

INTEGRAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS AUTÔNOMOS (AMRs) COM LiDAR E CONECTIVIDADE 5G: UM ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES EM AMBIENTES HOSPITALARES

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-251>

Data de submissão: 17/11/2024

Data de publicação: 17/12/2024

Wesley Muller Costa Nunes

Eng.

Bacharel em Sistemas de Informação

Estudante do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Processos, Sistemas e Gestão Ambiental no Instituto Galileo de Tecnologia e Educação da Amazônia (PPG.EGSPA/ITEGAM) - AM – BRASIL

E-mail: miiller.nunes.wm@gmail.com

Nelson Marinelli Filho

D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica

Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Processos, Sistemas e Gestão Ambiental no Instituto Galileo de Tecnologia e Educação da Amazônia (PPG.EGSPA/ITEGAM) - AM – BRASIL

E-mail: nelson.marinelli@itegam.org.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-4362-0132>

Gil Eduardo Guimarães

D. Sc.

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Meio Ambiente no Instituto Galileo de Tecnologia e Educação da Amazônia (PPG.EGSPA/ITEGAM) - AM – BRASIL

E-mail: gil.guimaraes@itegam.org.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2800-4620>

Geraldo Nunes Correa

D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica; Professor de Sistemas de Informação na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) - MG – BRASIL

E-mail: geraldo.correa@uemg.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5477-6953>

RESUMO

A integração de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) com tecnologia LiDAR e conectividade 5G apresenta um potencial transformador para ambientes hospitalares. Este estudo avalia o desempenho dessas tecnologias em métricas críticas como latência, taxa de transferência, confiabilidade e tempo de reação, com ênfase em sua aplicação na automação de tarefas logísticas, como o transporte de materiais médicos. Os resultados indicam que redes 5G superam o WiFi em termos de baixa latência, alta taxa de transferência e consistência de desempenho, tornando-as ideais para aplicações em tempo real. Além disso, a tecnologia LiDAR aprimora a navegação dos AMRs, fornecendo mapeamento

tridimensional preciso em ambientes dinâmicos. Apesar dos avanços técnicos promissores, desafios permanecem, incluindo os custos de infraestrutura, a interoperabilidade e preocupações com cibersegurança. Os achados destacam a necessidade de abordagens multidisciplinares para superar essas barreiras e abrir caminho para soluções inovadoras na área da saúde. Esta pesquisa contribui para o crescente conhecimento sobre as aplicações da Indústria 4.0 no setor de saúde, visando melhorar a eficiência, a segurança e a qualidade do atendimento ao paciente.

Palavras-chave: Robôs Móveis Autônomos (AMRs), Tecnologia LiDAR, Conectividade 5G, Automação Hospitalar, Indústria 4.0.

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica associada à Quarta Revolução Industrial tem o potencial de transformar radicalmente os padrões de trabalhos dos mais diversos setores da atividade humana. No setor de setor de cuidados em saúde (Saúde), onde a demanda por profissionais cresce continuamente com o envelhecimento das populações, a integração destas tecnologias avançadas, como Robôs Móveis Autônomos (AMRs), LiDAR e conectividade 5G, pode ser um dos componentes chaves para equilibrar a operação ambulatorial e hospitalar, em termos das demandas de eficiência e eficácia (SAHU et al., 2024) e (GUSTAVSSON, 2021). Em ambientes complexos como hospitais, onde precisão, segurança e eficiência são essenciais, essas tecnologias podem oferecer suporte significativo para tarefas rotineiras, ao mesmo tempo que aliviam as equipes de saúde de atividades repetitivas e potencialmente arriscadas, como o transporte de medicamentos e amostras laboratoriais. A automação neste nível não apenas promete ganhos de eficiência, mas também pode promover ambientes mais seguro para profissionais e pacientes, (WEI, 2023) e (GIUFFRIDA & MARTINA, 2023)

Os AMRs, dotados de sensores LiDAR, podem navegar de forma autônoma e adaptável em qualquer ambiente de fluxo dinâmico e de geometria complexa, ajustando-se a mudanças no ambiente, como hospitais e ambulatórios, em tempo real. Essa capacidade é crucial, porque ambientes dinâmicos exigem navegação precisa para evitar acidentes e garantir o cumprimento de tarefas em tempos efetivos. Os Sensores LiDAR trazem a capacidade de criação de mapas tridimensionais que facilitam a navegação segura e eficiente, antecipando e evitando obstáculos com segurança.

Comparados a outras tecnologias de detecção, como câmeras, os sensores LiDAR apresentam melhores condições de desempenho em condições de pouca luz e podem mapear objetos em 360 graus ao seu redor. Este conjunto, desta forma, torna a operação autônoma possível porque diminui a necessidade de troca de pacotes de dados extensos relacionados à interpretação de imagens, porque ajuda na diminuição dos tempos de respostas, perdas de pacotes de dados e sobretudo o custo de infraestrutura de redes e computação. Isto favorece a progressão do desenvolvimento e implementação desta tecnologia em situações de restrição orçamentária.

Neste contexto, a conectividade 5G Indoor é fundamental para tornar mais eficiente a operação dos AMRs em ambientes dinâmicos, como os hospitalares, porque habilita a comunicação de baixa latência nas redes onde estão inseridos e a capacidade de transacionar pacotes de dados extensos com segurança. Esses atributos são pré-requisitos para garantir que as interações entre dispositivos e sistemas de controle sejam rápidas e confiáveis (SIDDIQI & JOUNG, 2019) e (SEFATI & SIMONA).

Nos ambientes internos onde há a infraestrutura 5G os dados são transmitidos praticamente em tempo real, isto traz a capacidade aos AMRs de responder quase imediatamente a comandos e

evitem obstáculos dinâmicos: fluxo de pessoas e objetos, reconfigurações de ambientes, mudanças de trajetos etc. Esta agilidade é fundamental para operação no trabalho de ambulatórios e hospitais, porque eventos graves podem surgir por atrasos de comunicação, ou acidentes de percurso, que atrasem a entrega, por exemplo, a entrega de um medicamento.

