# Revisão Sistemática Sobre a Utilização e Aplicação de Redes 5G em Ambientes e Dispositivos IoT hospitalares

Diana Karoline da Silva Correia
*Departamento de Sistemas, Instituto Federal de Pernambuco*
dksc@discente.ifpe.edu.br

Anderson Queiroz
*Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco*
aalq@cin.ufpe.br

12 de setembro de 2025

**Resumo**

A transformação de hospitais tradicionais em sistemas inteligentes está sendo acelerada pela integração de tecnologias avançadas, como redes 5G e Internet das Coisas (IoT), que oferecem alta largura de banda (BW), baixa latência e conectividade confiável. Essas inovações permitem comunicação contínua entre dispositivos médicos, análise de dados em tempo real e monitoramento remoto de pacientes, otimizando diagnósticos, atendimentos e gestão hospitalar. Além do 5G e da IoT, outras tecnologias emergentes—como fatiamento de rede, blockchain, realidade aumentada, inteligência artificial (AI) e *edge computing*—destacam-se como soluções promissoras para aumentar a eficiência e a precisão dos serviços de saúde. No entanto, persistem desafios significativos, incluindo segurança da informação, interoperabilidade entre dispositivos, altos custos de implementação, falta de padronização de protocolos e acessibilidade em áreas remotas. Esta pesquisa sistematiza o conhecimento atual sobre hospitais inteligentes, explorando tendências, aplicações práticas e obstáculos técnicos, abordando questões críticas como privacidade de dados e escalabilidade. Além disso, identifica lacunas e oportunidades, direcionando futuras investigações para viabilizar ambientes hospitalares mais tecnológicos, seguros, escaláveis e acessíveis, reforçando o potencial transformador da digitalização na saúde.

**Abstract**

The transformation of traditional hospitals into smart systems is being accelerated by the integration of advanced technologies, such as 5G networks and the Internet of Things (IoT), which provide high bandwidth (BW), low latency, and reliable connectivity. These innovations enable continuous communication between medical devices, real-time data analysis, and remote patient monitoring, optimizing diagnostics, care delivery, and hospital management. Beyond 5G and IoT, other emerging technologies—such as network slicing, blockchain, augmented reality, artificial intelligence (AI), and edge computing—stand out as promising solutions to enhance the efficiency and precision of healthcare services. However, significant challenges remain, including data security, device interoperability, high implementation costs, lack of protocol standardization, and accessibility in remote areas. This research systematizes current knowledge on smart hospitals, exploring trends, practical applications, and technical obstacles while addressing critical issues such as data privacy and scalability. Additionally, it identifies gaps and opportunities, guiding future investigations to enable more technological, secure, scalable, and accessible hospital environments—reinforcing the transformative potential of digitalization in healthcare.

## 1. Introdução

Os avanços tecnológicos têm proporcionado aos profissionais de saúde ferramentas, sistemas e dispositivos inovadores que viabilizam diagnósticos mais precisos, tratamentos eficientes e uma gestão aprimorada de pacientes nos hospitais (Cooper, 2023). Em especial, destaca-se a tecnologia 5G, que oferece maior largura de banda, menores atrasos e perda de pacotes do que as tecnologias anteriores (Lloret et al., 2017), levando em consideração que alto acesso ao espectro, capacidade massiva, alto rendimento e baixo PAPR são requisitos fundamentais para hospitais inteligentes (Kumar et al., 2021). Além disso, temos a Internet das Coisas (IoT) que permite a integração de sistemas usando sensores, métodos de conexão, protocolos de internet, bancos de dados, computação em nuvem e análise de infraestruturas (Uslu et al., 2020). Os hospitais inteligentes, baseados na tecnologia de IoT, representam um novo modelo hospitalar eficiente que integra diagnóstico, tratamento, gestão e tomada de decisão (Yu et al., 2012).

A quinta geração de comunicação móvel (5G) é uma das tecnologias inovadoras que vem transformando a engenharia dos sistemas de comunicação (Kumar and Gupta, 2018). O termo 5G é utilizado em diversos artigos e projetos de pesquisa para designar a próxima etapa mais importante dos padrões de comunicação móvel, ultrapassando os padrões 4G LTE (*Long Term Evolution*) (Adebusola et al., 2020). A tecnologia possibilita cobrir uma área mais ampla e desempenha um papel significativo no avanço da inteligência global (Moore, 2020) oferecendo de forma eficiente novos tipos de tráfego e serviços de dados para aplicações em tempo real e com alta demanda como em ambientes hospitalares (Thompson et al., 2014) comparada as demais evoluções das redes sem fio (1G até a 4G), trazendo avanços significativos em capacidade, disponibilidade, latência e eficiência energética (Zhai et al., 2021) atendendo aos padrões do conceito WWWW(*World Wide Wireless Web*) (Adebusola et al., 2020).

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia promissora que tende a revolucionar e conectar o mundo por meio de dispositivos inteligentes heterogêneos, proporcionando uma conectividade contínua (Akpakwu et al., 2017). A Internet das Coisas é um tema de grande importância técnica, social e econômica. A IoT está em todos os lugares, ela transforma objetos físicos em um ecossistema de informação compartilhado entre dispositivos vestíveis, portáteis e até implantáveis, tornando a vida rica em tecnologia e dados (Ait Mouha et al., 2021). No setor da saúde, o conceito se altera para Internet das Coisas Médicas (IoMT) (El-Saleh et al., 2025). Essa tecnologia desempenha um papel fundamental para melhorar, modernizar e otimizar uma gama de aplicações, incluindo medicação inteligente, telemedicina, monitoramento, mudança comportamental de pacientes e conformidade com o tratamento (Ahad et al., 2019).

O IoMT permite que um sistema médico conecte vários dispositivos inteligentes, como sensores vestíveis, instrumentos de exame médico e ativos hospitalares, para estabelecer uma plataforma de informações. Esses dispositivos inteligentes atuam como os nós básicos em um sistema IoMT, coletando ou gerando dados de saúde e transmitindo os dados ao servidor para processamento e análise posteriores. Os médicos utilizam esses dados de saúde para tomar melhores decisões médicas (Huang et al., 2023). Por serem aplicações críticas, essas soluções baseadas em IoT demandam maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e baixa latência, garantindo uma experiência do usuário final sem falhas por meio de dispositivos inteligentes heterogêneos, proporcionando uma conectividade contínua (Akpakwu et al., 2017). Para que a implementação da IoT seja viável, é indispensável a integração de diversas tecnologias de telecomunicações que possibilitem a conectividade necessária (Akpakwu et al., 2017) como a 5G, que atende a todos esses requisitos (Zhai et al., 2021) viabilizando o funcionamento eficiente da IoT.

A saúde é uma das áreas prioritárias de desenvolvimento (Aceto et al., 2018). Com o desenvolvimento da tecnologia da informação, o conceito de saúde inteligente veio gradualmente ganhando seu espaço. A saúde inteligente usa uma geração de tecnologias da informação, como IoT, Internet móvel, computação em nuvem, *big data*, 5G, microeletrônica e inteligência artificial, juntamente com a biotecnologia moderna, para transformar de maneira completa o sistema médico, transformando os hospitais em inteligentes (Tian et al., 2019). A implementação de hos-

pitais inteligentes baseados na tecnologia da IoT e estruturados por meio de diversos sistemas de serviço, é um novo modelo hospitalar que integra as funções de diagnóstico, tratamento, gestão e tomada de decisão (Dhariwal and Mehta, 2017). O uso de novas tecnologias reduz os custos do tratamento e melhora a qualidade do processo de tratamento (Fradinho, 2011).

Dessa forma, os sistemas de serviços médicos são estruturados a partir da combinação de dispositivos 5G e IoT e espera-se que aumentem a cobertura, a eficácia e a taxa de transferência dos sistemas, conectados de forma ininterrupta por 24 horas por dia, 7 dias por semana, com vários dispositivos integrados aos sensores (Kumar et al., 2020), garantindo também a qualidade de serviço (QoS) aos usuários (Lloret et al., 2017). Uma gama diversificada de aplicações com IoT e 5G para hospitais inteligentes tem sido proposta na literatura (Ahad et al., 2019). Em (Chen et al., 2018) um sistema de saúde móvel usando IoT e 5G foi proposto para avaliação e monitoramento constante de pacientes com diabetes. Já em (Lloret et al., 2017), dispositivos vestíveis usando IoT foram enviados para oferecer suporte a aplicativos inteligentes de saúde. No entanto, apesar do crescente número de estudos e inovações na área da tecnologia 5G, IoT e hospitais inteligentes, ainda há a necessidade de consolidar o conhecimento científico existente sobre os reais benefícios, limitações, desafios e oportunidades que essa integração tecnológica proporciona(Sampaio and Mancini, 2007).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática com foco na utilização e aplicação de redes 5G e IoT em dispositivos e ambientes hospitalares, identificando através de 20 artigos, as principais tendências, desafios técnicos, aplicações práticas, privacidade de dados e lacunas de pesquisas para futuros estudos na área.

## 2. Fundamentação Teórica

Com a evolução surpreendente das tecnologias digitais, o setor da saúde vem passando por transformações significativas ao longo dos anos. Nesse contexto, é possível analisar a criação dos hospitais inteligentes que são ambientes hospitalares inovadores que integram sistemas avançados e soluções tecnológicas para aprimoramento de serviços médicos. A utilização da Internet das Coisas (IoT) e redes de comunicação 5G possibilitam que as instituições cumpram o objetivo de melhorar o atendimento e fluxo de pacientes, otimizar recursos e tornar processos e procedimentos clínicos mais eficientes.

### 2.1. Redes de Comunicação 5G

Com a evolução da sociedade conectada e a crescente utilização das redes sem fio, surgem inúmeros desafios dos sistemas de comunicação no intuito de conseguirem entregar tecnologias flexíveis de múltiplos níveis e recursos às diversas categorias de ambientes existentes. Foi a partir das redes no padrão 3G que a banda larga móvel se popularizou, permitindo que os usuários assistissem filmes, enviassem e-mails e participassem de mídias sociais. Com o 4G foram aprimorados recursos de largura de banda, tempo de resposta e segurança da informação, possibilitando a utilização de novos serviços e aplicações na rede. As redes de nova geração 5G, buscam atender as questões que vão além da melhoria do desempenho e segurança, ela visa a melhoria da disponibilidade de conexão, da capacidade de atendimento a diversos tipos de serviços e aplicações, integração de múltiplos dispositivos (IoT/IoV) e da possibilidade de segmentação da rede conforme objetivos do negócio ou parâmetros do ambiente (Mattisson, 2017).

O 5G representa a união e evolução de várias tecnologias de redes móveis de banda larga. Os objetivos específicos do 5G são: taxa de dados superior a 10 Gbps para as aplicações, latência de rede abaixo de 1 milissegundo, alta capacidade de expansão e ganhos de eficiência energética por um fator de 1000 por *bit* transportado (Mattisson, 2017). A Tabela 1 apresenta a evolução básica das tecnologias de rede sem fio móveis.

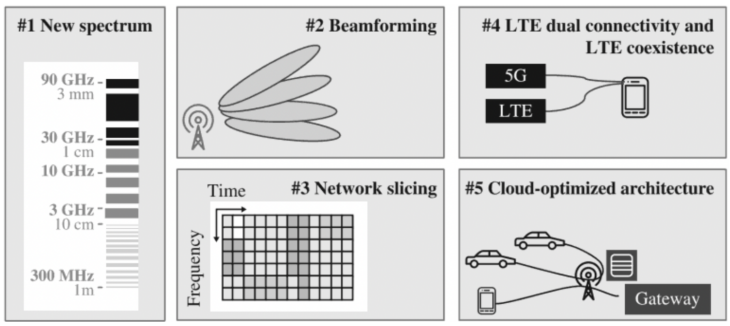
Tabela 1: Evolução das Redes Móveis.

| **Geração** | **Tecnologia de Acesso** | **Taxa de Dados** | **Banda de Frequência** | **Largura de Banda** | **Comutação** | **Aplicação** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1G | Serviço de telefonia móvel avançado (FDMA) | 2.4Kbps | 800MHz | 30KHz | Circuito | Voz |
| 2G | Sistema global para celular (GSM) (TDMA/CDMA) | 10Kbps | 800/900/ 1800/1900 MHz | 200KHz 1.25MHz | Circuito | Voz e Dados |
| 3G | Sistema Telecomunicação Móvel Universal (UMTS) (WCDMA) | 384Kbps | 800/900/ 1800/1900/ 2100MHz | 1.25MHz 5 MHz | Circuito e Pacote | Voz Dados Chamadas de Vídeo |
| 3.75G | Evolução a Longo Prazo (LTE)(OFDMA/SC-FDMA) Interoperabilidade mundial para acesso a micro-ondas (WIMAX) | 100-200 Mbps | 1.8 GHz 2.6 GHz 3.5 GHz 5.8 GHz | 1.4-20 MHz 3.5MHz 10MHz | Pacote | Voz Dados Jogos Vídeos |
| 4G | Evolução a Longo Prazo (LTE) (OFDMA/SC-FDMA) Interoperabilidade mundial para acesso a micro-ondas (WIMAX)(SOFMDA) | 3Gbps D.L 1.5Gbps U.L 100-200 Mbps | 1.8 GHz 2.6 GHz 2.3 GHz 2.5 GHz 3.5 GHz | 1.4-20 MHz 3.5MHz 5-7MHz 8.7MHz 10 MHz | Pacote | Voz Dados Jogos Vídeos de Alta Definição |
| 5G | Acesso múltiplo por divisão de faixa (BDMA) Acesso multiportadora não ortogonal ou de banco de filtros (FBMC - Filter Bank Multi-Carrier ) | 10-50 Gbps | 1.8 GHz 2.6 GHz esperado 30-300 GHz | 60 GHz | Pacote | Ultra Definição Realidade Virtual Aplicações Críticas |

Fonte: Adaptado - (Mattisson, 2017)

A nova geração 5G representa um imenso passo com relação às capacidades de recursos nas redes móveis. O objetivo principal da nova geração de comunicação móvel é elevar os atuais níveis de comunicação móvel sem fio ao extremo, isto em termos de taxas de dados, latência, capacidade e disponibilidade da rede (Holma et al., 2020).

