GDH. Isso inclui *feedbacks* de supervisores, autoavaliações, registros de dificuldades enfrentadas no dia a dia, preferências de aprendizado e reflexões sobre suas experiências em treinamentos. Essas informações são essenciais para captar percepções subjetivas e necessidades específicas que podem não ser detectadas automaticamente pelos sensores.

Além da integração de diferentes fontes de dados, o GDH diferencia-se dos sistemas tradicionais de e-learning ao fornecer recomendações de aprendizado personalizadas. Enquanto modelos convencionais utilizam um currículo fixo e padronizado, o GDH aproveita os dados coletados continuamente para ajustar as trilhas de aprendizado. Esse processo torna o treinamento mais dinâmico e adaptado às demandas individuais de cada profissional. Por exemplo, se um GDH detectar altos níveis de estresse e fadiga durante um plantão, ele pode sugerir um curso breve sobre gestão do estresse antes do próximo turno. Da mesma forma, se um profissional relatar dificuldades com um novo protocolo, o sistema pode recomendar um treinamento específico para reforçar aquele conhecimento. Essa abordagem permite que o GDH evolua continuamente com base nas interações do profissional, garantindo que o aprendizado seja responsável ao contexto e personalizado de forma eficaz. Diferentemente dos modelos tradicionais, que muitas vezes não consideram a experiência prática e os desafios cotidianos do profissional de saúde, o GDH cria um ambiente de capacitação dinâmico e adaptável às necessidades individuais.

Uma vez coletados, os dados são armazenados em um **banco de dados central**, que age como um repositório unificado, permitindo a organização das informações para futuras análises. Essa segunda etapa também envolve um mecanismo de segurança de dados, garantindo a privacidade e conformidade com normas médicas e regulatórias. Os dados são organizados de maneira estruturada, categorizados por competências adquiridas, desempenho, fatores fisiológicos e interações no ambiente hospitalar. Essa organização facilita a análise preditiva e a personalização das recomendações de treinamento.

Na terceira etapa, os dados armazenados passam por processamento e análise utilizando inteligência artificial e algoritmos de aprendizado de máquina para identificar

padrões e gerar insights relevantes. A partir dessas análises, o GDH consegue adaptar o plano de aprendizado do profissional de forma personalizada, garantindo que os treinamentos recomendados sejam pertinentes e alinhados às necessidades reais do dia a dia hospitalar. Com base nos resultados da análise de dados, o GDH gera recomendações individualizadas para cada profissional da saúde. A última etapa do *pipeline* envolve o ajuste contínuo do GDH, garantindo que o sistema evolua conforme novos dados são coletados. Esse ciclo contínuo de aprendizado torna o GDH responsivo às mudanças no ambiente de trabalho e melhora a eficácia da capacitação profissional ao longo do tempo. A estrutura de dados do GDH viabiliza um modelo de capacitação personalizado, responsável e baseado em dados reais.

O *pipeline* apresentado permite a coleta, armazenamento, análise e personalização contínua do treinamento, garantindo que os profissionais da saúde recebam recomendações adaptadas às suas necessidades individuais e organizacionais. A próxima seção apresenta a avaliação do GDH por meio de cenários, demonstrando sua aplicação prática na otimização do treinamento de profissionais da saúde.

4.4. Avaliação por Cenários

Para demonstrar a aplicabilidade do GDH no suporte ao treinamento e desenvolvimento profissional, foram construídos dois cenários baseados em desafios reais identificados nas entrevistas com os especialistas da área da saúde. Esses cenários simulam situações do cotidiano hospitalar e ilustram como o GDH pode adaptar recomendações de aprendizado de maneira personalizada e dinâmica. A construção dos cenários seguiu diretrizes reconhecidas para simulação na área da saúde [INACSL Standards Committee et al., 2021], assegurando que representassem situações autênticas e alinhadas às necessidades reais dos profissionais. Além disso, os cenários foram fundamentados em evidências organizacionais coletadas durante as entrevistas, refletindo problemas concretos relatados pelos especialistas, como desafios no aprendizado em serviço e a necessidade de recomendações adaptativas.