É importante lembrar que a operação neste nível de AMRs em ambientes hospitalares está longe de ser possível, mas estamos aqui dando os passos de aprendizagem estruturais para que isso seja uma alternativa possível, em breve, como alternativa para diminuir o custo de suas operações com a automação do trabalho repetitivo dos profissionais de saúde (AKBARZADEH & HANI, 2022) e (KHAN & MIR, 2023).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

Apesar do alto potencial tecnológico e de implementação, a integração de AMRs, LiDAR e 5G Indoor em uma solução efetiva para ambientes ambulatoriais e hospitalares ainda tem que enfrentar desafios significativos: interoperabilidade entre sistemas, custos de implementação e preocupações com segurança cibernética (NOKIA, 2024) e (HERMANT et al., 2021).

A implementação de redes 5G Indoor é complexa, especialmente em termos de infraestrutura e gerenciamento de rede. Além disso, é necessário garantir que os dados sensíveis sejam protegidos de maneira rigorosa, pois a conectividade 5G expõe esses dados a novos riscos de segurança. Perante este contexto, este estudo visa avaliar a viabilidade e eficácia da integração de AMRs, sensores LiDAR e conectividade 5G Indoor para otimizar a eficiência e segurança em ambientes hospitalares, isto por meio da compreensão de como a construção destas aplicações devem ser planejadas, estruturadas e implementadas a partir do entendimento de seus indicadores chaves de desempenho.

1.2 SIGNIFICÂNCIA DO ESTUDO

A aplicação de AMRs com sensores LiDAR e conectividade 5G tem o potencial de redefinir a maneira como tarefas rotineiras são realizadas em hospitais, permitindo que profissionais de saúde se concentrem em atividades que demandam habilidades clínicas. A automação de tarefas rotineiras e repetitivas não apenas pode melhorar a eficiência operacional, mas também minimizar riscos inerentes ao tráfego humano em áreas contaminadas biologicamente: contaminação cruzada. Habilitar AMRs, realmente autônomos, de forma efetiva é essencial para isto. Além disso, estudos prévios apontam claramente que a utilização de AMRs em ambientes hospitalares pode aumentar a produtividade ao reduzir o tempo de resposta para o transporte de materiais, (SAHU et al., 2024).

A relevância do LiDAR está em sua capacidade de fornecer dados precisos para navegação e detecção de objetos em tempo real. De acordo com Berman (2018), o LiDAR se destaca em ambientes onde é necessário mapear com alta resolução, oferecendo uma vantagem sobre câmeras e sensores de ultrassom em termos de precisão e velocidade. Em hospitais, essa precisão é essencial para evitar colisões e garantir que o robô siga trajetórias seguras. Além disso, a capacidade do LiDAR de identificar diferentes superfícies e materiais em condições de baixa luminosidade é um diferencial significativo, GUSTAVSSON ET AL., 2021)

1.3 DESAFIOS E PERSPECTIVAS

A integração dessas tecnologias em uma aplicação específica tem um conjunto específico de desafios a serem superados.

A implementação do 5G Indoor, demanda ainda uma infraestrutura robusta e um gerenciamento eficiente da rede, especialmente com relação à baixa latência e alta confiabilidade na transmissão dos pacotes de dados, para o controle dos AMRs em tempo real. SHAFI et al. (2017) destaca que o potencial máximo de aplicação do 5G Indoor em ambientes dinâmicos, como hospitais, é necessário o investimento em infraestrutura e em soluções de segurança para proteger os dados sensíveis dos usuários. Para isto é preciso determinar acuradamente as demandas de cada espaço de aplicação. Esta necessidade, junto às questões de interoperabilidade dos sistemas de controle, os AMRs e os sensores LiDAR exigem o domínio pleno de suas variáveis de controle e desempenho, que é objetivo do presente trabalho, para que a coordenação rigorosa, síncrona e a proteção dos dados seja possível, (SAHFI et al., 2017).

Este trabalho tem como objetivo ajudar a encaminhar a aplicação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em ambientes dinâmicos, em especial os ambulatoriais e hospitalares que precisam com urgência de soluções para a otimização do trabalho dos profissionais de saúde, por meio da avaliação de viabilidade técnica da integração de AMRs, sensores LiDAR e conectividade 5G.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A integração de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) com sensores LiDAR e conectividade 5G em ambientes dinâmicos, como os ambulatoriais e hospitalares, representa uma convergência de tecnologias emergentes em aplicações que têm o potencial de modificar profundamente as rotinas e processos de trabalho em logística. Incluindo neste escopo os ambientes de cuidado em saúde e suas logísticas internas. Para compreender plenamente os desafios e os caminhos atuais de solução desta

integração, é essencial revisar os avanços e soluções associadas a cada um dos seus componentes e sua aplicação conjunta.

2.1 ROBÔS MÓVEIS AUTÔNOMOS (AMRs)

A utilização de AMRs como auxiliares logísticos e de manutenção em ambientes complexos e dinâmicos tem recebido cada vez mais atenção das grandes empresas mundiais de automação, em função de sua capacidade inerente de executar tarefas repetitivas, físicas e sem preocupação com ergonomia e, com isso, poupar fisicamente trabalhadores humanos. Nos ambientes de cuidado em saúde estas aplicações têm clara aderência a tarefas como o transporte de medicamentos, amostra de laboratório e equipamentos médicos, além de tantas outras possíveis que podem ser imaginadas, (VAJJHALA & EAPPEN, 2023).

Para que isto se torne realidade os desafios como a navegação em ambientes dinâmicos e a interação segura com humanos devem ser trabalhados e resolvidos, antes que se possa falar em aplicações comerciais, (CABANILLAS et al., 2023).

2.2 TECNOLOGIA LiDAR PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA

A tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) fundamentalmente utiliza pulsos de laser para mapear o ambiente em três dimensões e é muito bem conhecida a quase 50 anos. Esta capacidade de mapeamento permite que os AMRs desenvolvam a estratégias de navegação acuradas, evitando obstáculos e tomando decisões em situações inesperadas. Além disso, como afirma (CHOE & CHUNG, 2024), o LiDAR tem vantagens sobre câmeras e sensores de ultrassom, especialmente em condições de baixa luminosidade e proporcionam dados mais acurados e precisos para a navegação autônoma.

No entanto, é preciso trabalhar as alternativas de menor custo de sensoreamento LiDAR, uma vez que as suas alternativas de ponta podem trazer consigo alta complexidade, necessidade de conhecimentos específicos e altos custos, (FAWOLE & RAWAT, 2024).

