

## Capítulo

# 1

## Internet das Coisas e Ambientes Inteligentes no contexto da Saúde

Analúcia Schiaffino Morales<sup>1</sup>, Sílvio César Cazella<sup>2</sup>

### **Abstract**

*The Internet of Things and Intelligent Systems have stood out in the context of Healthcare. The solutions developed in this context have covered patient care and health professionals, seeking to allow monitoring through the use of non-invasive devices and other applications that benefit health care. This chapter presents considerations about the Internet of Things and Intelligent Environments, including a brief theoretical background highlighting the International Telecommunication Union - Telecommunication standards for this area, applications that have been developed in recent years including both the Internet of Things and the use of Artificial Intelligence, following with reflections on the main challenges and barriers associated with the health care area. A review of the research developed in the area and reported in relevant publications in recent years is presented. At the end of the chapter, the Brazilian and European Community efforts to regulate the use of Artificial Intelligence to mitigate the risks of impact on society and citizens are presented.*

### **Resumo**

*A Internet das Coisas e os Sistemas Inteligentes têm se destacado no contexto da Saúde. As soluções desenvolvidas neste contexto têm abrangido o cuidado ao paciente e o profissional da saúde, buscando permitir o monitoramento através do uso de dispositivos não invasivos e outras aplicações que beneficiam o atendimento em saúde. O presente capítulo apresenta considerações a respeito de Internet das Coisas e Ambientes Inteligentes, incluindo uma breve fundamentação teórica destacando as normas do International Telecommunication Union - Telecommunication para esta área, aplicações que têm sido desenvolvidas nos últimos anos incluindo tanto a Internet das Coisas quanto o uso de Inteligência Artificial, seguindo com reflexão dos principais desafios e barreiras associados à área de cuidados da saúde. É apresentada uma análise das pesquisas desenvolvidas na área e que se encontram reportadas em publicações relevantes dos últimos anos. No final do capítulo são apresentados os esforços Brasileiro e da Comunidade Européia em regulamentar o uso da Inteligência Artificial para mitigar os riscos de impacto na sociedade e no cidadão.*

<sup>1</sup>Professora da Universidade Federal de Santa Catarina, [analucia.morales@ufsc.br](mailto:analucia.morales@ufsc.br), <http://lattes.cnpq.br/1734491043363752>

<sup>2</sup>Professor da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, [silvioc@ufcspa.edu.br](mailto:silvioc@ufcspa.edu.br), <http://lattes.cnpq.br/9173977294178020>

## 1.1. Introdução

Em 2022 o site do Unfoldabs<sup>3</sup> apresentou uma compilação, em um infográfico, sobre tecnologias que se encontravam em destaque quanto a investimentos naquele ano. Nesta compilação foi destacada a Internet das coisas (do inglês, *Internet of Things-IoT*), com uma previsão de investimento de 1,39 trilhões de dólares até 2026 , uma previsão de investimento de 726 bilhões de dólares até 2028 em Assistência Médica focada em Medicina Personalizada e previsão de investimento de 0,4 trilhões de dólares até 2024 em Inteligência Artificial (IA). Estes valores robustos em investimentos mundiais acabaram por incentivar de forma efetiva o desenvolvimento de uma série de soluções baseadas nestas tecnologias, o que pode ser evidenciado na publicação da *Food and Drug Administration* (FDA) dos Estados Unidos, com a listagem de dispositivos médicos habilitados para inteligência artificial e aprendizado de máquina<sup>4</sup> , lista que teve acréscimo de 178 dispositivos no final do ano de 2022, totalizando 522 dispositivos habilitados pelo órgão.

No Brasil, o relatório técnico de 2022, redigido pelo Comitê Técnico de Prospecção de Saúde Digital (CT-SD) da Rede Nacional de Pesquisa (RNP)<sup>5</sup>, denominado “Relatório Técnico: Visão do Futuro da Saúde Digital”, destaca a relevância e potencial da Inteligência Artificial aplicada a Saúde, sendo importante observar questões relacionadas à ética, usabilidade, adequação e aplicabilidade, identificando relações com a educação em saúde, o que recai na conhecida educação permanente do profissional da saúde e aspectos relacionados à segurança cibernética e pesquisa. O relatório destaca a importância de observar o alinhamento entre a Inteligência Artificial e a Internet das coisas , Internet Médica das Coisas (do inglês, *Internet of Medical Things- IoMT*), dados do mundo real na saúde (do inglês, *Real World Data*) e evidências do mundo real (do inglês, *Real World Evidences*) (RNP, 2023). Segundo o relatório, uma linha de pesquisa relevante para a Saúde Digital se refere a tecnologias móveis e apresenta como solução a ser explorada de forma ampla e no curto prazo a “Internet das Coisas aplicada a Serviços de Saúde”. Outras soluções nesta mesma linha são destacadas, como o auxílio ao diagnóstico e seguimento de agravos em saúde; monitoramento remoto de pacientes, melhora na adesão ao tratamento de doenças crônicas; captura de dados de desfechos reportados pelos pacientes e soluções acopladas a plataformas de diagnóstico POC (*Point Of Care*) entre outras. Outra linha de pesquisa foca na importância dos biossensores móveis, os vestíveis e "ingeríveis", destacando os dispositivos como sensores fisiológicos para coleta contínua de dados elétricos, ópticos, sonoros e cinéticos para monitoramento de parâmetros clínicos e o uso de biossensores móveis para melhoria de processos de

---

<sup>3</sup> A UnfoldLabs é uma provedora de tecnologia e soluções referentes a experiência do Cliente com sede em San Diego, Califórnia. <https://unfoldlabs.com/infographics/top-22-technology-trends-2022.html>

<sup>4</sup><https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-ai/ml-enabled-medical-devices>

<sup>5</sup> Organização social brasileira vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e mantida por esse, em conjunto com os ministérios da Educação (MEC), das Comunicações (MCom), Turismo, Saúde (MS) e Defesa (MD), que participam do Programa Interministerial RNP (PRO-RNP).

gestão em saúde, entre outros (RNP, 2023).

Cabe ressaltar os esforços nacionais e regionais que buscam promover o desenvolvimento da Inteligência Artificial aplicada à Saúde tendo linhas de pesquisa e eixos alinhados com demandas apresentadas no “Relatório Técnico: Visão do Futuro da Saúde Digital”. Destaca-se o esforço do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) juntamente com órgãos de fomento em apoiar via editais públicos o desenvolvimento de Centros de Pesquisa, como o “Centro de Inovação em Inteligência Artificial para a Saúde”<sup>6</sup>, coordenado pela Universidade Federal de Minas Gerais, caracterizado como um centro de pesquisa e desenvolvimento de soluções avançadas de Inteligência Artificial, com competência para ajudar profissionais de saúde no diagnóstico e tratamento de doenças, bem como orientar gestores de saúde na programação de ações de prevenção e organização da assistência à saúde. Este centro agrega mais de cento e cinquenta pesquisadores, oriundos da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Pelotas, Universidade Federal do Amazonas, Universidade Estadual do Amazonas, Faculdade de Engenharia de Sorocaba e empresas parceira, estando organizado em quatro linhas de pesquisa: Ética e Valores Humanos, Modelos e Algoritmos, Gerenciamento e Engenharia de Dados, e Sistemas Computacionais.