Figura 1: Componentes Chave da Tecnologia 5G




Fonte: Elaborado por (Holma et al., 2020).

A Figura 1, apresenta os principais componentes da tecnologia 5G que serão detalhados a seguir:

1. Novo Espectro (*New spectrum)*: o 5G possui um desenho flexível da banda com variação de 400 MHZ até 90 GHZ englobando as faixas licenciadas, não licenciadas e compartilhadas;

2. Formação do Feixe (*Beamforming*): é uma técnica utilizada em ondas milimétricas que visa diminuir as interferências geradas por um conjunto de antenas e sinais de entrada e saída de determinada localização;

3. Fatiamento da Rede (*network slicing*): a possibilidade da segmentação física e lógica da rede 5G confere à rede flexibilidade para suportar diferentes casos de uso, frequências de banda, eficiência energética e espectral;

4. Coexistência de Tecnologias de Redes Móveis (Coexistence LTE): a viabilidade de conexão dupla com a coexistência das tecnologias 4G e 5G em conjunto facilita a implementação e utilização inicial oportunizando a migração para um sistema totalmente autônomo 5G/NR posteriormente;

5. Arquitetura otimizada para Nuvem (*Cloud-optimized architecture*): requisitos e compromissos dos diversos ambientes, serviços e aplicações nas redes 5G permitem que sejam realizados ajustes arquiteturais com objetivo de melhor atender as características e parâmetros de determinados processos da transmissão e comunicação;

### 2.2. IoT e IoMT

A Internet das Coisas (IoT) é uma revolução tecnológica na computação e nas comunicações (Domingo, 2012). O termo "Internet das Coisas"(IoT) foi cunhado por Kevin Ashton em uma apresentação para a Proctor & Gamble em 1999 (Ait Mouha et al., 2021). O termo retrata um mundo de dispositivos inteligentes em rede, onde tudo está interconectado (Domingo, 2012) e oferece novos aplicativos e serviços que unem o mundo físico e virtual, nos quais as comunicações *Machine-to-Machine* (M2M) representam a comunicação de linha de base que permitem as interações entre as Coisas e os aplicativos na nuvem (Ait Mouha et al., 2021). Objetos do cotidiano se transformam em objetos inteligentes capazes de sentir, interpretar e reagir ao ambiente graças à combinação da Internet e tecnologias emergentes (Domingo, 2012).

Com a grande evolução tecnológica da IoT, a área da saúde não ficou de fora desse movimento. Uma das inovações mais promissoras nesse cenário é a Internet das Coisas Médicas, ou simplesmente IoMT (do inglês *Internet of Medical Things*), que reúne dispositivos médicos conectados capazes de coletar, analisar e transmitir dados em tempo real. Esse avanço tem contribuído diretamente para melhorar a qualidade dos atendimentos, especialmente no monitoramento remoto de pacientes com doenças crônicas, como diabetes e hipertensão (Ghubaish, 2023); (Jayaraman, 2021). Em países como Estados Unidos e Alemanha, o uso da IoMT já é uma realidade consolidada, integrando tecnologias de IA e *big data* aos sistemas de saúde pública e privada (Zhao, 2022); (Ibrahim and Thanoun, 2024). Por outro lado, no Brasil, apesar de ainda existirem desafios como a desigualdade no acesso à internet e limitações de infraestrutura, iniciativas têm sido implementadas com resultados animadores, principalmente na atenção primária e em regiões remotas, como na Amazônia (Oliveira, 2022); (Silva, 2023). Essas tecnologias vêm sendo vistas como ferramentas fundamentais para ampliar o alcance do Sistema Único de Saúde (SUS), reduzir filas e democratizar o cuidado médico, algo especialmente importante em um país com dimensões continentais como o nosso.

Um ponto essencial para o funcionamento da IoMT está na comunicação entre os dispositivos. Para que tudo funcione de forma segura e eficiente, são usadas tecnologias como Wi-Fi, *Bluetooth Low Energy* (BLE), redes 4G/5G e até protocolos mais específicos, como o IEEE 802.15.6, voltado para redes corporais (Ahmad and Harjula, 2024). Esses canais precisam garantir que os dados transmitidos, muitas vezes informações delicadas de pacientes, cheguem com integridade e protegidos contra ataques cibernéticos, que têm se tornado cada vez mais frequentes (Dzamesi and Elsayed, 2025). Soluções como *blockchain* e criptografia de ponta a ponta vêm sendo estudadas e aplicadas para fortalecer a segurança desses sistemas (Zhao, 2022); (Ghubaish, 2023). Aqui no Brasil, a chegada da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) trouxe mais atenção para esse tema,

estabelecendo regras claras sobre o uso de dados sensíveis na saúde (Santos and Reis, 2021). Além de investimentos tecnológicos, é preciso também investir na formação de profissionais e na criação de normas específicas que garantam uma adoção responsável e segura da IoMT no contexto da saúde pública e privada (Oliveira, 2022); (Silva, 2023). Esse equilíbrio entre inovação, ética e acessibilidade é o que vai permitir que a IoMT transforme de fato a vida dos pacientes e dos profissionais de saúde no Brasil.

### 2.3. Hospitais Inteligentes

Com o avanço da Internet das Coisas Médicas (IoMT), uma nova geração de instituições de saúde começou a surgir: os chamados hospitais inteligentes. Esses ambientes hospitalares integram tecnologias digitais avançadas, como inteligência artificial, *big data*, sensores conectados e robótica, com o objetivo de otimizar processos, reduzir erros médicos e melhorar a experiência dos pacientes (Panch, 2021); (Singh, 2023). Em países como Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos, esses hospitais já adotam sistemas automatizados de triagem, monitoramento contínuo via dispositivos *wearables* e até leitos inteligentes que ajustam condições conforme as necessidades do paciente (Jayaraman, 2021); (Ghubaish, 2023).

Além disso, a análise em tempo real dos dados captados por dispositivos IoMT permite intervenções mais rápidas e decisões clínicas mais precisas (Zhao, 2022); (Ahmad and Harjula, 2024). Isso também contribui para o controle de infecções hospitalares, uma vez que sensores podem detectar alterações ambientais ou comportamentais que indiquem risco elevado, disparando alertas automáticos à equipe médica (Dzamesi and Elsayed, 2025). Essa nova forma de gestão hospitalar está mudando o paradigma da saúde global, promovendo ambientes mais seguros, eficientes e humanizados para todos.

No Brasil, embora ainda estejamos em fase de adaptação e investimentos, já é possível encontrar iniciativas de hospitais inteligentes em grandes centros urbanos. Instituições como o Hospital das Clínicas (SP) e o Hospital Israelita Albert Einstein vêm adotando soluções baseadas em IoMT para realizar o monitoramento remoto de pacientes, rastreamento de equipamentos em tempo real e até automação de processos administrativos, como controle de estoque e gestão de leitos (Oliveira, 2022); (Silva, 2023). Esses avanços têm contribuído para reduzir o tempo de espera nos atendimentos e melhorar a alocação de recursos, especialmente em períodos críticos como a pandemia da COVID-19 (Santos and Reis, 2021); (Zhao, 2022). Além disso, hospitais inteligentes estão promovendo uma integração mais fluida entre os dados clínicos e os profissionais de saúde, criando prontuários eletrônicos interativos e acessíveis de forma segura (Ibrahim and Thanoun, 2024); (Ghubaish, 2023). No entanto, para que essas inovações se expandam para além dos grandes centros, é necessário fomentar políticas públicas de incentivo, ampliar a cobertura de conectividade digital e investir na capacitação técnica das equipes (Singh, 2023); (Ahmad and Harjula, 2024). Com planejamento e compromisso ético, os hospitais inteligentes poderão representar um salto qualitativo no cuidado à saúde em todas as regiões do país.

## 3. Motivação

Apesar do crescente número de publicações sobre a utilização e aplicação de redes 5G e IoT no setor da saúde, observa-se uma carência de revisões sistemáticas que consolidem o conhecimento especificamente voltado para o ambiente hospitalar. Esta lacuna representa uma barreira para pesquisadores e profissionais que buscam uma compreensão aprofundada dos benefícios, limitações, desafios e oportunidades que essa integração tecnológica proporciona no contexto crítico e complexo dos hospitais.

Diante dessa lacuna na literatura, esta revisão sistemática da literatura justifica-se pela necessidade de consolidar o conhecimento científico existente sobre a utilização e aplicação de redes 5G em ambientes e dispositivos IoT hospitalares identificando as principais tendências, desafios técnicos, aplicações práticas, questões de privacidade de dados e lacunas de pesquisas para

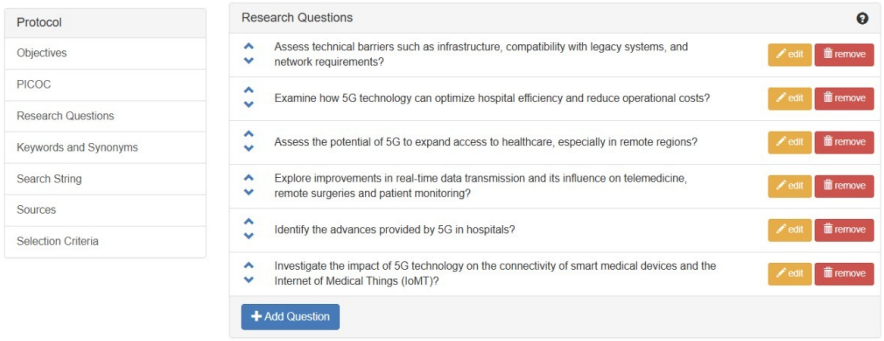
futuros estudos na área.

### 3.1. Questões de Pesquisa

Esta revisão sistemática será guiada por um conjunto de questões que buscam orientar a investigação sobre a aplicação de redes 5G e tecnologias IoT no contexto hospitalar. As perguntas foram elaboradas com base em lacunas identificadas na literatura e nos desafios técnicos destacados por diversos estudos. A seguir, apresentam-se as questões de pesquisa propostas:

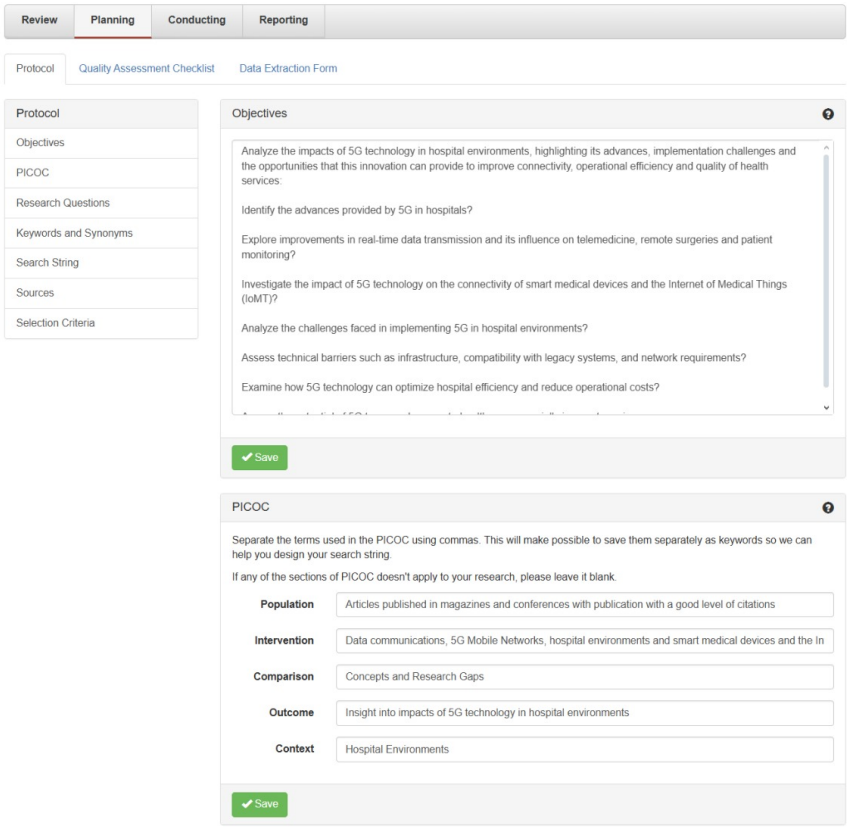
- **QP1:** Quais são as principais aplicações das redes 5G em ambientes hospitalares, considerando áreas como telemedicina, cirurgias remotas e monitoramento inteligente de pacientes?
- **QP2:** Como a transmissão de dados em tempo real via 5G impacta o desempenho de serviços como a telemedicina, o monitoramento contínuo de pacientes e procedimentos médicos à distância?
- **QP3:** Quais são os benefícios clínicos, operacionais e logísticos proporcionados pelo uso do 5G na saúde, especialmente no aumento da eficiência hospitalar e redução de custos operacionais?
- **QP4:** De que forma a tecnologia 5G melhora a conectividade e a integração de dispositivos médicos inteligentes, contribuindo para o avanço da Internet das Coisas Médicas (IoMT)?
- **QP5:** Quais os desafios técnicos e limitações enfrentados na implementação de redes 5G em hospitais, incluindo compatibilidade com sistemas legados, infraestrutura de rede e requisitos de conectividade?
- **QP6:** Como a integração do 5G com tecnologias emergentes como Inteligência Artificial (IA), *edge computing* e *blockchain* impacta o desempenho e a confiabilidade dos sistemas hospitalares inteligentes?
- **QP7:** Quais estratégias têm sido propostas na literatura para garantir segurança e privacidade dos dados em ambientes hospitalares baseados em IoT e 5G?
- **QP8:** Existem padrões, protocolos e frameworks consolidados que promovem interoperabilidade entre dispositivos médicos conectados em redes 5G, viabilizando um ecossistema de saúde digital?
- **QP9:** Quais são as limitações da infraestrutura atual para a adoção de redes 5G em hospitais localizados em regiões remotas ou com baixa densidade tecnológica?
- **QP10:** Como as redes privadas 5G e técnicas como network slicing têm sido utilizadas para garantir qualidade de serviço (QoS) e conectividade dedicada em procedimentos clínicos críticos?
- **QP11:** Quais lacunas de pesquisa persistem na literatura atual e que impedem a adoção ampla, segura e sustentável da tecnologia 5G no setor hospitalar?

Figura 2: Exemplos de Questões de Pesquisas




Fonte: Elaborado por Anderson Queiroz (2025).

Figura 3: Levantamento de Questões de Pesquisas




Fonte: Elaborado por Anderson Queiroz (2025).

Na Figura 2 e Figura 3, são apresentados exemplos visuais que complementam as questões de pesquisa propostas. A Figura 2 ilustra algumas das principais perguntas que orientam esta revisão sistemática, destacando temas como conectividade, segurança e aplicações clínicas. Já a Figura 3 apresenta um levantamento mais abrangente das questões de pesquisa, evidenciando a diversidade de abordagens e desafios técnicos discutidos na literatura.

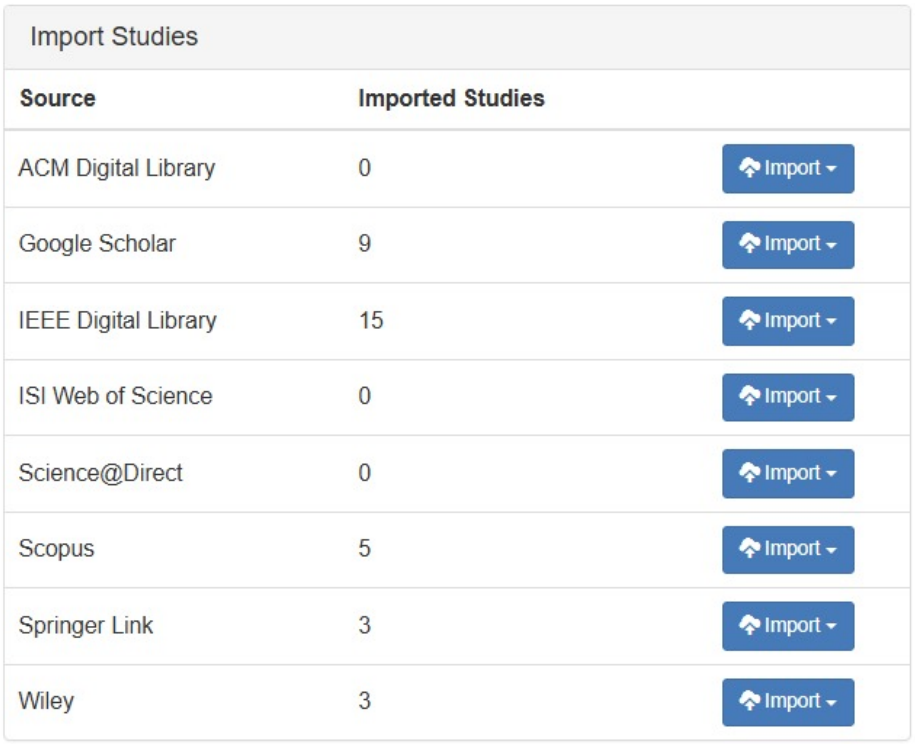
## 4. Estratégia de Busca

A estratégia de busca foi projetada para capturar, de forma ampla e sistemática, estudos relevantes que abordam a aplicação de redes 5G e tecnologias IoT em ambientes hospitalares. O processo buscou maximizar a sensibilidade (abrangência dos resultados) e a especificidade (relevância dos estudos), assegurando representatividade da literatura multidisciplinar que envolve engenharia, saúde, computação e telecomunicações. Para apoiar a organização e condução da revisão sistemática, foi utilizada a ferramenta Parsifal, que auxiliou na definição das questões de pesquisa, estruturação do protocolo e gerenciamento dos estudos selecionados.

### 4.1. Bases de Dados

Foram selecionadas bases de dados de alta relevância e reconhecimento acadêmico, com escopo multidisciplinar e foco em publicações revisadas. As bases escolhidas abrangem literatura técnica, biomédica e tecnológica, e foram:

Figura 4: Base de busca




Fonte: Elaborado por Anderson Queiroz (2025).

- **ACM Digital Library**: Especializada em ciência da computação e engenharia de software, relevante para temas como redes, IoT e segurança.
- **IEEE Xplore**: Principal base de dados em engenharia elétrica, redes móveis e comunicações 5G.
- **Scopus**: Grande base interdisciplinar, com cobertura ampla de artigos científicos em tecnologia e saúde.
- **Web of Science (ISI)**: Base reconhecida por seu rigor e alto fator de impacto, essencial para rastreamento de citações.

- **ScienceDirect (Elsevier)**: Importante para estudos aplicados em tecnologia médica e gestão hospitalar.
- **SpringerLink**: Fonte de artigos multidisciplinares com forte cobertura nas engenharias, saúde digital e IoT.
- **Wiley Online Library**: Abrange pesquisas em tecnologia, saúde pública e inovação digital.
- **Google Scholar**: Usado como apoio complementar para ampliar o escopo da busca e localizar literatura não indexada em bases tradicionais.

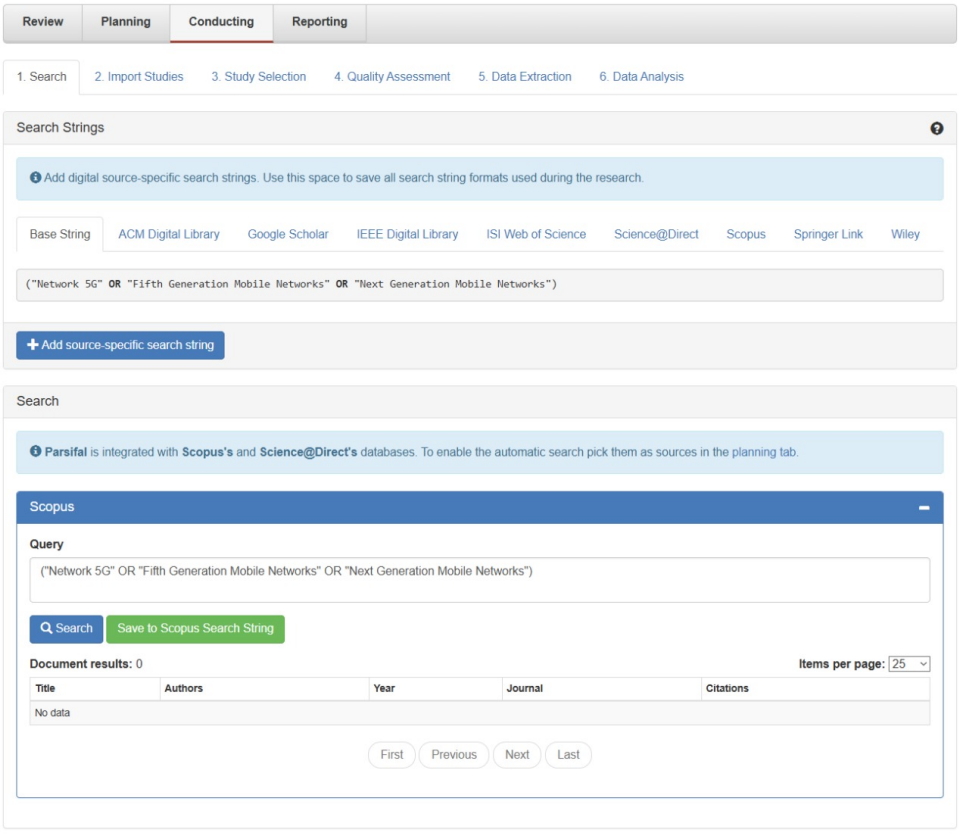
### 4.2. String de Busca

A string de busca foi construída com operadores booleanos para identificar estudos na intersecção das tecnologias 5G, IoT e aplicações em saúde. A fórmula foi adaptada conforme a sintaxe de cada base:

`(5G OR “quinta geração” OR “Network 5G” OR "Fifth Generation Mobile Networks"OR "Next Generation Mobile Networks") AND (hospital OR saúde) AND (IoT OR “Internet das Coisas” OR "Internet das Coisas Médicas"OR IoMT OR "Internet of Medical Things"OR "Internet of Things")`

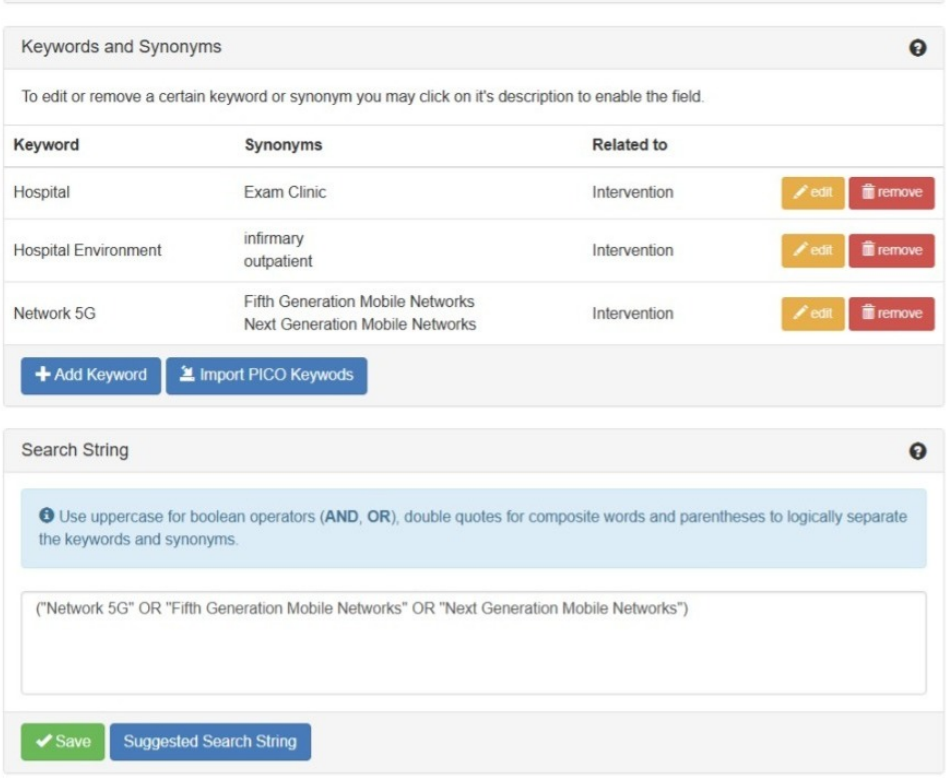
Essa combinação de termos-chave e operadores booleanos foi projetada para capturar artigos que explicitamente discutam a quinta geração de redes móveis ou o termo "5G"e sua aplicação em contextos de "hospital"ou "saúde", em conjunto com a "Internet das Coisas"ou o acrônimo "IoT".