2.3 CONECTIVIDADE 5G INDOOR

A conectividade 5G Indoor disponibiliza soluções de comunicação de dados com alta largura de banda e baixa latência, requisitos para processos de comunicação que demandam alta acuracidade, qualidade e baixo tempo de resposta, como devem ser a aplicação de AMRs em ambientes complexos e dinâmicos (YAO et al., 2024). SAHU et al. (2024) indicam que o 5G Indoor, em função de seu desempenho nestes requisitos, pode suportar até serviços médicos avançados, incluindo telemedicina

e monitoramento remoto de pacientes. Esta característica pode suportar a busca de soluções específicas em cuidados de saúde.

No entanto, a implementação do 5G Indoor em ambientes ambulatoriais e hospitalares enfrenta desafios relacionados à infraestrutura, segurança de dados e interoperabilidade com sistemas existentes, que devem ser explorados até o limite de suas definições chaves de desempenho.

2.4 INTEGRAÇÃO DE AMRs, LiDAR E 5G: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

A integração de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) equipados com sensores LiDAR e conectividade 5G em ambientes hospitalares representa uma convergência tecnológica com potencial para revolucionar as operações de saúde. Essa sinergia possibilita a automação de tarefas logísticas, como o transporte de medicamentos e amostras laboratoriais, além de permitir respostas rápidas a situações emergenciais, (GEOURGIUS & SATAVA, 2021).

Os sensores LiDAR fornecem aos AMRs a capacidade de mapear ambientes em três dimensões com alta precisão, facilitando a navegação autônoma e a detecção de obstáculos em tempo real. Essa tecnologia é especialmente eficaz em condições de baixa luminosidade, onde outros sensores, como câmeras, podem apresentar limitações. A conectividade 5G Indoor, por sua vez, oferece alta largura de banda e baixa latência, permitindo que os AMRs se comuniquem instantaneamente com sistemas centrais e outros dispositivos conectados. Essa comunicação em tempo real é crucial para a coordenação eficiente das operações hospitalares e para a resposta imediata a eventos críticos.

A sinergia entre AMRs, LiDAR e 5G resulta em sistemas mais seguros e eficientes. A navegação precisa dos AMRs reduz o risco de colisões e acidentes, enquanto a comunicação em tempo real assegura que os robôs possam reagir rapidamente a mudanças no ambiente, como a presença de pacientes ou profissionais de saúde nos corredores. Além disso, a automação de tarefas repetitivas libera os profissionais para se concentrarem em atividades que exigem expertise clínica, melhorando a qualidade do atendimento ao paciente.

No entanto, a integração dessas tecnologias apresenta desafios significativos. A implementação de redes 5G em ambientes hospitalares requer investimentos substanciais em infraestrutura e a garantia de cobertura confiável em todas as áreas críticas. Além disso, a interoperabilidade entre os AMRs, sensores LiDAR e sistemas hospitalares existentes deve ser cuidadosamente planejada para evitar incompatibilidades e garantir uma operação harmoniosa.

A segurança cibernética é outra preocupação central. A transmissão de dados sensíveis, como informações de pacientes e detalhes operacionais, através de redes 5G, aumenta a superfície de ataque para cibercriminosos. Portanto, é imperativo implementar medidas robustas de segurança, incluindo

criptografia avançada, autenticação multifator e monitoramento contínuo das redes, para proteger contra acessos não autorizados e garantir a integridade dos dados, (GEORGIU & SATAVA, 2021).

Casos de aplicação dessa integração já estão sendo explorados em diversos hospitais ao redor do mundo. Por exemplo, o Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP lançou o projeto OpenCare 5G, que utiliza uma rede privativa 5G para testar a conectividade avançada na saúde, incluindo a operação de AMRs para transporte de materiais médicos, DELLOITE (2021) e outro exemplo é na China, onde os robôs são empregados para desinfecção de ambientes e entrega de suprimentos, minimizando a exposição de profissionais de saúde a áreas contaminadas (ZHAO et al., 2022).

2.5 APLICAÇÕES DE AMRs EM OUTROS SETORES

Além do setor de saúde, os AMRs têm sido aplicados em indústrias como manufatura e construção. DELGADO et al. (2019) analisam o uso de AMRs em sistemas de manufatura flexíveis, destacando melhorias na eficiência e flexibilidade da produção. GHAFARIANHOSEINI et al. (2016) exploram a aplicação de sistemas robóticos autônomos na indústria da construção, enfatizando benefícios como maior precisão e segurança. Essas aplicações demonstram a versatilidade dos AMRs e fornecem insights valiosos para sua implementação em ambientes hospitalares.

2.6 DESAFIOS DE SEGURANÇA E PRIVACIDADE

A integração de AMRs, LiDAR e 5G em ambientes hospitalares levanta preocupações significativas de segurança e privacidade. LOU et al. (2023) discutem as vulnerabilidades introduzidas pela adoção de tecnologias emergentes, como IoT e 5G, em ambientes de saúde, incluindo ameaças potenciais como ataques de negação de serviço e interceptação de dados sensíveis. Os autores propõem estratégias de mitigação, como criptografia avançada, autenticação multifator e monitoramento contínuo de redes, para garantir a segurança dos sistemas de saúde inteligentes.

2.7 PERSPECTIVAS FUTURAS

A evolução contínua das tecnologias de AMRs, LiDAR e 5G aponta para um futuro onde a automação e a conectividade avançada desempenharão papéis cruciais em ambientes hospitalares. FANG et al. (2017) enfatizam que, embora a redução da latência em redes 5G apresente desafios técnicos significativos, ela oferece oportunidades substanciais para o desenvolvimento de aplicações inovadoras em tempo real. Além disso, a integração de inteligência artificial e análise de dados em

tempo real pode aprimorar ainda mais o desempenho dos AMRs, tornando-os mais adaptáveis e eficientes em ambientes dinâmicos, (PARVEZ et al., 2018).

A revisão da literatura evidencia que a integração de AMRs com tecnologia LiDAR e conectividade 5G em ambientes hospitalares oferece oportunidades significativas para melhorar a eficiência operacional e a segurança. No entanto, desafios relacionados à infraestrutura, segurança de dados e interoperabilidade precisam ser abordados para uma implementação bem-sucedida. Pesquisas futuras devem focar no desenvolvimento de soluções integradas que considerem as especificidades dos ambientes hospitalares e garantam a confiabilidade e a segurança dos sistemas implementados.