Neste cenário destaca-se também o “Centro de Inteligência Artificial aplicada à Saúde”<sup>7</sup> coordenado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que se constitui em uma rede aprovada no Programa de Redes Inovadoras de Tecnologias Estratégicas (RITEs) do estado do Rio Grande do Sul, tendo por objetivo desenvolver pesquisa científica de excelência e gerar tecnologia e inovação tendo como Eixo Estratégico Prioritário “Ciência de Dados e Inteligência Artificial” e como Tecnologia Estratégica Predominante “Inteligência Artificial” e “Computação em Nuvem”. Este centro agrega quarenta e quatro pesquisadores, das áreas da Ciência da Computação e da Ciências da Saúde, oriundos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Pelotas, Universidade de Évora, Universidade Federal de Rio Grande, Universidade Federal de Santa Maria, Universidade de Passo Fundo, e pesquisadores associados ao Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA), Hospital São Lucas da PUCRS, Hospital Universitário Dr. Miguel Corrêa Jr. (da FURG) e Hospital Mãe de Deus, e às startups Noharm.ai e Epigenica Biosciences. A rede conta com a colaboração da UNIMED Porto Alegre e da empresa NVidia.

Todo este cenário atual favorável para o desenvolvimento de pesquisas em Inteligência Artificial e Internet das Coisas, já era observado em 2018 com previsão nacional que se alinham com as apresentadas em perspectiva mundial. De acordo com o

---

<sup>6</sup> <https://ciia-saude.dcc.ufmg.br/>

<sup>7</sup> <https://www.ufrgs.br/ciars/>

relatório do Ministério da Ciência e Tecnologia, foi estimado que até 2025, no mundo, a Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) apresentando um impacto econômico de cerca de US\$ 4 a 11 trilhões, valor muito maior que a robótica avançada, as tecnologias de sistemas de nuvem (*cloud computing*), e superando até mesmo a rede de internet móvel. No Brasil, de acordo com o documento, o impacto potencial atingirá cerca de US\$ 50 a 200 bilhões nos próximos anos, valor que representa aproximadamente 10% do PIB brasileiro (BNDES, 2018). Internet das Coisas é considerada chave no movimento de transformação digital da indústria e trata-se de um instrumento para o desenvolvimento sustentável da sociedade brasileira. Potencializando a competitividade econômica, fortalecendo as cadeias produtivas brasileiras e promovendo uma melhoria da qualidade de vida. Entre os eixos do estudo, a saúde foi apontada como uma das áreas estratégicas, tendo como objetivo contribuir para a ampliação do acesso à saúde de qualidade no Brasil, através de uma visão integrada dos pacientes, descentralização da atenção à saúde, e da melhoria da eficiência das unidades de saúde. Foram elencados os principais desafios para a saúde, entre eles: (1) tratamento de doenças crônicas; (2) tratamento de doenças infectocontagiosas; (3) promoção e prevenção da saúde; e (4) melhoria na eficiência de gestão. No entanto, até o momento, a Internet das Coisas não foi implantada de forma integral, existem muitos trabalhos publicados na literatura científica nacional e internacional, consistindo na sua maioria soluções ainda sem maturidade de pesquisa, apresentando trabalhos em nível de conceitos a protótipos com poucos testes efetivos de população (BNDES, 2017).

Internet das Coisas associada às técnicas de inteligência artificial para muitos autores têm sido considerado um dos mais poderosos paradigmas da atualidade, capaz de compartilhar dados de todas as coisas através do globo, usando mecanismos de comunicação avançado e aplicando recursos de inteligência artificial para melhorar as condições de serviços de saúde (Qadri et al., 2020). Entre os avanços destacam-se melhorias em processos diagnósticos, monitoração remota de pacientes e outros recursos que poderão auxiliar a enfrentar problemas futuros ligados à área de saúde. Neste contexto, será necessário compreender melhor os conceitos e estruturas computacionais necessárias para a implantação de Internet das Coisas e IA na área de atenção à saúde e seus desafios. Entre os fundamentos a serem aprofundados estão propostas de arquiteturas, plataformas, protocolos de comunicação, dificuldades relacionadas à transmissão sem fio, e uso de dispositivos sensores invasivos e não invasivos, que compõem o ecossistema de Internet das Coisas em saúde (Habibzadeh et al., 2020; Nasajpour et al., 2020; Sadoughi et al., 2020).

Os efeitos do vírus SARS-COV-2 sob a população mundial foram devastadores, demonstrando a fragilidade dos sistemas de saúde em todo o mundo. Esta situação real de enfrentamento do COVID-19 demonstrou que os sistemas de saúde não estavam preparados para uma situação totalmente imprevisível como esta. Métodos alternativos para mitigar a propagação da doença, tais como, isolamento social, medidas severas de quarentena (*lockdown*), monitoração e atendimento remoto e o rastreamento de contatos dos casos de infectados, foram algumas das medidas adotadas no mundo todo como alternativa para combater a pandemia. Outro fator preocupante que poderá gerar

sobrecarga nos sistemas de saúde será o aumento do envelhecimento da população, apontado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um grande desafio a ser mitigado nos próximos anos (OMS, 2015). Estas questões ajudam a compreender o interesse em desenvolvimento tecnológico para esta área. A ampliação da saúde digital e o uso de dispositivos tecnológicos e remotos, poderá melhorar o atendimento em países em desenvolvimento, principalmente onde os recursos para a população são escassos ou quase inexistentes. Existem diversos trabalhos direcionados ao uso de tecnologia em saúde, que é apontada como alternativa para os problemas de saúde em termos de redução de custos, personalização no atendimento de pacientes e gerenciamento de recursos de gestão hospitalar.

Um outro fator importante a destacar é o crescimento da indústria de eletrônicos e sistemas de transmissão, que nos últimos anos apresentou novos sistemas que permitem a infraestrutura necessária para o desenvolvimento de Internet das Coisas nas áreas de interesse do setor público e privado. As redes de comunicação avançaram e em muitos países, o uso de redes 5G já é uma realidade, o que reduz problemas de transmissão que até poucos anos eram impossíveis de se resolver. A rede 5G permite velocidades de transmissão de dados para soluções em tempo real conectando dispositivos de Internet das Coisas, servidores e bancos de dados. Esses dispositivos poderão diminuir o tempo de internação hospitalar de pacientes, mantendo os médicos conectados com seus pacientes regularmente pós-alta hospitalar, resultando em um melhor acompanhamento destes pacientes e promovendo a redução de reincidência em internações que possuem altos custos para a saúde pública (Devi et al., 2023). Além disso, os serviços remotos poderão reduzir as visitas desnecessárias aos ambientes de saúde, como ocorre em acompanhamento de pacientes de doenças crônicas, reduzindo os custos de saúde. Beneficiando pacientes e governos que cobrem parte dos custos de saúde. De certa maneira reduzir o número de visitas físicas, permite que os profissionais de saúde ofereçam melhor qualidade de serviços aos pacientes que precisam de atenção médica imediata. A pandemia de COVID-19 provou a importância de não sobrecarregar os ambientes clínicos e hospitalares com doenças mais leves (Kakhi et al., 2022).