Figura 5: Query da String de Busca




Fonte: Elaborado por Anderson Queiroz (2025).

Figura 6: Keywords and Synonyms




Fonte: Elaborado por Anderson Queiroz (2025).

### 4.3. Critérios de Inclusão

Os estudos foram considerados elegíveis caso atendessem aos seguintes critérios:

- Estudos que abordem a aplicação direta ou indireta de redes 5G em hospitais, sistemas de saúde ou dispositivos IoT voltados para ambientes clínicos.
- Artigos científicos revisados por pares (peer-reviewed), disponíveis em texto completo.
- Publicações escritas nos idiomas português ou inglês.
- Estudos que analisam a interoperabilidade, segurança, arquitetura, desempenho ou impacto clínico das redes 5G em aplicações hospitalares.
- Trabalhos que exploram tecnologias complementares ao 5G, como inteligência artificial, *blockchain*, computação em borda, fatiamento de rede ou realidade aumentada, desde que aplicadas ao contexto hospitalar.

### 4.4. Critérios de Exclusão

Para garantir a consistência metodológica e evitar duplicações ou desvios temáticos, serão excluídos da revisão sistemática:

- Estudos que não façam menção explícita ao uso da tecnologia 5G ou sua aplicação em saúde.
- Trabalhos com apenas resumo disponível, tutoriais, editoriais, comentários, apresentações ou documentos não acadêmicos.

- Artigos duplicados ou múltiplas versões do mesmo estudo.
- Estudos que abordem exclusivamente redes anteriores (1G–4G) sem referência comparativa ou analítica ao 5G.
- Publicações que não estejam relacionadas ao contexto hospitalar ou não explorem dispositivos médicos e infraestrutura clínica.

### 4.5. Processo de Seleção

O processo de seleção foi estruturado em múltiplas fases, assegurando a transparência, rastreabilidade e reprodutibilidade da revisão. As etapas foram conduzidas com auxílio de ferramentas de gerenciamento de referências (como o Parsifal e o Zotero), além de planilhas de registro.

#### Etapas de Seleção

1. **Remoção de duplicatas**: Identificação e eliminação de registros redundantes oriundos de buscas em múltiplas bases de dados.
2. **Triagem por título e resumo**: Avaliação preliminar dos artigos com base nos critérios de inclusão e exclusão.
3. **Leitura do texto completo**: Análise aprofundada dos artigos pré-selecionados para verificar alinhamento temático, rigor metodológico e relevância.
4. **Snowballing (busca encadeada)**: Revisão das listas de referências dos artigos selecionados para identificar estudos adicionais relevantes não capturados pela busca inicial.
5. **Registro sistemático**: Cada decisão de inclusão/exclusão foi registrada em planilhas, possibilitando rastreabilidade e justificativa metodológica.

Figura 7: Registro Sistemático

| Autor(es) | Ano | Titulo | Fonte | Status |
|---|---|---|---|---|
| Lloret, Jaime; Parra, Lorena; | 2017 | An architecture and protocol for smart continuous eHealth monitoring using 5G | Computer Networks | Aceito |
| Dhariwal, K.; Mehta, A. | 2017 | Architecture and Plan of Smart hospital based on Internet of Things(IOT) | International Research Journal of Engineering and Te | Aceito |
| Chen, Min; Yang, Jun; Zhou, | 2018 | 5G-smart diabetes: Toward personalized diabetes diagnosis with healthcare big data clouds | IEEE Communications Magazine | Aceito |
| Mamun, Md Ibrahim; Rahmar | 2019 | Healthcare monitoring system inside self-driving smart car in 5g cellular network | 2019 IEEE 17th International Conference on Industri | Aceito |
| Ahad, Abdul; Tahir, Mohamm | 2019 | 5G-based smart healthcare network: architecture, taxonomy, challenges and future research directions | IEEE access | Aceito |
| Uslu, Banu Çalış; Okay, Ertuj | 2020 | Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design | Journal of Cloud Computing | Aceito |
| Kumar, Arun; Dhanagopal, R | 2021 | A comprehensive study on the role of advanced technologies in 5G based smart hospital | Alexandria Engineering Journal | Aceito |
| Zhai, Yunkai; Xu, Xing; Chen | 2021 | 5G-network-enabled smart ambulance: architecture, application, and evaluation | IEEE network | Aceito |
| Mahmeen, Mohd; Melconian, | 2021 | Next generation 5G mobile health network for user interfacing in radiology workflows | Ieee Access | Aceito |
| Siriwardhana, Yushan; Gür, C | 2021 | The role of 5G for digital healthcare against COVID-19 pandemic: Opportunities and challenges | Ict Express | Aceito |
| Wijethilaka, Shalitha; Poramb | 2022 | A Comprehensive Analysis on Network Slicing for Smart Hospital Applications | IEEE 19th Annual Consumer Communications & Net | Aceito |
| De Silva, Rakshitha; Siriward | 2022 | Deployment Options of 5G Network Slicing for Smart Healthcare | IEEE 19th Annual Consumer Communications & Net | Aceito |
| Sodhro, Ali Hassan; Awad, A | 2022 | Intelligent authentication of 5G healthcare devices: A survey | Internet of Things | Aceito |
| Yin, Yudong; Xu, Guanghua; | 2022 | A 5G-Enabled and Self-Powered Sensor Data Management Scheme for the Smart Medical Platform System | IEEE Sensors Journal | Aceito |
| García, Francisco M; Moralec | 2023 | Health-5g: A mixed reality-based system for remote medical assistance in emergency situations | IEEE Access | Aceito |
| Aripin, Norazizah Mohd; Zulk | 2023 | Performance Analysis of 5G Network Slicing for Hospital of the Future | 2023 IEEE 13th Symposium on Computer Applicatio | Aceito |
| Yadav, Praneesh Kumar; Sai | 2023 | Information and communication technology as an enabler for decongesting the hospital ecosystem for timely emergency care – 'accident to discharge' | CSI Transactions on ICT | Aceito |
| Di Giglio, Andrea; Laurino, M | 2023 | Large-scale trialing of the B5G technology for eHealth and Emergency domains | 2023 IEEE International Conference on E-health Net | Aceito |
| Gimhana, Shakthi; Ahmad, Ij | 2024 | KPIs for Evaluating the Feasibility of Private 5G Networks in Hospitals | 2024 IEEE Conference on Standards for Communica | Aceito |
| Lin, Xiaoyi; Duan, Guangrong | 2024 | Construction of a smart hospital innovation platform using the internet+ technology | Altern Ther Health Med | Aceito |
| Chand J; Jayaraj P; Dayanan | 2024 | Smart Perspectives on Future 6G-Enabled Hospital Operations | ------- | Rejeitado |
| Chang; Jiang and Wang; Huf | 2023 | First-Aid Hydrogel Wound Dressing with Reliable Biofeedback and Biocompatibility Capability for Traumatic Injuries | Advanced Healthcare Materials | Rejeitado |
| Alyaoui; Ghadafi S; Eltipo; Su | 2024 | Reconfigurable Multiband MIMO Circularly-Polarized and Non-resonant Antenna in IoT-Enabled Wearable Biosensors | 21st International Learning & Technology Conference | Rejeitado |
| Grigori; Peadar and Sheung; | 2021 | Can we trust permormance-based telemedicine: Are we there yet? | Irish Medical Journal | Rejeitado |
| Gilligan; Peadar and Sheung | 2022 | Pre-hospital videoconferencing in ambulances: Are we there yet? | Irish Medical Association | Rejeitado |
| Namani; Bhikama and Malik; | 2024 | Dissecting wireless body area networks routing protocols and Machine - learning analysis, and research challenges | International Journal of Communication Systems | Rejeitado |
| Salam; Ramiz and Athman; C | 2023 | Heterogeneous Wireless communication using IoT and E-Health: A Survey | Conference of the IEEE Engineering in Medicine and | Rejeitado |
| Uitto; Mikko and Heikkilä; Ant | 2021 | Evaluation of Live video streaming performance for Low Latency Use Cases in 5G | IEEE Access | Rejeitado |
| Lehtomäki; Janne and Ylianttl | 2018 | Building-to-building propagation loss measurements at 3.5 GHz with comparison to the 5G model | IEEE Access | Rejeitado |

Fonte: Elaborado por Diana Correia (2025).

### Avaliação da Qualidade

Cada estudo selecionado foi submetido à avaliação com foco em aspectos metodológicos e aplicabilidade prática, considerando os seguintes critérios:

- Clareza e pertinência dos objetivos de pesquisa;
- Descrição adequada do método e contexto de aplicação;
- Evidências empíricas de aplicação da tecnologia (simulações, protótipos, testes em hospitais);
- Discussão sobre limitações, desafios e contribuições futuras;
- Avaliação crítica sobre escalabilidade, segurança, interoperabilidade e viabilidade técnica.

### Extração de Dados e Organização de Dados

A extração dos dados foi feita por meio de fichas de análise estruturadas, contendo:

- **Metadados**: Título, autores, ano, periódico, tipo de publicação;
- **Aplicações clínicas e operacionais**: Telessaúde, triagem, cirurgia remota, gestão hospitalar;
- **Tecnologias integradas**: *Edge computing*, IA, *blockchain*, realidade aumentada, fatiamento de rede;
- **Resultados obtidos**: Indicadores como latência, cobertura, QoS, confiabilidade;
- **Desafios e limitações**: Interoperabilidade, privacidade, viabilidade econômica;
- **Contribuições futuras**: Gaps identificados e direções para novos estudos.

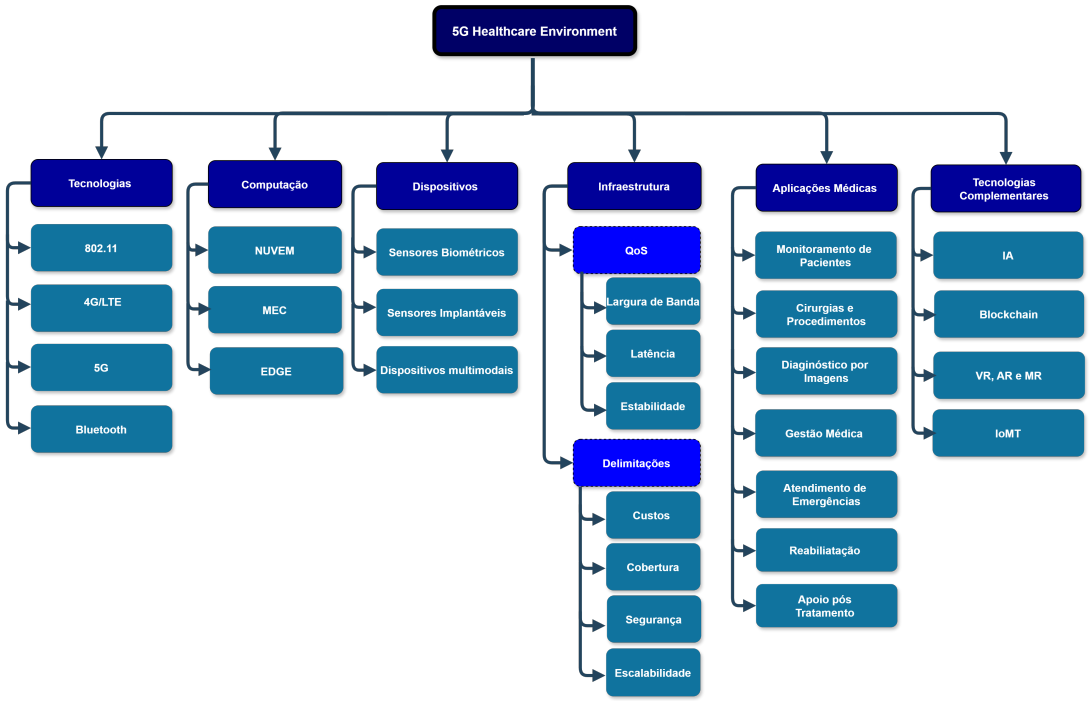
## 5. Síntese dos Dados

Esta seção apresenta a síntese dos dados extraídos dos estudos selecionados, com o objetivo de identificar padrões, categorizar abordagens tecnológicas e evidenciar as principais contribuições, desafios e lacunas encontrados na literatura. A análise foi conduzida de forma qualitativa e descritiva, permitindo compreender como as redes 5G e IoT têm sido aplicadas no contexto hospitalar, quais tecnologias complementares são mais frequentes, e em que medida essas soluções respondem às demandas específicas de ambientes de saúde.

A partir dessa análise, foi possível construir uma taxonomia que organiza os principais componentes do ecossistema hospitalar conectado via 5G. Além disso, a seção traz uma tabela resumo com a caracterização dos artigos incluídos, seguida por o detalhamento dos estudos e um comparativo entre os estudos.

### 5.1. Taxonomia

Figura 8: Taxonomia da integração 5G-IoT em ambientes hospitalares




Fonte: Elaborado por Anderson Queiroz (2025).