3 PROPOSTA METODOLÓGICA

A metodologia desenvolvida para este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia da integração de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) com a tecnologia LiDAR e conectividade 5G em ambientes hospitalares, utilizando métricas rigorosas que refletem as demandas específicas desse contexto. As etapas metodológicas foram desenhadas para abordar desafios técnicos e operacionais, garantindo que os resultados contribuam para a implementação prática de AMRs nesses ambientes críticos.

3.1 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

Os parâmetros escolhidos incluem latência, velocidade de resposta, confiabilidade, tempo de execução e taxa de transferência. Essas métricas foram selecionadas devido à sua relevância para o desempenho dos AMRs em tarefas hospitalares. Cada uma dessas métricas reflete aspectos distintos da operação dos robôs em redes 5G, alinhando-se aos requisitos de comunicação em tempo real e automação eficiente.

Latência: Refere-se ao tempo total que um pacote de dados leva para viajar da fonte ao destino dentro da rede. Em aplicações hospitalares, onde AMRs realizam tarefas sensíveis ao tempo, como entrega de medicamentos e transporte de materiais, latências elevadas podem comprometer a eficácia da operação. Para medir a latência, foi utilizada a ferramenta Iperf, que simula cargas de rede e avalia o impacto em tempo real. A rede 5G é avaliada pela sua capacidade de manter latências abaixo de 1 milissegundo, o que é essencial para uma navegação eficiente e tomada de decisão autônoma.

Velocidade de Resposta: Essa métrica mede o tempo que o AMR leva para processar e executar um comando recebido da nuvem. Em ambientes hospitalares, onde decisões rápidas podem impactar diretamente o cuidado com os pacientes, a velocidade de resposta é crucial. Utilizando a ferramenta Wireshark, foram capturados dados de tráfego para medir a eficiência da comunicação entre os AMRs e os sistemas centrais, validando o impacto do 5G na redução de atrasos.

Confiabilidade: Avaliar a capacidade dos AMRs de operar de forma contínua e previsível em diferentes condições de rede e carga de trabalho é fundamental para o ambiente hospitalar. Para isso, foram implementados sistemas de monitoramento contínuo com a ferramenta Prometheus. Essa abordagem permitiu a identificação de gargalos e a análise de padrões de desempenho, assegurando a operação estável dos robôs mesmo em situações adversas.

Tempo de Execução: Representa o tempo necessário para que o AMR complete uma tarefa, desde o comando inicial até a conclusão. Essa métrica é essencial para garantir que os robôs não apenas operem de forma rápida, mas também consistente. O sistema operacional do AMR foi configurado para registrar automaticamente o tempo de execução, permitindo ajustes em tempo real para otimizar sua eficiência.

Taxa de Transferência: Refere-se à quantidade de dados que pode ser transmitida entre o AMR e a nuvem em um intervalo de tempo. Essa métrica é crítica para aplicações que exigem transmissão de grandes volumes de dados, como sensores de navegação e monitoramento em tempo real. Novamente, o Iperf foi empregado para testar a capacidade da rede 5G, garantindo uma comunicação confiável e de alta velocidade.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Os testes foram conduzidos em um ambiente simulado que reflete as condições de um hospital moderno, incluindo interferências de rede, múltiplos dispositivos conectados e variações de carga de trabalho. Para cada métrica, foram definidos cenários específicos que simulam desafios reais enfrentados pelos AMRs.

- 1. Latência e Taxa de Transferência:** Cenários de teste incluíram diferentes distâncias entre o AMR e o ponto de acesso 5G, além de simulações com alto tráfego de dados. Esses testes ajudaram a validar a promessa do 5G de oferecer alta largura de banda e baixa latência em condições de carga.
- 2. Velocidade de Resposta:** Foram simulados comandos críticos, como alterações de rota e resposta a obstáculos imprevistos. O Wireshark registrou os tempos de comunicação, permitindo ajustes para melhorar a eficiência.
- 3. Confiabilidade:** O desempenho dos AMRs foi monitorado continuamente com o Prometheus, permitindo a identificação de falhas de comunicação ou quedas de desempenho antes que se tornassem críticas.

4. Tempo de Execução: As tarefas dos AMRs foram cronometradas para garantir consistência nos tempos de operação, avaliando o impacto do processamento interno e das condições da rede.

3.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS

A escolha das ferramentas foi estratégica para garantir a precisão e a robustez dos testes. O **Iperf** foi essencial para medir a latência e a taxa de transferência, oferecendo uma visão detalhada do desempenho da rede. O **Wireshark**, com sua capacidade de análise de pacotes em tempo real, permitiu avaliar a velocidade de resposta dos AMRs. O **Prometheus** foi utilizado para monitorar continuamente os robôs, identificando anomalias e ajustando parâmetros para melhorar a confiabilidade.

Além disso, o sistema operacional dos AMRs desempenhou um papel crucial, registrando automaticamente os tempos de execução e fornecendo relatórios detalhados para análise. A integração com plataformas de visualização, como o Grafana, facilitou a interpretação dos dados e a tomada de decisões baseadas em métricas.

3.4 CONEXÃO COM A REDE 5G

A rede 5G foi o elemento central desta metodologia, oferecendo a infraestrutura necessária para garantir baixa latência, alta velocidade de comunicação e suporte para múltiplos dispositivos conectados. Os testes demonstraram que o 5G é capaz de atender às demandas dos AMRs em ambientes hospitalares, permitindo uma automação eficiente e melhorando a qualidade do atendimento.