Recursos para monitorar o sono, rastreadores de atividades físicas, dados fisiológicos e genômicos, ferramentas para diagnóstico de doenças, sensores para identificação rápida de problemas de saúde, irão ajudar as pessoas a permanecer ativas e saudáveis por um período de tempo muito mais longo. Os cuidados com a saúde são universais em um mundo onde as barreiras físicas e geográficas não limitam os tratamentos e diagnósticos disponíveis. As pessoas estarão mais conscientes a respeito da sua saúde e bem-estar e irão buscar recursos e terapias especializadas baseadas nas suas necessidades e composição molecular/genética. Tudo isso exigirá um novo nível de análise de dados, tornando o recurso de IA capaz de personalizar as demandas de cada indivíduo, tornando o sistema de assistência inteligente e integrado aos recursos de Internet das Coisas (Shetty et al., 2023). Ressalta-se que existem questões desafiadoras para estas áreas associadas ao uso de recursos tecnológicos de saúde digital e IA associados aos cuidados de saúde. Nestes últimos anos foram publicadas muitas revisões sistemáticas sobre *machine learning* aplicado à área da saúde incluindo

questões sobre o uso destas técnicas para auxílio na tomada de decisões (Deo, 2015; Rajkomar et al., 2019; Rayan et al., 2018; Scarpato et al., 2017). Sistemas inteligentes têm sido propostos para auxiliar em diagnósticos de doenças cardiovasculares, glaucoma, tipos de câncer, entre outros (Scarpato et al., 2017). Existem artigos científicos que apresentam investigação sobre as doenças mentais e emocionais (Morales et al., 2021; Rayan et al., 2018; Tiffin & Paton, 2018). O constante acompanhamento de pacientes com doenças crônicas, é uma outra forma alinhar a “IoT em atenção à saúde” e recursos e técnicas de aprendizado de máquinas que permitem uma personalização ao atendimento dos pacientes (Qadri et al., 2020; Rayan et al., 2018). Neste caso, existe ainda a preocupação em fornecer ferramentas adequadas para auxiliar na tomada de decisões médicas e no acompanhamento de atividades e monitorações constantes dos pacientes (Morales et al., 2021).

O presente capítulo apresenta considerações a respeito de IoT e ambientes inteligentes, incluindo os desafios associados à área de cuidados da saúde. Soma-se o que tem sido proposto recentemente na literatura científica, associado aos três anos de investigação por parte dos autores deste capítulo com artigos publicados envolvendo o tema, capítulos nacionais e internacionais já publicados, e através da disciplina denominada “Tópicos Especiais: Internet das Coisas e Ambientes Inteligentes no contexto da Saúde”, ministrada pelos autores no Programa de Pós-graduação em Tecnologia da Informação e Gestão em Saúde (PPG-TIGSaúde<sup>8</sup>) da Universidade Federal em Ciências da Saúde de Porto Alegre.

Este capítulo encontra-se organizado em cinco seções, incluindo a Introdução e Conclusão. Na seção 2 é apresentada a fundamentação teórica com embasamento dos conteúdos fundamentais deste capítulo, a Internet das Coisas em Saúde e Sistemas Inteligentes. A seção 3 apresenta aplicações e perspectivas no âmbito de sistemas inteligentes e Internet das Coisas. Algumas questões relativas aos desafios pontuais para o desenvolvimento e implantação de Sistemas Inteligentes e Internet das Coisas em saúde são discutidas na seção 4.

## 1.2. Fundamentação Teórica Internet das Coisas e Sistemas Inteligentes

### 1.2.1. Internet das Coisas para saúde

Diferentes versões têm sido associadas ao tema Internet das Coisas em saúde, na literatura são encontrados diferentes termos, como: *medicine 4.0*, *health 2.0*, *e-Health*, *Internet of Medical Things*, ou ainda *IoT framework for healthcare* (IoTHeF). Além disso, uma série de novas definições vêm sendo relacionadas aos temas sobre saúde e tecnologia, principalmente saúde digital (Al-Turjman et al., 2020; Habibzadeh et al., 2020; Minh Dang et al., 2019; Muhammed et al., 2018; Qadri et al., 2020), recentemente o termo *IoT Based Green Healthcare System* foi mencionado para se referenciar a uma plataforma que prevê a redução de gasto de energia com sensores

<sup>8</sup> <https://www.ufcspa.edu.br/vida-academica/pos-graduacao/mestrado-e-doutorado/tecnologias-da-informacao-e-gestao-em-saude>

(Islam & Bhuiyan, 2023). Embora seja muito difícil produzir uma taxonomia formal e precisa com tantos novos termos que têm surgido, alguns autores se arriscam em definições sobre o tema (Aceto et al., 2018). No presente capítulo, será adotado como nomenclatura Internet das Coisas em Saúde, que corresponderia em inglês ao termo *Healthcare Internet of Things (HIoT)*. Trata-se do ecossistema composto por diversos sensores, recursos de comunicação incluindo protocolos e dispositivos, *gateways* e servidores em nuvem para a infraestrutura e armazenamento, e o que mais for necessário para coletar dados, processá-los, analisá-los, tomar decisões e vincular as ações relacionadas à comunidade de saúde envolvida, sejam pacientes, médicos ou profissionais de saúde. O espaço para a implantação pode ser um hospital, uma unidade de saúde, uma clínica, uma residência, ou até mesmo, todo este contexto inserido em um universo maior denominado cidade inteligente, onde todas as áreas e coisas estão interligadas. Neste caso, poderão ainda ser incluídos diferentes recursos para atendimento de emergências tais como controle de tráfego urbano (Al-Turjman et al., 2020).

**Tabela 1– Vantagens e Desvantagens de Internet das Coisas em Saúde**

Vantagens	Desvantagens
Monitoramento em tempo real dos sinais vitais dos pacientes, permitindo um acompanhamento mais efetivo e ágil.	Preocupações com privacidade e segurança dos dados pessoais dos pacientes.
Diagnósticos mais precisos melhorando a tomada de decisão devido o acesso aos dados de forma constante e precisa.	Custo elevado dos dispositivos de Internet das Coisas e de sua implementação no sistema de saúde.
Melhoria da eficiência dos cuidados de saúde, concentração centrada nos pacientes e acompanhamento das informações.	Possíveis problemas técnicos e de manutenção dos dispositivos de Internet das Coisas devido a comunicação sem fio e uso de dispositivos com baterias.
Redução de erros médicos e aumento da segurança do paciente.	Potenciais limitações do alcance da tecnologia, como é o caso da cobertura de telefonia móvel 5G.
Melhora da comunicação entre médicos e pacientes, permitindo acesso fácil e constante às informações de saúde.	Possível dificuldade em integrar a tecnologia com o sistema de saúde já existente.

Existem camadas neste ecossistema projetadas para atender as necessidades computacionais de um problema extremamente complexo, que envolve um enorme volume de dados multimodais, problemas de transmissão e necessidade de redução de latência (atrasos) para dados em tempo real, privacidade de informações de pacientes, integração e interoperabilidade de todo este ecossistema. Na Tabela 1 são apresentados algumas vantagens e desvantagens identificados em pesquisas conduzidas nos últimos anos sobre Internet das Coisas aplicada à saúde.