A taxonomia proposta foi desenvolvida com o objetivo de organizar e classificar, de forma sistemática e compreensível, os diversos elementos envolvidos na integração das redes 5G e IoT em ambientes hospitalares. Essa estrutura categórica serve como um contato inicial sobre os estudos selecionados sintetizando os componentes tecnológicos, clínicos e operacionais identificados.

### 5.1.1 Metodologia de Construção da Taxonomia

A elaboração da taxonomia seguiu um processo sistemático, baseado em boas práticas e revisões sistemáticas de literatura para construção da taxonomia conforme descrito a seguir:

#### Extração Temática de Dados

Durante a etapa de extração de dados da revisão sistemática (Seção 5.3), foram coletadas informações dos 20 estudos selecionados, com foco especial nos seguintes aspectos:

- Tecnologias mencionadas (ex.: 5G, MEC, sensores, IoT);
- Aplicações descritas (ex.: cirurgia remota, telessaúde, monitoramento contínuo);
- Infraestruturas e métricas técnicas (ex.: QoS, latência, largura de banda);
- Tecnologias auxiliares ou emergentes (ex.: IA, *blockchain*, IoMT);
- Contexto clínico e operacional de aplicação.

As ocorrências foram registradas e organizadas por categoria temática preliminar.

**Agrupamento por Similaridade Conceitual**

Os elementos extraídos foram agrupados com base em semelhanças funcionais e conceituais, utilizando a técnica de **análise de afinidade temática**. Por exemplo:

- Termos como "computação de borda", "*edge computing*" e "MEC" foram agrupados sob o eixo **Computação**;
- "Monitoramento remoto", "monitoramento em tempo real" e "*wearables*" foram classificados sob **Aplicação Médicas**

Esse agrupamento possibilitou identificar padrões recorrentes e lacunas temáticas nos estudos analisados.

**Definição de Eixos Principais**

Com base nos agrupamentos, foram definidos seis eixos principais, representando os grandes blocos conceituais mais recorrentes e estruturantes das soluções 5G em ambientes hospitalares:

- **Tecnologias de Comunicação:** Inclui os padrões de conectividade envolvidos nas soluções, como 5G, 4G/LTE, Wi-Fi (802.11) e Bluetooth. Embora o foco seja no 5G, estudos comparativos e híbridos também foram considerados.
- **Computação**: Refere-se às abordagens de processamento distribuído, como computação em nuvem, computação de borda (*edge computing*) e computação em borda móvel (MEC), fundamentais para reduzir latência e viabilizar aplicações em tempo real.
- **Dispositivos**: Engloba os elementos físicos utilizados na coleta e envio de dados clínicos, como sensores biométricos, sensores implantáveis e dispositivos multimodais conectados
- **Infraestrutura**: Cobre aspectos técnicos relacionados à qualidade de serviço (QoS), incluindo largura de banda, latência, estabilidade, e também delimitações técnicas como custo, cobertura, segurança e escalabilidade.
- **Aplicações Médicas:** Abrange as finalidades clínicas diretamente associadas à integração 5G-IoT, como monitoramento de pacientes, cirurgias remotas, diagnóstico por imagens, gestão médica, atendimento de emergência, reabilitação e apoio pós-tratamento.
- **Tecnologias Complementares**: Refere-se a outras inovações que atuam em conjunto com o 5G, tais como inteligência artificial (IA), *blockchain*, realidade aumentada/virtual/mista (AR/VR/MR) e IoMT (Internet das Coisas Médicas).

## 5.2. Revisão Sistemática de Artigos sobre 5G e IoT em Ambientes Hospitalares

Segue abaixo a tabela com uma visão inicial dos estudos selecionados para esta revisão. Os artigos estão organizados cronologicamente, do mais antigo ao mais recente, e a tabela está estruturada com as seguintes categorias: autor, título, objetivo, tecnologia, resultados principais, pontos positivos e pontos negativos identificadas em cada estudo.

Tabela 2: Artigos selecionados na revisão sistemática

| **Autor(es)** | **Título** | **Objetivo** | **Tecnologias** | **Resultados Principais** | **Pontos Positivos** | **Pontos Negativos** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (Dhariwal and Mehta, 2017) | Architecture and Plan of Smart hospital based on Internet of Things (IOT) | Propor arquitetura de hospital inteligente baseado em IoT para superar limitações dos sistemas tradicionais | RFID, Redes de sensores, Bluetooth, Wi-Fi, Sistemas embarcados, M2M, Ethernet | Arquitetura de 3 camadas; Aplicação bem-sucedida em hospital terciário | Proposta clara e estruturada; Abordagem prática com estudo de caso | Falta análise de custo-benefício; Pouca discussão sobre segurança de dados |
| (Lloret et al., 2017) | An architecture and protocol for smart continuous eHealth monitoring using 5G | Desenvolver arquitetura para monitoramento contínuo de pacientes crônicos, integrando 5G, *big data* e ML | 5G, Dispositivos vestíveis, Smartphones, *Machine Learning*, *Big Data* | 5G supera 4G em latência e capacidade; Acurácia de 87% no sistema de alarmes | Arquitetura escalável; Redução de falsos alarmes | Testes limitados a simulações; Custo inicial alto |
| (Chen et al., 2018) | 5G-Smart Diabetes: Toward Personalized Diabetes Diagnosis with Healthcare Big Data Clouds | Sistema para diagnóstico inteligente e tratamento personalizado de diabetes | 5G, *Wearables*, SVM, ANN, Decision Tree, Big Data | Maior precisão no diagnóstico usando ML; Redução de custos com tratamento preventivo | Integração de tecnologias avançadas; Diagnóstico personalizado | Custo inicial alto; Dependência de 5G |
| (Mamun et al., 2019) | Healthcare Monitoring System Inside Self-driving Smart Car in 5G Cellular Network | Sistema de monitoramento de saúde integrado a carros autônomos | Sensores IoT, 5G, *Edge computing*, IA | Identificação de emergências; Redirecionamento automático | Monitoramento em tempo real em veículos autônomos | Dependência de infraestrutura 5G; Questões de privacidade |
| (Ahad et al., 2019) | 5G-Based Smart Healthcare Network: Architecture, Taxonomy, Challenges and Future Research Directions | Revisar arquitetura, taxonomia e desafios da saúde inteligente baseada em 5G e IoT | 5G, IoT, SDN, NFV, D2D, MmWaves, *Edge Computing*, *Small Cells* | Arquitetura 5G e IoT para saúde inteligente; Taxonomia | Visão holística da integração 5G e IoT; Abordagem prática | Falta de estudos de caso reais; Desafios de segurança não explorados |
| (Uslu et al., 2020) | Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design | Analisar fatores que otimizam o design de hospitais inteligentes baseados em IoT, utilizando cinco camadas. | IoT, IA, *Cloud Computing, Fog Computing, Edge Computing*, Sensores, RFID | Arquitetura de IoT de cinco camadas; Identificação de deficiências | Abordagem holística; Análise detalhada de desafios e tecnologias | Dependência de infraestrutura 5G; Otimização de custo e energia |
| (Kumar et al., 2021) | A comprehensive study on the role of advanced technologies in 5G based smart hospital | Analisar papel de tecnologias avançadas em hospitais inteligentes 5G | OFDM, FBMC, NOMA, UFMC, MmWave, Massive MIMO, IoT | Superioridade de UFMC, NOMA, FBMC sobre OFDM | Melhoria de desempenho; Estudo abrangente | Desafios de implementação; Segurança e privacidade |
| (Zhai et al., 2021) | 5G Network-enabled Smart Ambulance: Architecture, Application, and Evaluation | Propor arquitetura de ambulância inteligente com 5G e avaliar desempenho cenários de emergência. | 5G, *Mobile Edge Computing, Network slicing,* Sistemas hospitalares, VR | Velocidade 5G: 18x maior no downlink; Latência 6x menor que 4G | Comunicação em tempo real; Integração com sistemas hospitalares | Dependência de infraestrutura 5G; Custos de implementação |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (Mahmeen et al., 2021) | Next generation 5G mobile health network for user interfacing in radiology workflows | Otimizar fluxo de trabalho em radiologia com rede 5G | 5G, Edge, IA, AR, IoT | Arquitetura moderna com 5G, IA e AR para radiologia | Melhoria na eficiência do hospital; Integração com IoMT | Falta de hardware disponível; Sem validação técnica |
| (Siriwardhana et al., 2021) | The role of 5G for digital healthcare against COVID-19 pandemic: Opportunities and challenges | Analisar uso de 5G no combate à COVID-19 e saúde digital | 5G (eMBB, URLLC, mMTC), IoTM, *Edge Computing, Blockchain* | Revisão ampla dos usos de 5G na saúde durante a pandemia | Identificação de casos de uso; Análise de desafios | Desafios na implementação por custo elevado |
| (Wijethilaka et al., 2022) | A Comprehensive Analysis on Network Slicing for Smart Hospital Applications | Analisar estratégias de *Network slicing* para hospitais inteligentes utilizando 5g | 5G, *Network slicing,* IoT, Realidade aumentada, Robótica médica | Slicing dinâmico 23% mais eficiente que estático | Abordagem prática com simulações; Análise multidimensional | Custos de implantação não detalhados; Falta discussão sobre segurança |
| (De Silva et al., 2022) | Deployment Options of 5G Network Slicing for Smart Healthcare | Comparar desempenho do fatiamento vertical e horizontal em 5G para saúde | 5G, *Network slicing*, IoMT | Slicing horizontal mais eficiente em cenários com múltiplas demandas | Abordagem prática com simulações; Análise multidimensional | Segurança de dados não explorada; Custos não analisados |
| (Sodhro et al., 2022) | Intelligent authentication of 5G healthcare devices: A survey | Revisão de mecanismos de autenticação inteligente para IoT-5G na saúde | IoT, 5G, IA, Aprendizado Federado, *Blockchain* | Visão sobre autenticação inteligente baseada em IA | Abrangência em tecnologias; Revisão sistemática | Complexidade de implementação; Segurança não abordada |
| (Yin et al., 2022) | ASG-Enabled and Self-Powered Sensor Data Management Scheme for the Smart Medical Platform System | Sistema integrado de gestão médica com 5G e sensores autossustentáveis | 5G, Sensores autossustentáveis, IA, MySQL, Protocolos de criptografia | Organização de dados para plataformas médicas inteligentes | Integração de 5G e sensores; Uso de IA | Dependência de infraestrutura 5G; Apenas simulações |
| (Garcia et al., 2023) | Health-5G: A Mixed Reality-Based System for Remote Medical Assistance in Emergency Situations | Sistema de realidade mista e 5G para assistência médica remota em emergências | Realidade Mista (HoloLens 2), 5G, *Cloud Computing, Streaming* | Sistema MR para auxílio remoto em emergências com baixa latência | Combinação de várias tecnologias; Funcionalidade comprovada | Dependência de HoloLens e 5G; Limitação de uso prático |
| (Di Giglio et al., 2023) | Large-scale trialing of the BSG technology for eHealth and Emergency domains | Testar aplicação de B5G em saúde digital e emergência | 5G/B5G, IA, Telepresença, *Network slicing* | Aplicações reais testadas em hospitais; Participação no TrialsNet | Abordagem prática e escalável; Tecnologias inovadoras | Dependência de infraestrutura 5G densa; Falta detalhamento |
| (Aripin et al., 2023) | Performance Analysis of 5G Network Slicing for Hospital of the Future | Investigar estratégias de fatiamento de rede 5G para hospitais | 5G (eMBB, uRLLC, mMTC), Femtocélulas, Slicesim | Fatiamento dinâmico com femtocélulas superior a outras abordagens | Estratégias de fatiamento; Simulação de ambiente real | Não aborda custos; Simulação em único cenário |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (Yadav et al., 2023) | Information and communication technology as an enabler for decongesting the hospital ecosystem | Analisar papel da tecnologia para melhorar fluxos de emergência | 5G, GPS, Telemedicina, IoT, *Wearables,* *Blockchain,* IA | Levantamento de barreiras críticas no fluxo de atendimento emergencial | Abordagem prática; Entrevistas com profissionais | Dependência de infraestrutura cara; Falta dados quantitativos |
| (Gimhana et al., 2024) | KPIs for Evaluating the Feasibility of Private 5G Networks in Hospitals | Definir KPIs para avaliação de redes privadas 5G em hospitais | 5G, OAIBox Max, USRP B210, Raspberry, O-RAN, AES-256 | KPIs para avaliar redes privadas 5G, validados em ambiente experimental | Abordagem prática; Métricas claras; Uso de O-RAN | Falta análise em cenários de alta densidade; Falta análise de custos |
| (Lin et al., 2024) | Construction of A Smart Hospital Innovation Platform Using the Internet + Technology | Plataforma hospitalar inteligente com tecnologias "Internet+" | 5G + IoT, *Blockchain*, IA, *Cloud computing*, ERP/BI | Implementação bem-sucedida em hospital com redução de 30-40% no tempo de processos | Integração com múltiplas tecnologias; Foco no paciente | Custos iniciais elevados; Foco em único hospital urbano |

Fonte: Elaborado por Diana Correia, (2025).