A proposta metodológica apresentada neste estudo fornece uma abordagem robusta para avaliar a integração de AMRs com tecnologia LiDAR e 5G. A aplicação prática dos testes em um ambiente simulado reflete desafios reais, garantindo que os resultados sejam diretamente aplicáveis à implementação em hospitais. O uso de métricas específicas e ferramentas avançadas permite uma análise detalhada do desempenho dos AMRs, contribuindo para sua otimização e expansão em larga escala. Essa metodologia estabelece uma base sólida para futuras pesquisas e para o avanço da automação hospitalar.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE

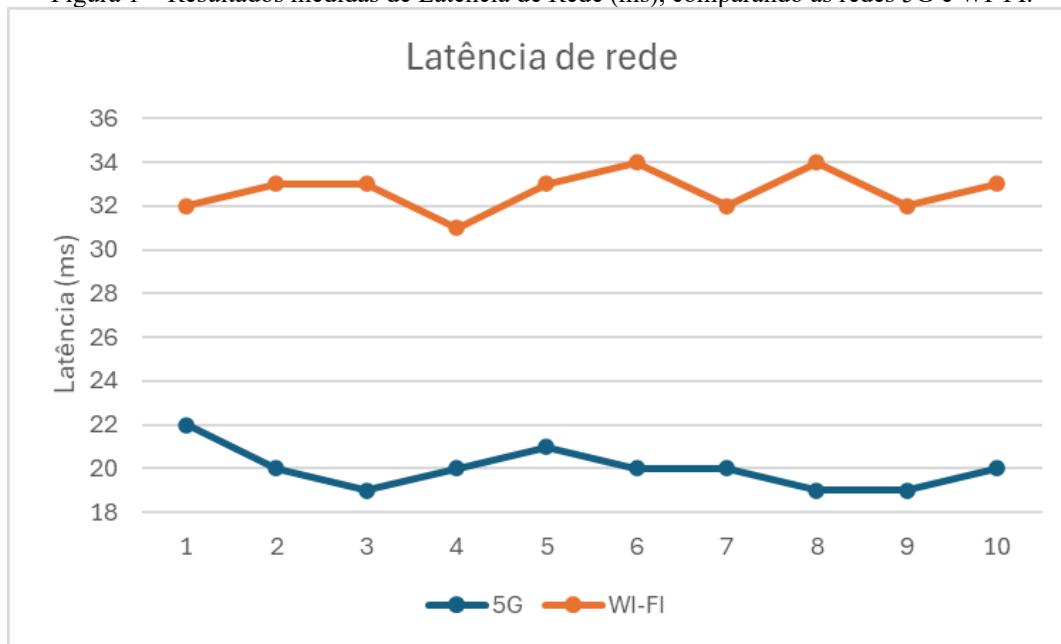
Os experimentos realizados nesta pesquisa foram desenvolvidos para avaliar o desempenho de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) integrados com redes 5G e WiFi em ambientes hospitalares, considerando os parâmetros metodológicos definidos. A análise focou na latência, taxa de

transferência, tempo de reação e confiabilidade dos sistemas de comunicação, utilizando ferramentas específicas para coleta e processamento de dados.

4.1 LATÊNCIA DE REDE

A latência, definida como o tempo necessário para um pacote de dados viajar entre o servidor e o AMR, foi medida com base na fórmula Round-Trip Time (RTT). Foram realizados 10 testes consecutivos, cada um enviando 1000 pacotes de 128 bytes com intervalo de 250 ms. O ambiente de teste incluiu o servidor de borda e o computador de bordo do AMR, ambos operando com redes 5G e WiFi. O gráfico da Figura 1 mostra estes resultados.

Figura 1 – Resultados medidas de Latência de Rede (ms), comparando as redes 5G e WI-FI.



Resultados para Rede 5G:

- **Média:** 19,92 ms
- **Mediana:** 19,91 ms
- **Desvio Padrão:** 0,176 ms

Resultados para Rede WiFi:

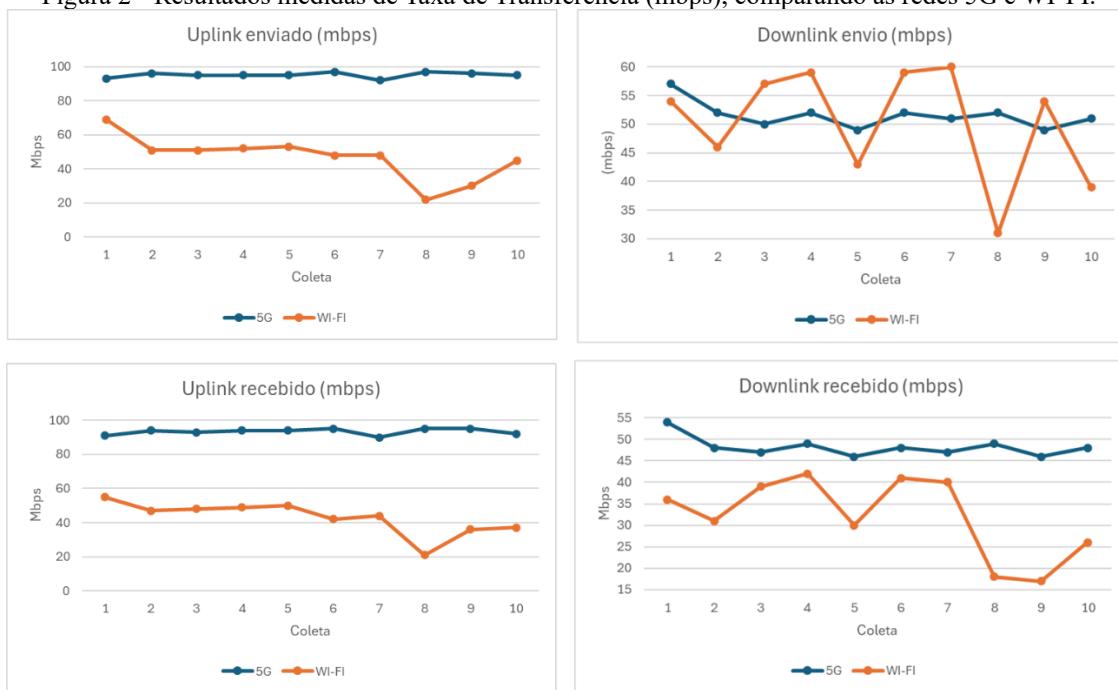
- **Média:** 32,65 ms
- **Mediana:** 32,64 ms
- **Desvio Padrão:** 0,89 ms

A análise revelou que a rede 5G oferece uma latência significativamente menor e mais consistente em comparação à rede WiFi, com um coeficiente de variação 3 vezes menor, destacando sua superioridade para aplicações em tempo real, como navegação e mapeamento com o algoritmo SLAM.