### 1.2.2. Infraestrutura de Internet das Coisas

A infraestrutura para Internet das Coisas tem sido recomendada pela *International Telecommunications Union* (ITU), através do documento Y.2060 – *Overview of the Internet of Things*, publicada em 2012, posteriormente renomeada sem alterações em 2016 para *International Telecommunication Union - Telecommunication* (ITU-T) Y.4000 (ITU, 2012). Neste documento um dispositivo para Internet das Coisas é considerado:

*"Um dispositivo é um equipamento com capacidades obrigatórias de comunicação e capacidades opcionais de detecção, atuação, captura de dados, armazenamento de dados e processamento de dados. Os dispositivos coletam vários tipos de informações e as fornecem às redes de informação e comunicação para posterior processamento. Alguns dispositivos também executam operações com base nas informações recebidas das redes de informação e comunicação".*

Do ponto de vista da Internet das Coisas ou IoT, um dispositivo pode ser qualquer coisa que possua recursos de comunicação. A heterogeneidade presente nos dispositivos IoT é uma das características que tornam o desenvolvimento de soluções IoT bastante complexas. Segundo este mesmo documento, apresenta a seguinte definição:

*"A Internet das coisas (IoT) pode ser percebida como uma visão de longo alcance com implicações tecnológicas e sociais. Do ponto de vista da padronização técnica, a IoT pode ser vista como uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados interconectando coisas (físicas e virtuais) com base em tecnologias de informação e comunicação (TIC) interoperáveis existentes e em evolução. Através da exploração de capacidades de identificação, captura de dados, processamento e comunicação, a IoT faz pleno uso de "coisas" para oferecer serviços a todos os tipos de aplicativos, garantindo que os requisitos de segurança e privacidade sejam atendidos".*

O documento ainda define coisas como objetos pertencentes ao mundo físico, ou ao mundo ciberfísico, sendo denominada de mundo da informação. Estas coisas podem ser identificadas e integradas através de redes de comunicação. As coisas possuem informações associadas, e podem ser estáticas ou dinâmicas. As coisas físicas existem no mundo físico e são capazes de serem sentidas, acionadas e conectadas. Exemplos de coisas físicas apresentadas pelas recomendações ITU-T incluem: o ambiente ao redor, robôs industriais, bens e equipamentos elétricos. As coisas virtuais existem no mundo da informação e podem ser armazenadas, processadas e acessadas. Exemplos de coisas virtuais apresentadas incluem conteúdo multimídia e software aplicativo. Adicionalmente, foram criados uma série de documentos ITU-T para recomendar os requisitos de aplicações e capacidades envolvendo a infraestrutura para ecossistemas de IoT, principalmente relacionado às cidades inteligentes. Ressalta-se que estes documentos estão escritos em língua inglesa no Portal da ITU<sup>9</sup> (Tabela 2).

<sup>9</sup> <https://www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx>

**Tabela 2 - Lista das recomendações ITU-T série Y para Internet das Coisas e Cidades Inteligentes**

INTERNET OF THINGS AND SMART CITIES AND COMMUNITIES	
General	Y.4000-Y.4049
Definitions and terminologies	Y.4050-Y.4099
Requirements and use cases	Y.4100-Y.4249
Infrastructure, connectivity and networks	Y.4250-Y.4399
Frameworks, architectures and protocols	Y.4400-Y.4549
Services, applications, computation and data processing	Y.4550-Y.4699
Management, control and performance	Y.4700-Y.4799
Identification and security	Y.4800-Y.4899
Evaluation and assessment	Y.4900-Y.4999

O modelo de referência introduzido em 2012, apresenta uma estrutura genérica com quatro camadas: camada de aplicação, camada de suporte à aplicação e serviço, camada de rede e camada de dispositivos. A distribuição destas funções, apesar de ser definida em 2012, não foram especificadas com maior profundidade em documentos posteriores. Foram identificados requisitos funcionais para o desenvolvimento dos sistemas IoT, categorizados como (ITU, 2014):

- Requisitos de suporte de aplicativos;
- Requisitos de serviço;
- Requisitos de comunicação;
- Requisitos do dispositivo;
- Requisitos de gerenciamento de dados;
- Requisitos de segurança e proteção de privacidade.

Bem como, requisitos não funcionais elencados como: interoperabilidade, escalabilidade, confiabilidade, alta disponibilidade, adaptabilidade e gerenciabilidade (ITU, 2014). Entre a série de documentos citados, o modelo de referência de arquiteturas para dispositivos apresentado, utiliza uma classificação de dispositivos para aplicações IoT, com base em suas capacidades de processamento e conectividade; empregando entidades funcionais e interação dessas entidades funcionais para um modelo de referência de arquitetura para cada uma destas condições. Portanto, foram apresentadas três referências de arquiteturas para os dispositivos (ITU, 2019).

- Dispositivo *high processing and high connectivity* (HPHC): Um dispositivo IoT que não apenas possui alta capacidade de conectividade, permitindo que ele se

conecte diretamente a aplicativos e serviços em nuvem, mas também possui capacidade de processamento alta o suficiente para tomar decisões e executar algoritmos complexos (por exemplo, inteligência artificial (IA) algoritmos relacionados). Os dispositivos possuem características autônomas, tomando decisões sobre suas próprias funções e também coordenando outros dispositivos dentro do ecossistema.

- Dispositivo *low processing and high connectivity* (LPHC): Um dispositivo IoT que atua apenas como uma interface para coleta de dados de coisas físicas ou do ambiente que ele pertence e/ou realiza operações em coisas físicas ou deste ambiente. O dispositivo apresenta recursos de conectividade suficientes para se conectar diretamente às redes de comunicação.
- Dispositivo *low processing and low connectivity* (LPLC): Um dispositivo IoT que atua apenas como uma interface para coleta de dados de coisas físicas ou do ambiente e/ou executa operações em coisas físicas ou do ambiente. Este dispositivo não possui recursos de processamento suficientes para tomar decisões ou executar algoritmos complexos; ele também não possui recursos de conectividade suficientes para se conectar diretamente às redes de comunicação.

Apesar de todo esforço que vem sendo empregado e resumido até aqui, o tema apresenta alta complexidade, dificultando que um único padrão permita o desenvolvimento de dispositivos de Internet das Coisas e suas aplicações. Além disso, nos últimos anos têm surgido novos protocolos de comunicação e novos dispositivos que integram as características definidas pelos documentos como dispositivos, sejam coisas físicas ou digitais. Com relação à área da saúde, nestes documentos não foram apresentados modelos de referência específicos, mas as informações apresentadas até aqui auxiliam no entendimento de requisitos funcionais e não funcionais para esta área. É interessante ressaltar algumas diferenças entre a Internet das Coisas e a Internet das Coisas aplicada à saúde, destacadas em (Qadri et al., 2020) com relação à abrangência de atuação, que na Internet das Coisas engloba uma grande área geográfica servindo a um único propósito.

Quando aplicada à área da saúde tem sua área de atuação mais restrita, em uma área fechada, dentro ou ao redor do corpo humano ou em uma unidade de saúde. Com relação a alimentação e fontes de energia, para a Internet das Coisas, as fontes de energia podem incluir energia solar e eólica em casos de aplicações no meio ambiente, e em casos de nós estacionários, os nós podem ser alimentados continuamente. Enquanto que aplicado à saúde, os nós podem coletar energia do corpo humano usando calor ou movimento, ou deixar a responsabilidade de manter o fornecimento de energia como uma preocupação para o usuário. Quando se trata de aplicações em ambientes de vida assistida, os nós podem ser alimentados continuamente por fontes de energia padrão presente nas unidades de saúde. A Internet das Coisas pode monitorar o ambiente, empregada em aplicações de defesa, monitoramento industrial ou até mesmo para identificar problemas em estradas urbanas. Enquanto que a saúde é utilizada para monitorar os sinais vitais do corpo humano ou dados relacionados ao ambiente. E para

finalizar, a integridade dos dados é mantida e existe a possibilidade de redundância para compensar os erros, dependendo do tipo de aplicação. A questão dos dados quando analisada do ponto de vista da saúde existe uma preocupação ainda maior, pois os dados devem ser preservados e transmitidos com a máxima integridade e privacidade das entidades envolvidas.