### 5.3. Detalhamento dos Estudos Selecionados

1. **(Dhariwal and Mehta, 2017)** propõem uma arquitetura e um plano para um hospital inteligente baseado na Internet das Coisas (IoT), com o objetivo de superar as deficiências dos sistemas de informação hospitalares tradicionais, como pontos de dados fixos e modos de rede rígidos. Foram apresentados os avanços tecnológicos e o desenvolvimento de hospitais inteligentes, detalhando sua estrutura lógica, sistema de aplicação e o desenvolvimento da rede. Além disso, o artigo evidência que a implementação das redes móveis como o 5G em hospitais inteligentes pode resolver problemas na análise e tratamento clínico, influenciando positivamente os modos atuais de diagnóstico e tratamento hospitalar. A arquitetura proposta é de três camadas: camada de percepção que é subdividida em camada de coleta de dados e camada de acesso, camada de rede que é subdividida em plataforma de transmissão de rede e plataforma de aplicação e camada de aplicação que Inclui aplicação de informatização hospitalar, e gestão e decisão. O artigo também discute tecnologias importantes para a implementação da IoT, como redes de sensores, RFID, sistemas embarcados, comunicação sem fio, que são essenciais para a implementação do hospital inteligente. Como estudo de caso, os autores mencionam a aplicação bem-sucedida do modelo no *First Affiliated Hospital of Anhui University of Traditional Chinese Medicine*, destacando melhorias no modelo clínico existente.

2. **(Lloret et al., 2017)** descreve o desenvolvimento de uma arquitetura para monitoramento contínuo de pacientes crônicos usando dispositivos vestíveis para coletar sinais vitais, smartphones do paciente para processar dados dos sensores via bluetooth e enviar para o servidor 5G, integrando *big data* para armazenar dados do paciente e informações e *machine learning* para comparar dados em tempo real com históricos médicos para diagnóstico em tempo real e geração de alarmes em caso de anomalias. O fluxo segue com a padronização de dados típicos que é quando o sistema não detecta anomalias e os dados são armazenados sem ações adicionais, dados anormais que geram alarme e envia os últimos 30 minutos de dados para um médico verificar e botão de alarme manual que permite ao paciente solicitar ajuda mesmo sem detecção automática. O projeto conteve uma simulação do tráfego entre o cliente e o servidor usando as tecnologias 4G e 5G para fins de comparação. A simulação proposta demonstra que o 5G é essencial para monitoramento contínuo em larga escala, garantindo baixa latência e confiabilidade. A integração com IA

e *big data* melhora a precisão de diagnósticos, enquanto o botão de alarme manual aumenta a segurança do paciente.

3. **(Chen et al., 2018)** propõem um sistema para diagnóstico e tratamento inteligente e personalizado de diabetes integrando tecnologias como redes 5G, *wearables, machine learning e big data.* O sistema, chamado 5G-Smart Diabetes, visa superar as limitações dos métodos tradicionais (Diabetes 1.0 e Diabetes 2.0) ao oferecer monitoramento contínuo, análise personalizada e compartilhamento de dados em tempo real. Os testes foram realizados com dados de exames de saúde de 12.366 pessoas em um hospital na província de Hubei, na China, totalizando 757.732 registros. Os resultados experimentais demonstram a eficácia do sistema, com algoritmos como decision tree, SVM e ANN alcançando alta precisão no diagnósticos. Além disso, o artigo discute oportunidades futuras, como a expansão para outras doenças crônicas e o aprimoramento da interoperabilidade entre dispositivos.

4. **(Mamun et al., 2019)** propuseram um sistema inovador de monitoramento de saúde para passageiros, integrado a carros autônomos por meio de redes 5G. O sistema combina sensores biométricos (pressão arterial, frequência cardíaca, fluxo de ar, temperatura corporal, umidade e força) com dispositivos multimodais (câmeras e microfones) para detectar emergências médicas em passageiros em tempo real. O sistema utiliza um algoritmo baseado em IA que segue um fluxo de decisão estruturado em limiares pré-definidos para cada parâmetro de saúde. Em casos críticos, a IA ativa automaticamente protocolos de emergência pelo próprio veículo, como redirecionamento para hospitais e acionamento de serviços de emergência. Testes preliminares com 100 passageiros demonstraram 82% de precisão na identificação de crises. Os autores destacam como principais desafios a dependência da infraestrutura 5G e questões de privacidade dos dados.

5. **(Ahad et al., 2019)** discute a transformação dos sistemas de saúde tradicionais para abordagens centradas no paciente, impulsionadas por tecnologias como IoT e redes 5G. O 5G é visto como um facilitador crítico para aplicações de saúde inteligente, como cirurgias remotas e monitoramento contínuo de pacientes. O artigo propõe uma arquitetura que combina small cells para ampliar cobertura e capacidade, além de tecnologias habilitadoras como comunicação D2D (*Device-to-Device*), ondas milimétricas, SDN *(Software-Defined Networking)*, NFV *(Network Function Virtualization)* e *edge computing.* A taxonomia da saúde inteligente baseada em 5G é apresentada, abordando tecnologias de comunicação, requisitos, objetivos e métricas de desempenho. São discutidas também soluções em camada de rede, incluindo controle de congestionamento, escalonamento e roteamento.

6. **(Uslu et al., 2020)** apresenta uma análise dos fatores que influenciam no design dos hospitais inteligentes. O estudo apresenta uma arquitetura em cinco camadas para otimizar a implementação de IoT em ambientes hospitalares, destacando desafios, tecnologias disponíveis e oportunidades. A camada de sensoriamento coleta dados de dispositivos como *wearables* e sensores ambientais, a camada de rede gerencia a transmissão de dados, com foco em protocolos de comunicação e tecnologias de conexão, a camada de serviços remotos utiliza computação em nuvem e outros serviços para processamento distribuído, a camada de conhecimento incorpora IA e aprendizado de máquina para análise de dados, além disso, ajuda na tomada de decisão inteligente e oferece na camada de aplicação uma interfaces para *stakeholders.*

7. **(Kumar et al., 2021)** apresenta uma análise detalhada sobre a implementação de tecnologias avançadas de comunicação em hospitais inteligentes baseados em redes 5G. Os autores destacam que, com a crescente demanda por transmissão de dados médicos de alta velocidade (como imagens de ressonância magnética e monitoramento remoto de pacientes), e a infraestrutura tradicional de comunicação baseada em OFDM *(Orthogonal*

*Frequency-Division Multiplexing)* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) tenha sido amplamente utilizada, ela apresenta limitações significativas para aplicações médicas críticas, incluindo alta latência, ineficiência espectral e elevada relação pico-média de potência (PAPR). Essas limitações tornam-se particularmente problemáticas em cenários que demandam transmissão de grandes volumes de dados médicos (como imagens de alta resolução) e comunicações em tempo real (como cirurgias remotas e monitoramento contínuo de pacientes). O estudo adota uma abordagem comparativa, analisando através de simulações computacionais realizadas no MATLAB o desempenho de diversas técnicas de modulação e acesso múltiplo. Diante disso, os autores propõem a adoção de *waveforms* avançadas (FBMC, *NOMA - Non-Orthogonal Multiple Access*, UFMC - *Universal Filtered Multi-Carrier*) e outras tecnologias 5G para superar esses desafios, garantindo alta capacidade, baixa latência e segurança.

8. **(Zhai et al., 2021)** propõem uma arquitetura para uma "ambulância inteligente"habilitada por 5G, com objetivos de avaliar o desempenho da solução em termos de Qualidade de Serviço (QoS) em cenários de emergência e comparar o desempenho das redes 5G e 4G. O estudo destaca os desafios dos serviços de ambulância tradicionais, como atrasos no tempo de resposta, comunicação ineficiente entre o local do acidente e o hospital, e limitações das tecnologias sem fio existentes (como 4G). A solução é baseada em três camadas: a camada de rede de comunicação 5G, que fornece conectividade de alta velocidade, baixa latência e alta confiabilidade; a camada de comunicação de vídeo remoto, que permite que médicos no hospital visualizem o estado do paciente em tempo real através de óculos VR ou terminais de vídeo; e a camada de troca de dados médicos, que integra sistemas hospitalares para compartilhamento de dados em tempo real. O estudo conduziu dois testes: no cenário 1, uma ambulância em movimento a 30 km/h transmitindo vídeo de alta definição e dados médicos; e no cenário 2, o envio de uma imagem médica de 4,5 GB para o hospital. O artigo ressalta a necessidade de investimentos em infraestrutura 5G e a importância de políticas públicas para viabilizar a implementação em larga escala dessas soluções.

9. **(Mahmeen et al., 2021)** propõem o estudo conceitual e exploratório de uma arquitetura para redes de saúde móveis baseada em tecnologia 5G, no qual o foco específico é na melhoria da eficiência dos fluxos de trabalho em radiologia. O estudo apresenta uma infraestrutura que integra 5G, *edge computing*, inteligência artificial e interfaces adaptativas com o usuário, permitindo a transmissão de imagens médicas em tempo real, análise automatizada por IA e a visualização interativa por meio de realidade aumentada. O artigo destaca os desafios atuais na radiologia e os benefícios que o sistema proposto poderá oferecer como a redução da latência, aumento da mobilidade dos profissionais e personalização da interação médico-paciente. Não houve implementação física nem validação experimental em campo ou em hospitais.

10. **(Siriwardhana et al., 2021)**, investiga a aplicação das tecnologias 5G na pandemia da COVID-19, destacando seu potencial para revolucionar os serviços de saúde. É apresentado casos de uso críticos como telemedicina, telecirurgia, gestão inteligente de cadeias de suprimentos médicos e sistemas de rastreamento de contatos baseados em IoT. O estudo analisa ainda os três pilares do 5G (eMBB, URLLC e mMTC) integrados a tecnologias complementares como MEC, *network slicing* e *blockchain*. Além disso, também discute barreiras de implementação, incluindo cobertura limitada da rede 5G, custos de dispositivos e resistência social. É enfatizada a necessidade de abordagens multidisciplinares que consideram aspectos técnicos, regulatórios e humanos para a adoção efetiva dessas soluções.

11. **(Wijethilaka et al., 2022)** investigaram estratégias de aplicação de *network slicing* para hospitais inteligentes em redes 5G, comparando três abordagens: dinamicidade (*slicing* estático vs. dinâmico), propriedade (MNO - *Mobile Network Operator* vs. operadora local

5G/L5GO) e aplicação (vertical vs. horizontal). Os autores avaliaram desempenho com base em utilização de largura de banda, bloqueios e *handovers* (HOs) por meio de uma ferramenta de simulações, Slicesim, para simular um ambiente de 500m² (200 leitos). Entre os resultados,destaca-se que com 23% maior eficiência de BW, o *slicing* dinâmico superou o estático com menos bloqueios e adaptando-se a demandas variáveis. A abordagem L5GO reduziu 40% dos bloqueios em comparação a MNO, devido a recursos dedicados. O slicing horizontal melhorou a utilização de BW em 15%, enquanto o vertical ofereceu maior estabilidade (menos HOs).

12. **(De Silva et al., 2022)** investigam estratégias de *network slicing* em ambientes 5G para aplicações de saúde inteligente, comparando as abordagens de aplicação vertical e horizontal. Os autores formulam dois problemas de otimização para alocação de recursos, considerando diferentes aplicações médicas (como cirurgia assistida por realidade aumentada, robótica e IoMT) e serviços de rede (áudio, vídeo e controle). Os resultados demonstram que o *slicing* horizontal é mais eficiente em cenários com múltiplas demandas concorrentes, suportando um maior número de usuários devido ao compartilhamento dinâmico de recursos. No entanto, aplicações críticas podem se beneficiar da alocação dedicada do fatiamento vertical. O estudo não explora variações dinâmicas de tráfego em tempo real mas destaca o potencial do 5G e do *network slicing* para otimizar redes hospitalares.

13. **(Sodhro et al., 2022)** realizaram uma revisão abrangente sobre mecanismos de autenticação inteligente para dispositivos IoT-5G em aplicações de saúde. O estudo propõe uma taxonomia detalhada que integra tecnologias de comunicação (D2D, mMTC, URLLC), requisitos de QoS (latência menor que 1ms, confiabilidade maior que 99.999%), e soluções baseadas em IA. Os autores analisaram 20 artigos fundamentais, destacando que métodos convencionais de autenticação são inadequados para dispositivos com restrições de recursos, enquanto técnicas de *machine learning* alcançam até 95% de precisão na detecção de intrusões. Como limitação, o trabalho não aborda vulnerabilidades e enfrenta desafios de escalabilidade em redes massivas.