4.2 TAXA DE TRANSFERÊNCIA

A taxa de transferência, representando a quantidade de dados trocados entre o servidor e o AMR por unidade de tempo, foi avaliada com a ferramenta Iperf 3. O experimento simulou cenários de alta demanda, com 10 fluxos simultâneos e largura de banda limitada a 100 Mbps. A Figura 2 mostra os resultados de avaliação da Taxa de Transferência.

Figura 2 - Resultados medidas de Taxa de Transferência (mbps), comparando as redes 5G e WI-FI.



Resultados para Uplink (Enviados) na Rede 5G:

- **Média:** 95,12 Mbps
- **Desvio Padrão:** 1,39 Mbps

Resultados para Uplink na Rede WiFi:

- **Média:** 46,58 Mbps
- **Desvio Padrão:** 12,63 Mbps

Resultados para Downlink (Recebidos) na Rede 5G:

- **Média:** 92,00 Mbps
- **Desvio Padrão:** 1,04 Mbps

Resultados para Downlink na Rede WiFi:

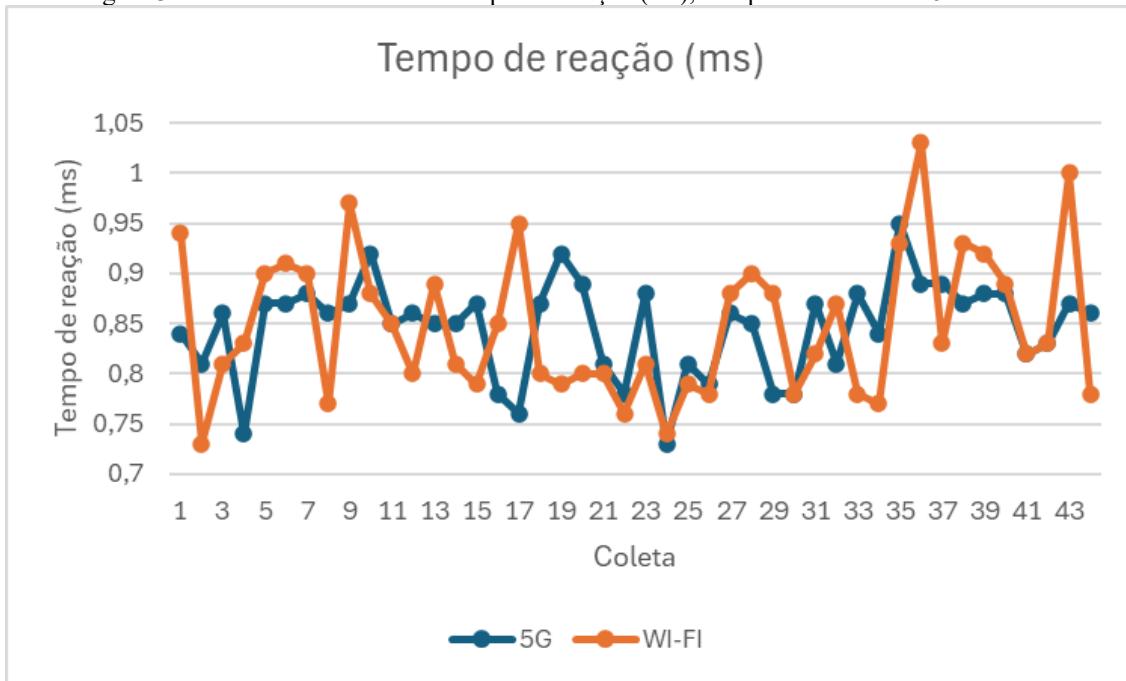
- **Média:** 41,72 Mbps
- **Desvio Padrão:** 10,97 Mbps

A rede 5G mostrou taxas de transferência significativamente superiores, com menor variabilidade, demonstrando maior estabilidade e eficiência no suporte a tarefas críticas, como transmissão de mapas gerados pelo SLAM.

4.3 TEMPO DE REAÇÃO

O tempo de reação do sistema foi medido considerando o intervalo entre o recebimento de um estímulo externo, gerado por um sensor LIDAR, e o envio do primeiro comando de velocidade pelo sistema do AMR. A análise comparou redes 5G e WiFi. A Figura 3 mostra os resultados de Tempo de Reação (ms), comparando as redes %G e WI-FI.

Figura 3 - Resultados medidas de Tempo de Reação (ms), comparando as redes 5G e WI-FI.



Resultados para Rede 5G:

- **Média:** 0,847 ms
- **Desvio Padrão:** 0,046 ms

Resultados para Rede WiFi:

- **Média:** 0,841 ms
- **Desvio Padrão:** 0,071 ms

Ambas as redes apresentaram tempos de reação abaixo de 1 ms, mas a rede 5G mostrou maior consistência, refletida no menor desvio padrão. Essa consistência é crítica para evitar falhas em tarefas de navegação e prevenção de colisões.

4.4 CONFIABILIDADE E CONSISTÊNCIA

Para avaliar a confiabilidade, foi utilizado o Prometheus para monitoramento contínuo, com foco na estabilidade das operações dos AMRs sob diferentes condições de rede. A análise indicou que a rede 5G manteve uma performance mais previsível, mesmo sob altas cargas de trabalho.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados experimentais apresentados neste estudo demonstram de forma clara os benefícios da integração de AMRs com redes 5G e sensores LiDAR em ambientes hospitalares. Entretanto, os desafios e implicações dessa integração precisam ser discutidos de maneira aprofundada para proporcionar um panorama completo da viabilidade e das oportunidades futuras.

5.1 SUPERIORIDADE TÉCNICA DA REDE 5G

Os testes confirmaram a superioridade da rede 5G em termos de latência, taxa de transferência e consistência de desempenho. A capacidade do 5G de operar com latências abaixo de 1 ms é um diferencial significativo para aplicações que exigem respostas em tempo real, como navegação autônoma e prevenção de colisões. Além disso, a alta taxa de transferência permite a transmissão eficiente de dados gerados pelos sensores LiDAR, como mapas tridimensionais e informações de obstáculos. Essa eficiência é crítica em ambientes hospitalares, onde atrasos podem comprometer a segurança e a eficácia das operações.

Por outro lado, a estabilidade oferecida pela rede 5G é particularmente relevante em cenários de alta demanda, onde múltiplos dispositivos precisam operar simultaneamente. Os resultados indicam

que, enquanto a WiFi apresenta maior variabilidade, especialmente sob carga, a 5G mantém um desempenho consistente. Essa característica faz com que a 5G seja mais adequada para suportar a automação avançada em hospitais, especialmente em situações críticas.