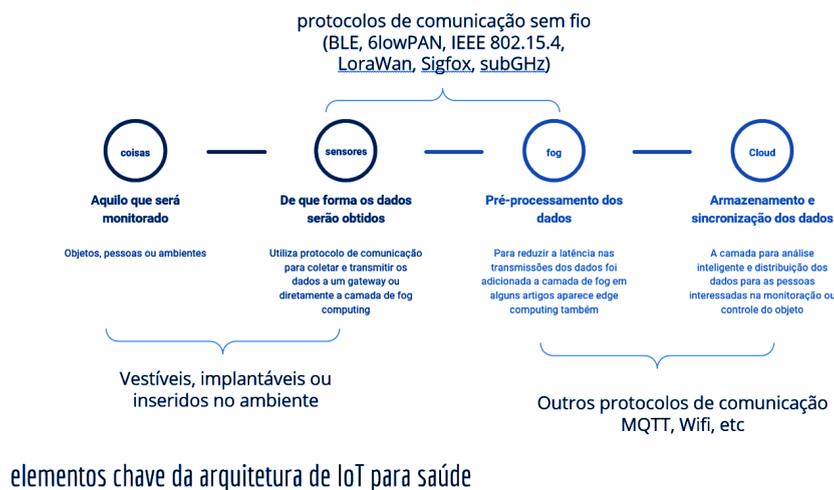
### 1.2.3. Arquitetura Internet das Coisas para saúde

Trata-se de um problema complexo que envolve a coleta, a distribuição, o processamento e a análise de um volume surpreendente de informações. A tecnologia permite que uma variedade de sensores possa monitorar sinais vitais, como pressão arterial, temperatura corporal, eletrocardiograma, saturação de oxigênio, e outros, facilitando a vida dos pacientes para tomarem seus medicamentos e serem supervisionados à distância, permitindo que diariamente sejam transmitidas informações aos médicos, que irão propor medicamentos e métodos de exercícios para ajudá-los a melhorar sua qualidade de vida (Islam & Bhuiyan, 2023).

Uma forma de reduzir a complexidade para solução do problema, em termos de implantação dos recursos tecnológicos necessários, utiliza-se arquitetura em camadas. É importante salientar que cada camada tem uma função específica, e no presente capítulo serão consideradas as camadas necessárias para ilustrar a infraestrutura de implantação de um IoT para saúde com base em requisitos necessários para as aplicações na área da saúde. Em (Qadri et al., 2020) são apresentadas três camadas: a primeira camada, composta pelos sensores, considerada a extremidade aberta da rede, por onde os dados são acessados. A segunda camada corresponde a camada de comunicação, através da qual os dados captados são transmitidos à terceira camada, ou camada de processamento, onde os dados são analisados. Em alguns casos, há uma quarta camada, representada pelos hospitais, ambulâncias ou redes de fornecimento de medicações. Em (Morales et al., 2021) foram identificados diversos trabalhos onde diferem o número de camadas empregadas para a implementação de IoT para a saúde. Ficando evidente a necessidade de uma camada de coisas (aquisição de dados), uma camada para comunicação e uma camada para a sincronização e processamento dos dados. Devido à alta complexidade já mencionada e o volume de informações a ser processado, tem sido incluído nas soluções uma camada intermediária entre a aquisição de sinais e o encaminhamento para a nuvem, conhecida como computação de borda ou névoa (em inglês, *fog* ou *edge computing*). No contexto da IoT em saúde são elementos muito importantes pois auxiliam a evitar perda de dados, auxiliam a reduzir o tempo de latência (atrasos), e podem ser auxiliares na construção de implementações de privacidade e segurança (Kashyap et al., 2022).

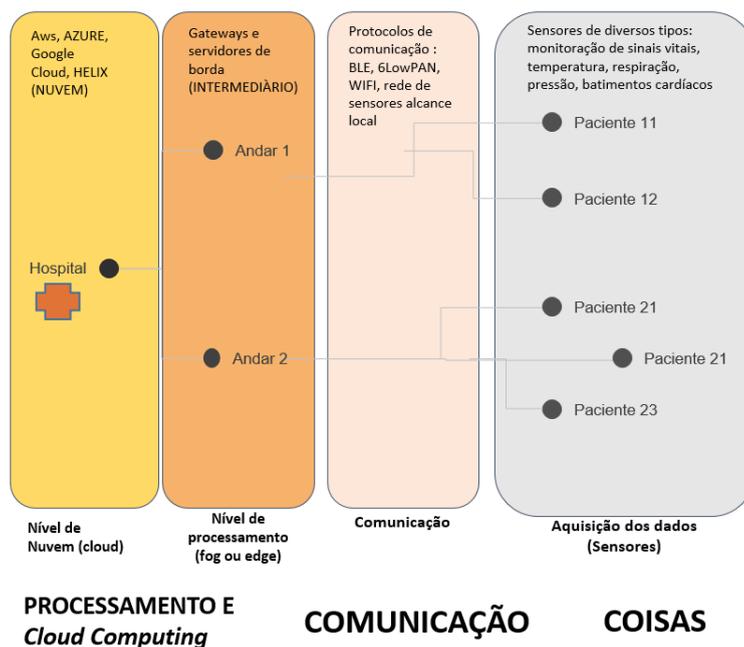
Algumas lacunas ainda estão sem soluções e são considerados desafios a serem resolvidos para a efetividade de sistemas IoT em saúde. No entanto, alguns dos problemas são minimizados pela presença de computação de borda ou névoa. Este tipo de estratégia auxilia o compartilhamento dos dados de forma eficiente e fornece uma resposta rápida aos usuários da área de saúde. Os dispositivos baseados em IoT

enfrentam inúmeros desafios, incluindo descontinuidade de dados, informações desconhecidas e grandes quantidades de transmissão de dados que poderão ser gerados pelo volume de dispositivos. Em transmissões sem fio ocorrem com muita frequência erros de bit e perda de pacotes. No setor de saúde, os dados gerados por dispositivos IoT, importantes para o diagnóstico e monitoração de pacientes poderão ser perdidos durante a transmissão. Esta camada adicional pode reduzir a quantidade de erros pois é um processamento mais próximo de onde os dados estão sendo gerados. A latência também pode ser reduzida devido a esta camada adicionada em ambientes de saúde (Abdel-Basset et al., 2019).



**Figura 1 - Elementos para uma arquitetura de IoT para saúde**  
Fonte: (próprio autores)

A Figura 1 apresenta as funcionalidades mínimas para o contexto de Internet das Coisas em saúde. Um nível de coisas como recomenda o ITU, em que os dados geram sinais e estes são transmitidos através de uma camada de comunicação. Com a diversidade de dispositivos e a integração de redes corporais ou de redes de comunicação utilizadas em outros ambientes fica difícil apresentar um único tipo de dispositivo ou protocolo para esta área. Uma camada intermediária que pode realizar funções de pré-processamento, análise e segurança considerada mais próxima dos sensores, e por último uma camada de armazenamento de nuvem e sincronização dos dados. Imagine o volume massivo de dados sendo transmitidos de uma monitoração de pacientes, considerando a cada unidade de tempo dados de centenas de pacientes para apenas um link de armazenamento de uma única vez? Onde seriam armazenados tantos dados puros sem pré-processamento? Qual seria a necessidade de capacidade de armazenamento de uma nuvem para um sistema de monitoração para um único hospital? Respostas impossíveis de imaginar, pois a infraestrutura para cobrir a IoT em saúde necessita ainda garantir questões relacionadas a latência sobre o tempo de resposta dos sensores e a segurança e privacidade dos dados.