14. **(Yin et al., 2022)** propuseram um sistema integrado de gestão médica inteligente baseado em 5G, sensores autossustentáveis e IA, visando melhorar a eficiência e segurança no monitoramento de pacientes. O sistema foi desenvolvido em camadas (*front-end e back-end*), integrando sensores implantáveis e externos para monitoramento contínuo de sinais vitais, além de contar com gerenciamento**,** mineração e proteção de dados para garantir a confiabilidade das informações. Os autores realizaram testes empíricos por meio de simulações computacionais e métricas de desempenho, evidenciando que a plataforma 5G apresenta maior precisão e integridade na transmissão de dados em comparação com sistemas tradicionais. Além disso, mecanismos de cache e indexação proporcionam um aumento de 40% na velocidade de resposta, enquanto o acesso a dados em tempo real permite que médicos tomem decisões mais ágeis. Robôs médicos 5G e equipamentos inteligentes contribuem para otimizar atendimentos, reduzindo custos hospitalares e acelerando processos em até 50%.

15. **(Garcia et al., 2023)** propõem o *Health-5G*, um sistema de assistência médica remota que integra realidade mista (MR), rede 5G e computação em nuvem para apoiar atendimentos de emergência em locais onde não há médicos especialistas disponíveis. O sistema utiliza HoloLens 2 para capturar o ambiente em tempo real, permitindo que médicos remotos visualizem o paciente e interajam por meio de modelos 3D, anotações e comandos por voz ou gestos. A arquitetura é composta por o dispositivo MR no local da emergência, um servidor em nuvem que gerencia a comunicação e os dados biométricos, e a interface do médico remoto. A baixa latência na comunicação, boa usabilidade para paramédicos, e respostas clínicas mais rápidas e eficazes foram observadas nos testes realizados. Entre as

limitações estão a dependência da infraestrutura 5G e o uso restrito a cenários simulados. O estudo demonstra o potencial da MR e 5G para ampliar o alcance da assistência médica especializada em situações críticas.

16. **(Di Giglio et al., 2023)** investiga a aplicação de redes B5G (evolução das redes móveis além do 5G) em cenários críticos de saúde digital e emergência, por meio de quatro casos de uso: resgate em emergências com múltiplas vítimas, proctoramento remoto em cirurgias cardíacas, ambulâncias inteligentes, e controle adaptativo de próteses robóticas. Os autores destacam que a arquitetura B5G com baixa latência, largura de banda elevada e fatiamento de rede permite a integração de dispositivos IoT médicos, telemedicina avançada e coordenação em tempo real em emergências. O trabalho é parte do projeto europeu *TrialsNet*, com testes em ambientes reais (hospitais na Itália, eventos em Madrid).

17. **(Aripin et al., 2023)** investiga estratégias de fatiamento de rede 5G para aplicações hospitalares críticas, como cirurgia remota , monitoramento robótico e IoT médica. Os autores exploram duas estratégias de fatiamento de rede para o ambiente do hospital do futuro, e comparam o fatiamento estático (recursos fixos) com dinâmico (alocação adaptável) e avaliam a implantação em microestações base com maior cobertura versus femtocélulas alta capacidade local. Os resultados demonstram que o fatiamento dinâmico aumenta a taxa de clientes conectados e a eficiência no uso da largura de banda em comparação ao estático e femtocélulas superam micro-BS, reduzindo bloqueios e otimizando recursos para aplicações de baixa latência. Sendo assim, o estudo demonstra que fatiamento dinâmico com configuração de femtocélula supera o fatiamento estático e o fatiamento em microestação base. A pesquisa utiliza simulações com *slicesim* em um cenário hospitalar de média escala $300\text{m}^2$ (300 leitos), destacando a viabilidade do 5G para ambientes médicos. Porém, o estudo não aborda custos de implantação ou variações extremas de demanda.

18. **(Yadav et al., 2023)** investigaram o papel das tecnologias de informação e comunicação na otimização do atendimento de emergência, desde o local do acidente até a alta hospitalar, com foco no contexto indiano. Três atores principais são explorados: pacientes, o ecossistema e os hospitais todos essenciais para garantir fluxos de trabalho eficazes. Foram realizadas entrevistas estruturadas com mais de 40 profissionais de saúde, incluindo paramédicos, enfermeiros e familiares de vítimas de acidentes. Nessas entrevistas, os autores identificaram desafios críticos, como infraestrutura urbana deficiente, falta de ambulâncias equipadas e atrasos causados pelo tráfego, que comprometem a eficiência do socorro. Como soluções, propuseram a integração de tecnologias como GPS para roteamento inteligente de ambulâncias, telemedicina para orientação remota, IoT para monitoramento de pacientes em tempo real e IA para priorização de casos. Destaques incluem casos práticos, como o sistema de respostas de emergência em Pune, que reduziu o tempo de resposta em 20%, e ambulâncias com GPS em Gujarat, que diminuíram o atendimento de 30 para 15 minutos. O estudo enfatiza a necessidade de abordagens holísticas, combinando inovações tecnológicas com melhorias na infraestrutura e conscientização pública. Limitações incluem a focalização no cenário indiano e a dependência de investimentos externos para viabilizar as soluções.

19. **(Gimhana et al., 2024)** propõem a avaliação de Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) para redes privadas 5G em ambientes hospitalares, visando garantir Qualidade de Serviço (QoS) adequada para aplicações críticas, como cirurgias assistidas por computador e monitoramento remoto de pacientes. Os KPIs analisados foram conectividade, largura de Banda, estabilidade, escalabilidade, resiliência, qualidade de vídeo (AR/VR) e segurança. O estudo utiliza uma plataforma experimental baseada em OAI (Open Air Interface) e analisa aspectos como largura de banda, latência, segurança e escalabilidade. Após os testes e análises no ambiente de simulação, verificaram que os KPIs definidos são viáveis para redes

privadas 5G em hospitais, garantindo QoS para aplicações críticas. Os autores destacam também que o trabalho futuro é testar em ambientes hospitalares reais, aprimoramento de estratégias contra ataques cibernéticos, expansão para cenários com maior largura de banda (acima de 40 MHz).

20. **(Lin et al., 2024)** propõem uma plataforma de hospital inteligente baseada em tecnologias *Internet+*, integrando 5G, IA, *blockchain* e *big data* para otimizar processos de atendimento ao paciente, melhorar a gestão de dados médicos e aumentar a eficiência operacional do hospital. Os autores implementaram robôs de triagem com NLP (Processamento de Linguagem Natural) para interação paciente-sistema, prontuários eletrônicos com *blockchain* para segurança de dados, diagnóstico por imagem assistido por IA, Sistema de custos para gestão financeira hospitalar (DRG). Como resultados, o estudo apresentou uma redução de 30-40% no tempo de processos, 95% dos agendamentos realizados online, integração completa entre sistemas e 20% de economia em custos operacionais.

### 5.4. Comparativo Entre os Estudos Selecionados

**(Lloret et al., 2017)** desenvolve uma arquitetura inteligente para monitoramento continuo de pacientes crônicos, integrando 5G, *Big Data*, e aprendizado de máquina. Já **(Mamun et al., 2019)** propôs um sistema inovador de monitoramento de saúde para passageiros, integrado a carros autônomos por meio de redes 5G. **(Zhai et al., 2021)** propõem uma arquitetura para uma "ambulância inteligente"habilitada por 5G.

**(Dhariwal and Mehta, 2017)** apresenta uma arquitetura e um plano para hospitais inteligentes baseados em Internet das coisas (IoT). com o objetivo de superar as deficiências dos sistemas de informação hospitalares tradicionais, como pontos de dados fixos e modos de rede rígidos. Enquanto **(Uslu et al., 2020)** complementam, apresentando fatores que influenciam no design dos hospitais inteligentes e propõem uma arquitetura em cinco camadas para otimizar a implementação de IoT em ambientes hospitalares . De forma similar, **(Kumar et al., 2021)** realiza um estudo abrangente sobre o papel das tecnologias avançadas, como 5G e formas de onda otimizadas (FBMC, NOMA, UFMC), na construção de hospitais inteligentes, incluindo a otimização de largura de banda, BER (taxa de erro de bit) e PAPR (relação pico-média de potência), detalhando a arquitetura e os requisitos para sua implementação . Por fim, **(Lin et al., 2024)** propõem uma plataforma de hospital inteligente baseada em tecnologias Internet+, integrando 5G, IA, *blockchain* e *big data* para otimizar processos de atendimento ao paciente, melhorar a gestão de dados médicos e aumentar a eficiência operacional do hospital.

**(Ahad et al., 2019)** discute a transformação dos sistemas de saúde tradicionais para abordagens centradas no paciente, impulsionadas por tecnologias como IoT e redes 5G. **(Yin et al., 2022)** propuseram um sistema integrado de gestão médica inteligente baseado em 5G, sensores autossustentáveis e IA, visando melhorar a eficiência e segurança no monitoramento de pacientes. **(Di Giglio et al., 2023)** investiga a aplicação de redes B5G em cenários críticos de saúde digital e emergência, por meio de quatro casos de uso. Enquanto **(Sodhro et al., 2022)** realizaram uma revisão abrangente sobre mecanismos de autenticação inteligente para dispositivos IoT-5G em aplicações de saúde.

**(Wijethilaka et al., 2022)** investiga estratégias de aplicação de *network slicing* para hospitais inteligentes em redes 5G, comparando três abordagens: dinamicidade, propriedade, aplicação. Já **(De Silva et al., 2022)** estuda estratégias de *network slicing* em ambientes 5G para aplicações de saúde inteligente, comparando as abordagens de aplicação. Enquanto **(Aripin et al., 2023)** investiga estratégias de fatiamento de rede 5G para aplicações hospitalares críticas, como cirurgia remota, monitoramento robótico e IoT médica.

**(Chen et al., 2018)** propõem um sistema para diagnóstico e tratamento inteligente e personalizado de diabetes integrando tecnologias como redes 5G, *wearables*, *machine learning* (ML) e *big data*. **(Mahmeen et al., 2021)** estuda uma arquitetura para radiologia com suporte

a 5G, IA e realidade aumentada, mas sem protótipos funcionais com o objetivo na melhoria e eficiência. **(Garcia et al., 2023)** apresenta Health-5G que integram realidade mista com 5G e computação em nuvem em cenários de emergência, com limitações de escalabilidade.

**(Siriwardhana et al., 2021)** escreve uma revisão sobre os benefícios do 5G na saúde durante a pandemia, sem validação empírica. **(Yadav et al., 2023)** faz um levantamento das barreiras críticas no fluxo de atendimento emergencial na Índia, do incidente à alta hospitalar e propõem soluções para reduzir o congestionamento hospitalar. **(Gimhana et al., 2024)** propõem a avaliação KPIs para redes privadas 5G em ambientes hospitalares, visando garantir a QoS adequada para aplicações críticas, como cirurgias assistidas por computador e monitoramento remoto de pacientes.

Os artigos analisados apresentam contribuições relevantes e diversificadas sobre o uso de tecnologias emergentes, como 5G, fatiamento de rede, IA e *blockchain*, em ambientes hospitalares. Entretanto, ao longo do estudo, foi possível identificar padrões recorrentes, como arquiteturas multicamadas, apresentadas em estudos como os de **(Uslu et al., 2020)** em que a maioria dos estudos propõe modelos baseados em camadas (percepção, rede, aplicação), otimizando a integração de dispositivos IoT com redes 5G. O fatiamento de rede (*network slicing)*, também foi amplamente discutido nos estudos de Wijethilaka et al. (2022), **(De Silva et al., 2022)** e **(Aripin et al., 2023)** como solução para serviços críticos como cirurgias e monitoramento intensivo. Além disso, temos *edge e fog computing* , foram abordagens recorrentes para reduzir a latência e melhorar a eficiência da análise de dados em tempo real, tendo essa abordagem destacada em diversos estudos, como os de **(Yin et al., 2022)** e **(Wijethilaka et al., 2022)**, que apontam benefícios para o monitoramento remoto de pacientes e o desempenho da IoMT. Integração com IA e *big data*, propuseram vários sistemas com diagnósticos preditivos, alertas médicos e monitoramento baseado em aprendizado de máquina, levando em consideração trabalhos como o de **(Chen et al., 2018)** e **(Siriwardhana et al., 2021)** demonstram que sistemas baseados em IA conseguem aprimorar a detecção precoce de doenças e otimizar tratamentos personalizados, o que pode impactar diretamente na qualidade do atendimento hospitalar. Além disso, o uso de dispositivos vestíveis, aplicados para monitoramento contínuo de pacientes com doenças crônicas.

Embora a maioria dos estudos ressalte os benefícios da adoção dessas tecnologias, há desafios significativos a serem considerados. Questões como segurança e privacidade ainda são uma preocupação, pois muitos trabalhos não exploram de forma profunda a proteção de dados sensíveis. **(Sodhro et al., 2022)** abordam mecanismos de autenticação inteligente para dispositivos IoT-5G, sugerindo uma solução eficaz envolvendo segurança e privacidade, mas ainda existem lacunas relacionadas à escalabilidade e adaptação das tecnologias em ambientes hospitalares. Outra limitação observada é a validação em ambientes reais, visto que parte dos estudos se restringe a simulações e protótipos, sem testes empíricos em hospitais. Além disso, poucos trabalhos abordam os custos de implementação o que dificulta a análise de viabilidade em larga escala. A interoperabilidade e padronização também se mostram desafios importantes, uma vez que ainda há obstáculos na integração entre diferentes fabricantes, sistemas e plataformas tecnológicas. Estudos como **(Lin et al., 2024)** indicam que a padronização de protocolos pode ser essencial para facilitar a comunicação entre equipamentos garantindo eficiência operacional. Por fim, o acesso em regiões remotas é um fator crítico, pois a cobertura de redes 5G em áreas rurais e isoladas ainda é limitada, comprometendo a equidade na adoção dessas soluções.