Os dois cenários elaborados são aplicados à persona Carolina Silva, uma enfermeira intensivista, e ilustram o funcionamento do GDH em diferentes situações. No primeiro cenário, o GDH monitora sinais fisiológicos durante o expediente, detectando altos níveis de estresse e sugerindo intervenções para promover o bem-estar. No segundo, o sistema interage com Carolina ao final do plantão, identificando lacunas de aprendizado e recomendando treinamentos específicos. A Tabela 4 resume os cenários desenvolvidos, destacando como o GDH pode personalizar recomendações de aprendizado e integrar dados contínuos para otimizar a capacitação dos profissionais. Além disso, a capacidade do GDH de oferecer *feedback* automático, permite que os profissionais recebam recomendações personalizadas baseadas em aprendizado contínuo e na interação com o sistema, otimizando a eficácia dos treinamentos e sua aplicação na prática hospitalar.

5. Conclusão e Recomendações Futuras

Este estudo propôs a modelagem de um Gêmeo Digital Humano (GDH) para a personalização do treinamento de profissionais da saúde, integrando dados organizacionais, fisiológicos e interacionais. A análise de evidências organizacionais e a avaliação baseada em cenários demonstraram que o GDH pode fornecer recomendações adaptativas, otimizando a capacitação e promovendo maior engajamento. Como a literatura sobre

Tabela 4. Cenários de Avaliação do GDH

Cenário 1: Detecção de Estresse e Recomendação Personalizada	Cenário 2: Aprendizado Baseado na Rotina do Dia
Contexto: O GDH monitora o nível de estresse e fadiga de Carolina ao longo do dia e usa essas informações para oferecer um treinamento direcionado no momento adequado. Cena 1 - Plantão Intenso na UTI: Carolina está no meio do plantão e lida com vários pacientes críticos simultaneamente. O GDH coleta dados do smartwatch, detectando batimentos cardíacos elevados e baixa variabilidade da frequência cardíaca, indicando estresse e fadiga. Durante o expediente, o GDH registra essas informações, mas não interfere no momento, pois Carolina está ocupada. Cena 2 - Ao Chegar em Casa: Após um longo dia de trabalho, Carolina está em casa, descansando. Seu GDH exibe um <i>dashboard</i> do seu dia, destacando os momentos de maior estresse e fadiga. O sistema recomenda um vídeo curto sobre Gestão do Estresse , parte do módulo de <i>Bem-Estar</i> do curso Autoconhecimento , sugerindo que ela assista antes de dormir. Cena 3 - Reflexão e Ação: Carolina assiste ao vídeo e percebe pequenas mudanças que pode implementar no dia seguinte, como pausas curtas para respiração e mindfulness. O GDH registra que ela aceitou a recomendação e sugere um novo vídeo complementar para o final da semana, promovendo um aprendizado contínuo. Aplicação do GDH: O GDH adapta recomendações com base nos sinais fisiológicos, promovendo um aprendizado contínuo e personalizado.	Contexto: Ao final do expediente, o GDH inicia uma interação via smartwatch, perguntando se houve alguma situação no dia em que Carolina sentiu necessidade de aprender algo novo. Cena 1 - Fim do Plantão, Reflexão sobre o Dia: Carolina finaliza seu turno e está no vestiário do hospital, se preparando para ir para casa. O GDH envia uma notificação no smartwatch: “Carolina, houve algo no seu dia de hoje que você gostaria de aprender melhor?” Ela pode responder diretamente via comando de voz ou selecionando uma opção. Cena 2 - Escolha do Tema: Carolina lembra que teve dificuldade com um novo protocolo de intubação durante uma emergência. Ela responde ao GDH: “Gostaria de aprender mais sobre protocolos de intubação rápida na UTI.” Cena 3 - Recomendação Personalizada: Com base na resposta de Carolina, o GDH cruza essa necessidade com seu perfil, considerando: sua experiência prévia, treinamentos anteriores já concluídos e conteúdos disponíveis no sistema. O GDH recomenda um módulo de simulação de emergência com foco em intubação rápida . Além disso, sugere que Carolina faça o módulo antes do próximo plantão e oferece um resumo interativo no smartphone para consulta rápida. Aplicação do GDH: O GDH identifica lacunas no conhecimento e sugere treinamentos específicos para reforçar habilidades do profissional.

GDHs ainda carece de consenso sobre modelagem e aplicação, este trabalho contribui ao apresentar um framework estruturado para aprendizado adaptativo.