**Figura 2- Exemplo de distribuição de funções em um IoT em saúde em hospital.**  
**Fonte: (próprio autores)**

A Figura 2 ilustra uma forma de atender um sistema para um hospital, distribuindo as funções por andares do hospital, em que os dados sejam coletados por sensores e os pacientes identificados por “Ids” e cada um destes conjuntos de identificadores poderiam ser agrupados por sistemas de névoa considerando os andares em que se encontram alocados estes pacientes. Desta forma, o processamento local em névoa seria categorizado para reduzir a latência e processar as informações de forma mais rápida para atender estes pacientes. A camada de comunicação não aparece, mas é a responsável por transmitir as informações de sensores para os elementos da névoa e depois para a sincronização do próprio hospital. Neste modelo pode-se reduzir a latência, melhorar o tempo de resposta, otimizar o tráfego de rede e utilização da largura de banda, melhorar a segurança dos dados e privacidade dos dados, aperfeiçoar e melhorar a qualidade de serviço relacionado ao volume de dados a serem gerados por sensores dentro de um ambiente hospitalar. Parâmetros de simulação muito semelhante foram testados através do protocolo de comunicação 6LowPAN/RPL empregando dispositivos Internet das Coisas usando nodos estacionários no simulador Contiki-OS/COOJA, mapeando diferentes cenários para confirmar questões relacionadas ao comportamento de uma rede considerando a performance diante da alta densidade de sensores em um ambiente interno hospitalar (Cieslak, 2021).

#### 1.2.4. Camada das Coisas

Para oferecer benefícios significativos para o bem-estar dos indivíduos, melhorando a qualidade de vida e reduzindo custos com as despesas médicas. A camada

de coisas tem papel fundamental, trata-se dos elementos essenciais constituídos por coisas ou pessoas que utilizam de dispositivos sensores sem fio. Sensores ou ainda como pode ser encontrado na literatura, chamados de biossensores, podem detectar vários tipos de informações sobre a saúde corporal. Esses sensores podem ser enunciados como: vestíveis, ingeríveis ou implantáveis. Sensores vestíveis são normalmente colocados na superfície da pele para obter sinais importantes, como frequência cardíaca, frequência respiratória, saturação de oxigênio no sangue e pressão arterial. Os sensores ingeríveis geralmente estão em contato com a mucosa do corpo como por exemplo, sensor de avaliação de glicose e liberação de insulina, enquanto os sensores implantáveis geralmente estão em contato direto com tecidos humanos (Koydemir & Ozcan, 2018).

Portanto, os sensores são componentes essenciais em qualquer sistema que necessita coletar dados de grandezas físicas ou químicas, detectando indicadores fisiológicos ou marcadores patológicos, que podem auxiliar no diagnóstico, tratamento e monitoramento de doenças em longo prazo. Associando estes dispositivos e Internet das Coisas, e adicionando a inteligência artificial (IA), os sensores vêm se tornando essenciais nas investigações de tecnologias na área da saúde da nova geração (Lu et al., 2023). A aquisição de dados no contexto de IoT em saúde ainda pode ser encontrada como sensores invasivos ou minimamente invasivos, ou ainda, não invasivos. Os sensores invasivos ou minimamente invasivos são ingeríveis ou implantáveis, mas podem também ser encontrados como adesivos com micro agulhas. Destaca-se, no entanto, que a escolha dos tipos de sensores está diretamente ligada ao desenvolvimento da aplicação. Os sensores têm auxiliado em promover o diagnóstico de diferentes tipos de doenças crônicas ou mentais, monitoração de idosos, acompanhamento de doenças cardíacas, cuidados com a pele, monitoração de atividades físicas, acompanhamento de atividades diárias para pessoas com algum tipo de disfunção motora (Al-Turjman et al., 2020).

Considerando a área da saúde, os dispositivos a serem empregados poderão apresentar características associadas à potência e transmissão de sinais, tendo como características diferentes: a potência transmitida, a capacidade de transmissão, a memória, o gasto energético e uso de baterias, e o tipo de conectividade para a transmissão dos dados. De fato, existem muitos produtos no mercado que têm sido utilizados em protótipos para as coletas de dados, mas também tem sido encontrado na literatura propostas para vestíveis para coletar dados de forma não invasiva com aplicações bem específicas (Dunn et al., 2018; Seneviratne et al., 2017).

Considerando os conceitos apresentados pela ITU-T discutidos na seção anterior, pode-se afirmar que os dispositivos vestíveis encontrados nos estudos em saúde, concentram-se nos tipos LPHC e LPLC. As características dos dispositivos encontrados na literatura científica demonstram que a capacidade de processamento e transmissão muitas vezes são restritas às tecnologias de baixo alcance devido ao tamanho reduzido dos dispositivos desta área (Seneviratne et al., 2017). Ficando os dispositivos com maior capacidade de processamento e conexão (HPHC) destinados a função de gateways ou de

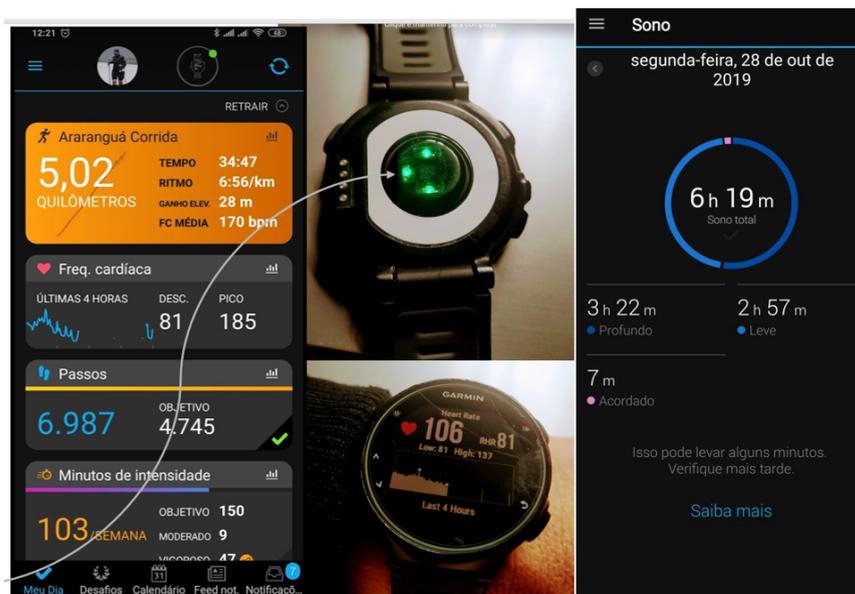
monitoração de ambientes de vida assistida destinados a aplicações em saúde (Marques et al., 2019).