5.2 LIMITAÇÕES PRÁTICAS DA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar das vantagens técnicas, a implementação de redes 5G em ambientes hospitalares apresenta desafios significativos. A infraestrutura necessária para suportar 5G Indoor, como antenas PicoCell e Core de Rede dedicados, requer investimentos substanciais e um planejamento rigoroso. Além disso, a cobertura confiável em áreas críticas do hospital deve ser garantida para evitar falhas de comunicação.

Outro desafio é a interoperabilidade. Para que os AMRs operem de maneira eficaz, os sensores LiDAR, os sistemas de controle central e a infraestrutura de rede precisam estar perfeitamente sincronizados. Isso exige padrões claros de integração e testes exaustivos para identificar e resolver possíveis incompatibilidades.

5.3 SEGURANÇA E PRIVACIDADE DOS DADOS

A adoção de redes 5G em ambientes hospitalares também aumenta as preocupações com segurança cibernética. A transmissão de dados sensíveis, como informações de pacientes e registros operacionais, deve ser protegida contra acessos não autorizados. Estratégias como criptografia avançada, autenticação multifator e monitoramento contínuo das redes são indispensáveis para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados. Adicionalmente, a criação de políticas de segurança robustas e treinamentos regulares para a equipe técnica são essenciais para mitigar riscos.

5.4 IMPACTO NO FLUXO DE TRABALHO HOSPITALAR

A introdução de AMRs integrados com 5G e LiDAR tem o potencial de transformar profundamente o fluxo de trabalho em hospitais. Ao automatizar tarefas rotineiras, como o transporte de medicamentos e amostras laboratoriais, esses robôs podem liberar os profissionais de saúde para se concentrarem em atividades que exigem expertise clínica. Essa redistribuição de tarefas pode resultar em um ambiente de trabalho mais eficiente e seguro, reduzindo o risco de contaminação cruzada e melhorando a qualidade do atendimento ao paciente.

Entretanto, essa transformação requer uma reestruturação organizacional. Os gestores hospitalares precisam planejar cuidadosamente como os AMRs serão integrados aos processos existentes, considerando fatores como manutenção, treinamento e adaptação dos profissionais às novas

tecnologias. Estudos futuros devem explorar estratégias para facilitar essa transição e maximizar os benefícios da automação.

5.5 POTENCIAL DE ESCALABILIDADE E ADOÇÃO GLOBAL

Os resultados deste estudo sugerem que a integração de AMRs com tecnologia LiDAR e 5G pode ser ampliada para outras áreas além dos hospitais, como centros de distribuição farmacêutica e ambientes de saúde domiciliar. No entanto, a escalabilidade dessa solução depende de avanços na acessibilidade econômica das tecnologias envolvidas. Sensores LiDAR de menor custo e redes 5G mais acessíveis são cruciais para expandir o uso desses sistemas em diferentes contextos.

5.6 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Com base nos desafios identificados, algumas recomendações podem ser feitas para pesquisas futuras e implementação prática:

- 1. Explorar Alternativas de Infraestrutura:** Investigar o uso de redes híbridas, combinando 5G com WiFi de alta densidade, para reduzir custos e melhorar a cobertura em ambientes hospitalares.
- 2. Foco em Protocolos de Interoperabilidade:** Desenvolver padrões universais para integração de AMRs, sensores e redes 5G, facilitando a implementação em diferentes contextos.
- 3. Desenvolvimento de Soluções Escaláveis:** Projetar sensores LiDAR mais acessíveis e compactos, sem comprometer a precisão e a confiabilidade, para ampliar o uso em aplicações críticas.
- 4. Estudos de Custo-Benefício:** Realizar análises econômicas detalhadas para avaliar o retorno sobre o investimento em AMRs integrados com 5G e LiDAR, considerando diferentes tamanhos e tipos de hospitais.

Embora este estudo tenha demonstrado a viabilidade técnica da integração de AMRs, LiDAR e 5G, a implementação prática dessas tecnologias exige uma abordagem multidisciplinar. Desde questões de infraestrutura até preocupações com segurança e adaptação organizacional, há um caminho a ser percorrido antes que essas soluções se tornem padrão em ambientes hospitalares. Ainda assim, os resultados obtidos aqui pavimentam o caminho para futuras inovações, destacando o potencial transformador dessas tecnologias no setor de saúde.

6 CONCLUSÃO

Este estudo explorou a integração de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) com sensores LiDAR e conectividade 5G em ambientes hospitalares, analisando seu desempenho em métricas críticas, como latência, taxa de transferência, confiabilidade e tempo de reação. Os resultados obtidos demonstraram o potencial transformador dessas tecnologias no setor de saúde, ao mesmo tempo em que destacaram desafios significativos que precisam ser superados para sua implementação prática.

6.1 AVANÇOS E CONTRIBUIÇÕES

Os experimentos conduzidos confirmaram que a conectividade 5G, em comparação com a rede WiFi, oferece vantagens substanciais em termos de estabilidade e desempenho. A latência significativamente menor e a consistência dos tempos de reação tornam a 5G a escolha ideal para aplicações em tempo real, como a navegação autônoma e o transporte de materiais críticos em hospitais. Além disso, a alta taxa de transferência observada na rede 5G permite que os AMRs processem e transmitam dados complexos de sensores LiDAR com eficiência, garantindo mapeamentos precisos e respostas rápidas a mudanças no ambiente.

Esses avanços não apenas fortalecem a viabilidade técnica dessa integração, mas também apontam para oportunidades de reestruturação operacional em ambientes hospitalares. A automação de tarefas repetitivas com AMRs pode liberar recursos humanos para atividades que exigem habilidades clínicas, melhorando a eficiência geral e a segurança no cuidado ao paciente. Assim, o estudo contribui diretamente para o avanço do conhecimento sobre a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saúde.

6.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Apesar dos resultados promissores, este estudo possui algumas limitações que precisam ser consideradas. Primeiramente, os experimentos foram realizados em um ambiente simulado, o que, embora reproduza condições reais, pode não capturar completamente as complexidades dos hospitais. Fatores como interferências de sinal, densidade de dispositivos conectados e configurações arquitetônicas específicas podem impactar o desempenho dos AMRs e das redes 5G em cenários reais.