Apesar dos benefícios, a adoção do GDH envolve desafios técnicos e éticos, como segurança e privacidade dos dados, confiabilidade do modelo e aceitação social da tecnologia. Diretrizes claras para o uso responsável da tecnologia são essenciais para garantir transparência e aplicabilidade clínica. Como direções futuras, sugere-se a evolução do GDH para uma entidade persistente ao longo da carreira do profissional, ajustando recomendações conforme sua progressão de habilidades. Além disso, a incorporação de inteligência artificial avançada, como aprendizado profundo, pode aprimorar a modelagem do comportamento dos profissionais da saúde. A próxima etapa deste trabalho envolve a validação do modelo com profissionais reais, avaliando sua aceitação e eficácia no ambiente clínico.

Referências

- Azevedo, R., Amon, M. J., Anderson, M., Mondesire, S., Guido-Sanz, F., Sotilare, R., and Wiedbusch, M. (2024). Human digital twins in healthcare: Enhancing training and decision support. In *Advances in Digital Twin Technologies for Healthcare*, pages 123–145. Springer.
- Berisha-Gawlowski, A., Caruso, C., and Harteis, C. (2021). The Concept of a Digital Twin and Its Potential for Learning Organizations. In Ifenthaler, D., Hofhues, S., Egloffstein, M., and Helbig, C., editors, *Digital Transformation of Learning Organizations*, pages 95–114. Springer International Publishing.
- Bruynseels, K., de Sio, F. S., and van den Hoven, J. (2018). Digital Twins in health care: Ethical implications of an emerging engineering paradigm. *Frontiers in Genetics*, 9:31.

- European Commission (2023a). Hera civil society forum calls for enhanced healthcare professional training to prepare for future health threats.
- European Commission (2023b). HERA COVID-19 European Health Emergency Preparedness and Response Authority - Consolidated Strategic Framework: Working Group 3 - Healthcare Professionals' Training.
- Gaffinet, B., Ali, J. A. H., Naudet, Y., and Panetto, H. (2025). Human digital twins: A systematic literature review and concept disambiguation for industry 5.0. *Computers in Industry*, 166.
- Gioia, D. A., Corley, K. G., and Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the gioia methodology. *Organizational Research Methods*, 16(1):15–31.
- INACSL Standards Committee, Watts, P. I., McDermott, D. S., Alinier, G., Charnetski, M., and Nawathe, P. A. (2021). Healthcare simulation standards of best practice: Simulation design. *Clinical Simulation in Nursing*, 58:14–21.
- Lim, R., Alvarez, A., Cameron, B., and Gray, S. (2024). Breaking point: the hidden crisis of emergency physician burnout. *Canadian Journal of Emergency Medicine*.
- Muschkiet, M., Paschmann, J. W., , and Nissen, A. (2022). Towards human digital twins for improving customer experience. In *ICIS 2022*.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024). *Standards for Quality Nurse Practitioner Education: A Report of the National Task Force on Quality Nurse Practitioner Education*. National Organization of Nurse Practitioner Faculties (NONPF), 6th edition.
- Naudet, Y., Stahl, C., and Gallais, M. (2023). Preliminary Systemic Model of (Human) Digital Twin. In *ACM International Conference Proceeding Series*, pages 562–567. ACM.
- OECD (2023). *Ready for the Next Crisis? Investing in Health System Resilience*. OECD Publishing.
- Pellegrino, G., Gervasi, M., Angelelli, M., and Corallo, A. (2024). A conceptual framework for digital twin in healthcare: Evidence from a systematic meta-review. *Inf. Syst. Front.*
- Shangguan, D., Chen, L., Su, C., Ding, J., and Liu, C. (2022). A Triple Human-Digital Twin Architecture for Cyber-Physical Systems. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 131(3):1557–1578.
- Toshima, I., Kobashikawa, S., Noto, H., Kurahasji, T., Hirota, K., and Ozawa, S. (2020). Challenges facing human digital twin computing and its future prospects. *NTT Technical Review*, 18(9):19–24.
- van der Valk, H., Haße, H., Möller, F., and Otto, B. (2022). Archetypes of digital twins. *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 64(3):375–391.
- Walsham, G. (2006). Doing interpretive research. *European Journal of Information Systems*, 15(3):320–330.
- Wang, B., Zhou, H., Li, X., Yang, G., Zheng, P., Song, C., Yuan, Y., Wuest, T., Yang, H., and Wang, L. (2024). Human Digital Twin in the context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 85.