### 1.2.5. Sensores não invasivos

Existe uma diversidade de sensores que vêm sendo pesquisados para uso em sistemas de IoT em saúde. Os dispositivos vestíveis podem ser categorizados como acessórios, e-têxteis ou e-adesivos. Podendo variar as tecnologias de comunicação, presença de bateria, informações sobre a duração da bateria, recursos de segurança e material de fabricação. Uma lista de 100 produtos existentes no mercado e protótipos em desenvolvimento são analisados dentro destas categorias é destacado que um dos principais desafios para os vestíveis é a segurança e integridade das informações (Seneviratne et al., 2017). Entretanto, esta é uma área que tem crescido muito com excelentes resultados considerando novos materiais para a identificação de informações relacionadas à saúde, principalmente pelos novos desdobramentos que permitem a identificação de informações biológicas em tempo real e transmissão dos dados através do avanço dos protocolos de comunicação (Dunn et al., 2018; Romanholo et al., 2021).

O acompanhamento de atividades físicas e medição de biomarcadores, tais como, a frequência cardíaca, talvez seja um dos sensores mais populares. Nos últimos anos tem intensificado a busca por sensores vestíveis que sejam não invasivos e permitam auxiliar na monitoração de pacientes. A atividade física já alguns anos utiliza recursos para auxiliar atletas amadores e profissionais com estes dispositivos e aplicativos correspondentes ao mapeamento das atividades, auxílio no registro de informações de gastos calóricos, volume de atividades desenvolvidas a cada ano, intensidade da atividade física, e mais recentemente incluindo dados de monitoração da saúde considerando o batimento cardíaco e até mesmo a pressão arterial e respiração.

Um dos sensores utilizados nos relógios de pulso ou *smartwatch*, chamados de fotopletiografia, ou em inglês, Photoplethysmography (PPG), medem alterações no volume sanguíneo. Em muitos trabalhos o parâmetro medido é chamado de pulso do volume sanguíneo, ou em inglês, *Blood Volume Pulse* (BVP). O sensor emite uma luz no local do tecido (pulso) com um ou mais LEDs, normalmente de cor verde. O fotodiodo mede a intensidade da luz não absorvida refletida pelo tecido. A luz com comprimentos de onda mais longos penetra mais profundamente no tecido. Estes dispositivos vestíveis destinados às atividades físicas são ainda equipados com outros sensores, como por exemplo, acelerômetros e GPS, que permitem capturar a direção do movimento durante atividade física intensa e o rastreamento dos percursos percorridos pelo atleta (Castaneda et al., 2018). Na Figura 3, é apresentado o sensor PPG em um relógio utilizado para monitoramento de atividade física. No detalhe da figura, o tipo de sensor empregado para identificação dos batimentos cardíacos, sensor de fotopletiografia ou Photoplethysmography (PPG) Sensor.



**Figura 3 - Vestível para mapeamento da atividade física**  
**Fonte: (próprio autores)**

Na literatura científica, encontram-se estudos que identificam outros parâmetros coletados através de sensores não invasivos e podem ser encontrados em diferentes aplicações para saúde:

- Atividade eletrodérmica
- Frequência cardíaca e variação da frequência cardíaca
- Temperatura da pele
- Eletrocardiograma
- Eletromiograma
- Temperatura corporal
- Respiração
- Resposta galvânica da pele
- Eletroencefalograma

O potencial de sistemas de monitoramento remoto usando sensores e dispositivos vestíveis para prevenir doenças em populações em risco pode envolver ainda outros parâmetros. Como é o caso da pressão arterial, que após a pandemia de COVID-19, necessita melhorar a precisão e a exatidão das medidas para ajudar no diagnóstico precoce e na estratificação do risco cardiovascular. O desenvolvimento de sensores para monitoramento da pressão arterial em tempo real pode ter implicações significativas para a saúde digital (Al-Qatatsheh et al., 2020). Outro exemplo, é o desafio de implementar a prevenção de diabetes através de dispositivos vestíveis. As úlceras nos pés se desenvolvem devido a traumas repetitivos nos pés de pessoas com perda da sensação protetora. Este trauma recorrente resulta em uma inflamação, elevando a temperatura no local afetado como acontece com a neuropatia periférica diabética, ou

em inglês, *diabetic peripheral neuropathy* (DPN). Esta doença leva à perda de músculos intrínsecos do pé e alterações na forma do pé, promovendo áreas de alta pressão na superfície plantar dos pés durante a postura em pé ou ao caminhar.

O desenvolvimento de vestíveis para auxiliar no diagnóstico do pé diabético utilizam sensores para identificar a temperatura e a pressão da pisada através de palmilhas ou outros dispositivos acessórios (Golledge et al., 2020). Além disso, novas aplicações têm sido publicadas na literatura científica em diversas áreas e serão discutidas em uma seção mais adiante, tais como, monitoração de doenças crônicas cardiovasculares utilizando recursos de IoT (Prieto-Avalos et al., 2022; Serhani et al., 2020), IoT para o cuidado de idosos (Gralha et al., 2022), investigações sobre o uso de IoT para monitoração de doenças mentais e estresse (Morales et al., 2022).

Os artigos científicos que têm sido publicados analisam os diversos materiais empregados no projeto e fabricação de sensores vestíveis para monitoramento de fatores de risco, discutindo também alguns dos desafios técnicos da tecnologia vestível e implantável e possíveis soluções para superar essas dificuldades, como é o caso da revisão apresentada por (Koydemir & Ozcan, 2018). No entanto, não são discutidas tendências atuais do mercado bem como perspectivas futuras para estas tecnologias. Além disso, os estudos mais antigos não abordam as questões éticas e de privacidade associadas ao uso desses dispositivos. Destaca-se também que a maioria não fornece dados experimentais ou resultados sobre o desempenho desses materiais em aplicações do mundo real. Entenda-se que muitas das publicações ainda estão com um nível de maturidade a nível de protótipos ou provas de conceito, mas existem registros de produtos comercializados também. Sensores não invasivos e vestíveis tem sido coletados em vários trabalhos, seguem alguns exemplos (Koydemir & Ozcan, 2018), (Tian et al., 2019):

- Marcapasso cardíaco
- Terapia para Apneia do sono
- Controle de Doença pulmonar Obstrutiva Crônica (DOC)
- Monitoramento e regulação do nível de glicose no sangue
- Medição de Doenças Cardíacas
- Garantir a segurança de pessoas com doenças cerebrais.
- Tratamento para insuficiência renal
- Tratamento da dor crônica por doenças do sistema esquelético.
- Prevenção de queimaduras solares

### 1.2.6. Sensores químicos

Sensores químicos vestíveis têm surgido como alternativa para identificação de algumas doenças, como é o caso da monitorização da glicose. Apresentam como umas das principais limitações manter a estabilidade de tais dispositivos, que são frequentemente expostos a condições não controladas. Diferente dos sistemas de sensoriamento *in vitro*, baseados em condições laboratoriais controladas, é desafiador

realizar medições precisas direto no corpo. Os sensores vestíveis são expostos às mudanças de condições corporais e do ambiente, como as variações de temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), força iônica ou umidade durante atividades internas e externas prolongadas do usuário do dispositivo. A escolha do fluido corporal (suor, fluido intersticial, etc.) a ser monitorado pelo sensor vestível é crucial, uma vez que os níveis dos biomarcadores muitas vezes precisam ser correlacionados com seus níveis sanguíneos. Metabolismos diferentes levam a diferentes proporções entre os biomarcadores presentes no fluido corporal e no sangue, o que resulta em dificuldade de se obter um fator de correlação universal para o sensor químico vestível de interesse.