Além disso, questões de interoperabilidade e segurança cibernética foram abordadas principalmente em termos de viabilidade técnica, mas não foram implementadas soluções específicas no escopo deste estudo. A proteção de dados sensíveis e a integração com sistemas hospitalares existentes representam desafios que exigem investigações mais detalhadas e abordagens multidisciplinares.

6.3 IMPACTO E RELEVÂNCIA PARA O SETOR DE SAÚDE

O impacto potencial desta integração no setor de saúde é significativo. AMRs equipados com sensores LiDAR e conectividade 5G podem revolucionar a logística hospitalar, proporcionando maior agilidade e precisão no transporte de medicamentos, amostras laboratoriais e equipamentos médicos. Essa automação não apenas reduz o risco de erros e atrasos, mas também contribui para a criação de um ambiente mais seguro, minimizando a exposição dos profissionais de saúde a áreas contaminadas.

Adicionalmente, a implementação bem-sucedida dessas tecnologias pode servir como modelo para outras aplicações na saúde, como monitoramento remoto de pacientes, telemedicina e assistência robótica em procedimentos clínicos. O desenvolvimento de soluções integradas que combinem automação, conectividade avançada e inteligência artificial pode estabelecer um novo padrão de eficiência e inovação no setor.

6.4 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Para maximizar o impacto e a aplicabilidade desta pesquisa, algumas recomendações podem ser feitas:

- 1. Estudos em Ambientes Reais:** Realizar experimentos em hospitais operacionais para validar os achados deste estudo em cenários mais complexos e dinâmicos.
- 2. Exploração de Redes Híbridas:** Investigar a integração de redes 5G com outras tecnologias de comunicação, como WiFi de alta densidade, para criar soluções mais acessíveis e robustas.
- 3. Aprofundamento em Segurança Cibernética:** Desenvolver e implementar protocolos específicos de segurança para proteger dados sensíveis em aplicações de saúde.
- 4. Estudos Econômicos e de Viabilidade:** Avaliar o custo-benefício da implementação de AMRs integrados com LiDAR e 5G, considerando diferentes escalas e contextos hospitalares.
- 5. Adaptação Organizacional:** Investigar estratégias para facilitar a adaptação dos profissionais de saúde à automação, incluindo treinamentos e ajustes nos fluxos de trabalho.

7 REFLEXÃO FINAL

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a integração de AMRs, sensores LiDAR e conectividade 5G é uma solução tecnologicamente viável e altamente promissora para a automação hospitalar. No entanto, a realização plena desse potencial requer esforços coordenados para superar desafios técnicos, econômicos e organizacionais. Com base nos achados apresentados, acredita-se que esta pesquisa contribui significativamente para o avanço do conhecimento no campo da automação em

saúde e estabelece uma base sólida para o desenvolvimento de aplicações futuras que transformem positivamente o setor.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM), ao ITEGAM e as empresas Salcomp, Foxconn, Procomp/Diebold, Inventus Power, Coelmatic por meio da Lei no. 8.387/1991 de Informática para incentivo a Projetos de PD&I com apoio financeiro PUR044/2023/CITS ao projeto de Mestrado através da Coordenadora do Programa Prioritário da Indústria 4.0 e Modernização Industrial, o Centro Internacional de Tecnologia de Software (CITS)/CAPDA/SUFRAMA/MDIC.

REFERÊNCIAS

CHEN, Simin et al. The Role of 5G in Healthcare. *IEEE Communications Magazine*, v. 58, n. 2, p. 84-90, 2020.

CHOE, J.; CHO, H.; CHUNG, Y. Performance Verification of Autonomous Driving LiDAR Sensors under Rainfall Conditions in Darkroom. *Sensors*, v. 24, n. 1, p. 14, 2024. DOI: 10.3390/s24010014.

DELOITTE. HC firma parceria com ecossistema de empresas para testar tecnologia 5G. Disponível em: <https://www.deloitte.com/br/pt/about/press-room/opencare-5g.html>. Acesso em: 1 dez. 2024.

FAWOLE, O. A.; RAWAT, D. B. Recent Advances in 3D Object Detection for Self-Driving Vehicles: A Survey. *AI*, v. 5, n. 3, p. 1255-1285, 2024. DOI: 10.3390/ai5030061.

GIUFFRIDA, L.; MASERA, G.; MARTINA, M. A Survey of Automotive Radar and Lidar Signal Processing and Architectures. *Chips*, v. 2, n. 4, p. 243-261, 2023. DOI: 10.3390/chips2040015.

GUSTAVSSON, Ulf et al. Implementation Challenges and Opportunities in Beyond-5G and 6G Communication. *IEEE Journal of Microwaves*, v. 1, p. 86-100, 2021. DOI: 10.1109/JMW.2020.3034648.

JAIN, Hemant et al. 5G Network Slice for Digital Real-Time Healthcare System Powered by Network Data Analytics. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, v. 1, 2021. DOI: 10.1016/j.iotcps.2021.12.001.

LEE, M. -H.; LIU, I. -H.; HUANG, H. -C.; LI, J. -S. Cyber Security in a 5G-Based Smart Healthcare Network: A Base Station Case Study. *Engineering Proceedings*, v. 55, n. 1, p. 50, 2023. DOI: 10.3390/engproc2023055050.

PARVEZ, Imtiaz et al. A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2018.

SAHU, Vinay et al. Challenges and Opportunities of 5G Network: A Review of Research and Development. *American Journal of Electrical and Computer Engineering*, v. 8, p. 11-20, 2024. DOI: 10.11648/j.ajece.20240801.12.

SHAFI, Mansoor et al. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment and Practice. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. PP, n. 1, p. 1-1, 2017. DOI: 10.1109/JSAC.2017.2692307.

SIDDIQI, M. A.; YU, H.; JOUNG, J. 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication Implementation Challenges and Operational Issues with IoT Devices. *Electronics*, v. 8, n. 9, p. 981, 2019. DOI: 10.3390/electronics8090981.

SUFYAN, A. et al. From 5G to Beyond 5G: A Comprehensive Survey of Wireless Network Evolution, Challenges, and Promising Technologies. *Electronics*, v. 12, n. 10, p. 2200, 2023. DOI: 10.3390/electronics12102200.