Considerando as tendências e desafios mapeados, futuras pesquisas podem explorar estratégias mais robustas de integração entre IoMT e 5G, buscando formas de aprimorar a compatibilidade entre dispositivos médicos e redes de comunicação. Além disso, a adoção de 5G e IoMT em hospitais, como analisado pelos autores é uma alternativa viável para garantir maior controle sobre a segurança dos dados e a eficiência das aplicações médicas.

## 6. Resultados

Esta revisão sistemática analisou estudos recentes que investigam o uso de tecnologias 5G e IoT em ambientes hospitalares, com foco em soluções que incorporam computação em borda, fatiamento de rede, inteligência artificial, *blockchain* e realidade aumentada/mista. Os resultados revelam uma convergência crescente entre essas tecnologias e as demandas dos sistemas de saúde por conectividade de baixa latência, segurança de dados e suporte a aplicações críticas em tempo real.

A análise comparativa dos estudos permitiu identificar um corpo de evidências que destaca os benefícios do uso integrado de *edge computing* e IA na redução de latência e no processamento local de dados clínicos sensíveis. Adicionalmente, o fatiamento de rede *(network slicing)* aparece como uma solução promissora para garantir qualidade de serviço personalizada, especialmente em aplicações médicas com diferentes níveis de criticidade. Tecnologias como *blockchain* e realidade aumentada (AR/MR) complementam essas arquiteturas, oferecendo camadas adicionais de segurança e interatividade em cenários de telemedicina e colaboração remota. Além disso, a confiabilidade e a estabilidade da conexão proporcionadas pelo 5G pode ajudar a estender o monitoramento remoto da saúde, desenvolvendo um esquema de saúde moderno e otimizado.

Os estudos revisados também demonstram avanços significativos em aplicações práticas como monitoramento de pacientes com dispositivos vestíveis e implantáveis, telemedicina e cirurgia remota, gestão e design hospitalar inteligente, respostas a emergências como ambulâncias inteligentes e sistemas de triagem automatizada. No entanto, as evidências levantadas também apontam limitações recorrentes. Observa-se uma predominância de estudos baseados em simulações ou experimentações limitadas, com poucos relatos de validação em ambientes hospitalares reais. Há também lacunas importantes relacionadas à interoperabilidade entre sistemas heterogêneos, à padronização de protocolos de segurança e à viabilidade econômica e operacional das soluções propostas em larga escala.

Dessa forma, esta revisão sistemática reforça o potencial das tecnologias 5G/B5G para transformar a infraestrutura hospitalar e os serviços de saúde conectados. Contudo, destaca-se a necessidade de pesquisas futuras voltadas à avaliação em contextos clínicos reais, ao desenvolvimento de modelos de orquestração mais dinâmicos e à definição de políticas públicas e regulatórias que viabilizem a adoção segura e eficaz dessas tecnologias em ambientes hospitalares.

## Referências


ACETO, PERSICO, and PESCAPé. The role of information and communication technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 107, p. 125–154. 2018.

ADEBUSOLA, ARIYO, ELISHA, OLUBUNMI, and JULIUS. An overview of 5g technology. In *Proceedings of the 2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS)*, pages 1–4, Lagos, Nigeria. IEEE. 2020.

AHAD, TAHIR, and YAU. 5g-based smart healthcare network: architecture, taxonomy, challenges and future research directions. *IEEE Access*, v. 7, p. 100747–100762. 2019.

AHMAD and HARJULA. Security and energy-efficient communication architecture for iomt. *IEEE Access*, v. 12, p. 13456–13470. 2024.

AIT MOUHA and OTHERS. Internet of things (iot). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, v. 9, n. 2, p. 77. 2021.

AKPAKWU, SILVA, HANCKE, and ABU-MAHFOUZ. A survey on 5g networks for the internet of things: communication technologies and challenges. *IEEE Access*, v. 6, p. 3619–3647. 2017.

ARIPIN, ZULKIFLI, and RADZI. Performance analysis of 5g network slicing for hospital of the future. In *2023 IEEE 13th Symposium on Computer Applications  Industrial Electronics (ISCAIE)*, pages 18–21, Kuala Lumpur, Malaysia. IEEE. 2023.

CHEN, YANG, ZHOU, HAO, ZHANG, and YOUN. 5g-smart diabetes: toward personalized diabetes diagnosis with healthcare big data clouds. *IEEE Communications Magazine*, v. 56, n. 4, p. 16–23. 2018.

COOPER. Impact of technological advancements in health care. *Walsh Medical Media*, v. 11. 2023.

DE SILVA, SIRIWARDHANA, SAMARASINGHE, LIYANAGE, and YLIANTTILA. Deployment options of 5g network slicing for smart healthcare. In *2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications  Networking Conference (CCNC)*, pages 1–6, Las Vegas, NV, USA. IEEE. 2022.

DHARIWAL and MEHTA. Architecture and plan of smart hospital based on internet of things (iot). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, v. 4, n. 5. 2017.

DI GIGLIO, LAURINO, SACCO, KARANASIOU, BERTI, MAIETTINI, PICCININO, STAVROULAKI, CELI, BOCCARDO, and OTHERS. Large-scale trialing of the b5g technology for ehealth and emergency domains. In *2023 IEEE International Conference on E-health Networking, Application  Services (Healthcom)*, pages 78–83, Genoa, Italy. IEEE. 2023.

DOMINGO. An overview of the internet of things for people with disabilities. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 35, n. 2, p. 584–596. 2012.

DZAMESI and ELSAYED. Blockchain-enabled iomt: a secure framework for medical data privacy. *Sensors*, v. 25, n. 3, p. 1554–1575. 2025.

EL-SALEH, SHEIKH, ALBREEM, and HONNURVALI. The internet of medical things (iomt): opportunities and challenges. *Wireless Networks*, v. 31, n. 1, p. 327–344. 2025.

FRADINHO. *Towards high performing hospital enterprise architectures: elevating hospitals to lean enterprise thinking*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA. 2011.

GARCIA, MORALEDA, SCHEZ-SOBRINO, MONEKOSSO, VALLEJO, and GLEZ-MORCILLO. Health-5g: a mixed reality-based system for remote medical assistance in emergency situations. *IEEE Access*, v. 11, p. 59016–59032. 2023.

GHUBAISH. Iomt architecture and protocols: a comprehensive survey. *Computer Communications*, v. 201, p. 34–52. 2023.

GIMHANA, AHMAD, PORAMBAGE, and HARJULA. Kpis for evaluating the feasibility of private 5g networks in hospitals. In *2024 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, pages 62–67, Copenhagen, Denmark. IEEE. 2024.

HOLMA, TOSKALA, and NAKAMURA. *5G technology: 3GPP new radio*. John Wiley  Sons, Chichester, UK, 1 edition. 2020.

HUANG, WANG, WANG, and ZHANG. Internet of medical things: a systematic review. *Neurocomputing*, v. 557, p. 126719. 2023.

IBRAHIM and THANOUN. Impact of iomt on healthcare management systems: a case study of smart hospitals. *Journal of Healthcare Engineering*, v. 2024, p. 1–12. 2024.

JAYARAMAN. Healthcare 4.0: a review of enabling technologies and future challenges. *Computer Communications*, v. 168, p. 120–137. 2021.

KUMAR, ALBREEM, GUPTA, ALSHARIF, and KIM. Future 5g network based smart hospitals: hybrid detection technique for latency improvement. *IEEE Access*, v. 8, p. 153240–153249. 2020.

KUMAR, DHANAGOPAL, ALBREEM, and LE. A comprehensive study on the role of advanced technologies in 5g based smart hospital. *Alexandria Engineering Journal*, v. 60, n. 6, p. 5527–5536. 2021.

KUMAR and GUPTA. A review on activities of fifth generation mobile communication system. *Alexandria Engineering Journal*, v. 57, n. 2, p. 1125–1135. 2018.

LIN, DUAN, HUANG, ZHOU, HUANG, XIAO, XU, SHEN, and ZHUO. Construction of a smart hospital innovation platform using the internet+ technology. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, v. 30, n. 1, p. 170–175. 2024.

LLORET, PARRA, TAHA, and TOMáS. An architecture and protocol for smart continuous ehealth monitoring using 5g. *Computer Networks*, v. 129, p. 340–351. Parte 2. 2017.

MAHMEEN, MELCONIAN, HAIDER, FRIEBE, and PECH. Next generation 5g mobile health network for user interfacing in radiology workflows. *IEEE Access*, v. 9, p. 102899–102907. 2021.

MAMUN, RAHMAN, KHALEQUE, MRIDHA, and HAMID. Healthcare monitoring system inside self-driving smart car in 5g cellular network. In *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, volume 1, pages 1515–1520, Helsinki, Finland. IEEE. 2019.

MATTISSON. Overview of 5g requirements and future wireless networks. In *ESSCIRC 2017 - 43rd IEEE European Solid State Circuits Conference*, pages 1–6, Leuven, Belgium. IEEE. 2017.

MOORE. Medical internet of things-based healthcare systems: wearable sensor-based devices, patient-generated big data, and real-time clinical monitoring. *American Journal of Medical Research*, v. 7, n. 1, p. 41–47. 2020.

OLIVEIRA. Transformações digitais na saúde pública brasileira: desafios e perspectivas da iomt. *Revista Brasileira de Informática em Saúde*, v. 18, n. 2, p. 45–60. 2022.

PANCH. Artificial intelligence, iomt and the future of hospitals. *The Lancet Digital Health*, v. 3, n. 2, p. e85–e90. 2021.

SAMPAIO and MANCINI. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, v. 11, n. 1, p. 83–89. 2007.

SANTOS and REIS. Proteção de dados na saúde: reflexões sobre a lgpd e os desafios da iomt no brasil. *Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário*, v. 10, n. 1, p. 88–104. 2021.

SILVA. Adoção de tecnologias de iomt no sus: experiências e aprendizados em unidades hospitalares. *Revista Saúde em Debate*, v. 47, n. 136, p. 98–112. 2023.

SINGH. Smart healthcare systems: integrating iomt in hospital ecosystems. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 10, n. 5, p. 3981–3995. 2023.

SIRIWARDHANA, GUR, YLIANTTILA, and LIYANAGE. The role of 5g for digital healthcare against covid-19 pandemic: opportunities and challenges. *ICT Express*, v. 7, n. 2, p. 244–252. 2021.

SODHRO, AWAD, VAN DE BEEK, and NIKOLAKOPOULOS. Intelligent authentication of 5g healthcare devices: a survey. *Internet of Things*, v. 20, p. 100610. 2022.

THOMPSON, GE, WU, IRMER, JIANG, FETTWEIS, and ALAMOUTI. 5g wireless communication systems: prospects and challenges. *IEEE Communications Magazine*, v. 52, n. 2, p. 62–64. 2014.

TIAN, YANG, LE GRANGE, WANG, HUANG, and YE. Smart healthcare: making medical care more intelligent. *Global Health Journal*, v. 3, n. 3, p. 62–65. 2019.

USLU, OKAY, and DURSUN. Analysis of factors affecting iot-based smart hospital design. *Journal of Cloud Computing*, v. 9, n. 1, p. 67. 2020.

WIJETHILAKA, PORAMBAGE, ALWIS, and LIYANAGE. A comprehensive analysis on network slicing for smart hospital applications. In *2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC)*, pages 1–6, Las Vegas, NV, USA. IEEE. 2022.

YADAV, SAINI, PRABHU, and SUBRAMANIAN. Information and communication technology as an enabler for decongesting the hospital ecosystem for timely emergency care – 'accident to discharge'. *CSI Transactions on ICT*, v. 11, n. 1, p. 89–95. 2023.

YIN, XU, ZHU, and YIN. A 5g-enabled and self-powered sensor data management scheme for the smart medical platform system. *IEEE Sensors Journal*, v. 23, n. 18, p. 20904–20915. 2022.

YU, LU, and ZHU. Smart hospital based on internet of things. *Journal of Networks*, v. 7, n. 10, p. 1654. 2012.

ZHAI, XU, CHEN, LU, WANG, LI, SHI, WANG, SHANG, and ZHAO. 5g-network-enabled smart ambulance: architecture, application, and evaluation. *IEEE Network*, v. 35, n. 1, p. 190–196. 2021.

ZHAO. Security challenges and solutions in iomt: a comprehensive review. *Future Generation Computer Systems*, v. 143, p. 180–198. 2022.