No entanto, têm sido pesquisadas formas de integração de sensores químicos vestíveis e tecnologias de transmissão de informação em tempo real. A demanda contínua por várias funcionalidades em uma plataforma de sensoriamento em combinação com serviços de comunicação sem fio e análise de dados aumenta os requisitos de energia dos dispositivos. Diante deste cenário, diversas estratégias estão sendo aplicadas para enfrentar o desafio de gerenciamento de energia, como a implementação de técnicas de captação de energia, o desenvolvimento de supercapacitores e a fabricação de baterias leves e flexíveis; no entanto, o consumo de energia do dispositivo continua sendo um dos principais problemas enfrentados pelos sensores vestíveis existentes. Tem sido empregado a transmissão de imagem do resultado do sensor através do aparelho de *smartphone* por exemplo, como é feito no caso do sensor de glicose. O aparelho funciona para transmitir o dado e se for atrelado a um aplicativo já faz a atualização e sincronização com a estrutura de armazenamento em nuvem (Morales et al., 2022).

### **1.2.7. Camada Comunicação**

Um dos maiores desafios é como transmitir os dados dos sensores, sejam eles parâmetros físicos ou químicos. Considerando que o volume de dados é imenso, a transmissão sem fio sofre diversas interferências, os dados são sensíveis ao tempo e necessitam de proteção por se tratar de dados de saúde. Mesmo havendo novas tecnologias que garantam a entrega e o volume dos dados, como é o caso do 5G, não há maneira de desenvolver um sistema IoT em saúde que utilize apenas este tipo de rede. A complexidade de uma rede de Internet das Coisas, principalmente destinada à saúde, envolve mais de um protocolo de comunicação. Mesmo com a tecnologia 5G, que tem sido apontada como uma alternativa para resolver os problemas da área da saúde considerando transmissão e acesso, nem todas as regiões do país terão cobertura dessa rede de celular e seus benefícios.

Primeiramente, analisando as necessidades que o setor de saúde tem com relação a transmissão de dados, destaca-se o tempo. Existem tomadas de decisão relacionadas à saúde que são sensíveis ao tempo. Não existe ainda uma forma de prever o tempo relativo à resposta do sistema para evitar uma fatalidade. Considere uma monitoração de um paciente, e este apresenta uma condição fatal ou o sistema prevê que o paciente irá infartar por exemplo. Qual o tempo que o sistema consegue transmitir esta informação

garantindo a entrega da mensagem ao destinatário (ambulância ou médico) e mantendo a segurança deste paciente? No caso de haver falha na transmissão neste processo, quem será responsabilizado? Esta transmissão além de ter a sensibilidade do tempo, poderá sofrer dentro do ambiente hospitalar ou até mesmo em uma residência problemas de interferência, ou mesmo o bloqueio do sinal sem fio. No caso de falha, como o sistema irá identificar o problema? Lidar com a vida de pessoas e garantir a segurança de pacientes exige determinadas garantias que o sistema sem fio atualmente, não consegue dar.

Apesar da tecnologia celular desempenhar um papel importante na infraestrutura de sensoriamento, no Brasil existem ainda diferentes modos de telefonia celular distribuídos pelo vasto território brasileiro: 3G, 4G e o 5G. São capazes de fornecer a capacidade de transmissão com taxas que variam entre 14,4 kbps (para 2G) até 100 Mbps. Em locais distantes estes sistemas de transmissão garantem o acesso à Internet, no entanto, são redes que apresentam um alto consumo de energia. A tecnologia celular tradicional consome alta potência para o processo de transmissão. Novos protocolos têm sido propostos para a finalidade de IoT, como é o caso do NB-IoT, considerada uma das principais tecnologias que atende aos requisitos de IoT. Ele também pode fornecer custos ou complexidade de dispositivo ultra baixos e baixo consumo de energia do dispositivo, bem como conectividade massiva do dispositivo (Habibzadeh et al., 2018).

No Brasil, de acordo com a ANATEL, o 5G apresenta velocidades de download e upload, para atender as necessidades do usuário convencional sendo uma opção de serviço de banda larga móvel avançada, além disso poderá ser utilizado como serviço de controle de missão crítica, provendo conexão com baixíssima latência e altíssima confiabilidade, voltada para aplicações sensíveis a atrasos e erros. A própria ANATEL, apresenta como aplicação de saúde para este tipo de serviço, as cirurgias remotas. Pode também ser utilizado o serviço de Internet das Coisas Massiva, capaz de atender uma grande quantidade de dispositivos IoT, garantindo cobertura e baixo consumo de bateria. Portanto, a tecnologia 5G apresenta diversas vantagens em relação às gerações anteriores de tecnologia de comunicação móvel. No entanto, a região de cobertura brasileira é muito ampla, e torna-se um desafio garantir que esta nova tecnologia chegue aos quatro cantos brasileiros nos próximos anos. Principalmente, nas regiões afastadas dos grandes centros urbanos, onde a monitoração de pacientes por exemplo, poderia ser feita como uma ferramenta auxiliar a já consolidada telemedicina.

Recentemente, um artigo apresentou os benefícios da implementação da tecnologia 5G em dispositivos vestíveis e para a área da saúde (Devi et al., 2023). Várias aplicações que utilizam dos recursos da tecnologia 5G foram destacados abaixo:

- A tecnologia 5G consegue garantir o monitoramento remoto de pacientes com doenças infecciosas, permitindo que os profissionais de saúde rastreiem seus sintomas e forneçam intervenções oportunas de forma rápida e segura devido à distância.

- O 5G também pode ser usado para rastrear os movimentos de indivíduos que estiveram em contato com pacientes infectados, ajudando a identificar possíveis fontes de infecção e controlando a propagação da doença.
- E por fim, a tecnologia 5G pode permitir que os profissionais de saúde prestem atendimento utilizando recursos de telemedicina, oferecendo serviço aos pacientes com doenças infecciosas reduzindo o risco de transmissão e melhorando o acesso aos cuidados destes pacientes em casa. Além disso, ao fornecer informações sobre o uso da telemedicina, diagnóstico e tratamento de doenças infecciosas é possível utilizar as informações de recomendação e aperfeiçoar o atendimento pelos sistemas de telemedicina.

A adoção da tecnologia 5G pelos sistemas de saúde pode, portanto, reduzir significativamente o custo operacional de saúde em diversas localidades. Além disso, tem fortes indícios de poder auxiliar nas questões relacionadas à latência nas respostas dos sistemas de monitoramento, na massividade de dispositivos. Além do problema de transmissão da camada de comunicação, destaca-se uma complexidade muito maior relacionada à interação com as camadas superiores para o processamento e transmissão dos dados. As mudanças constantes envolvendo as redes IoT aumentam a complexidade e dificultam as ações de gerenciamento. De forma que para manter estas redes funcionais e atender a demanda das aplicações, as redes IoT precisam se adaptar em tempo de execução, levando em conta tanto os objetivos das aplicações ao interagirem com a rede, quanto às suas próprias restrições, à medida que mudanças ocorrem em seu ambiente operacional. Esta questão inclui as redes IoT voltadas para a área da saúde, que possuem características ainda mais importantes como é o caso da latência, da energia envolvendo aplicações sensíveis ao tempo (Cordeiro, 2022).

### 1.2.8. Bluetooth Low Energy

O Bluetooth oferece duas opções de rádio transmissão, *Bluetooth Low Energy* (BLE) e *Bluetooth Clássico*. Estes protocolos fornecem aos desenvolvedores um conjunto versátil de soluções completas e adequadas para atender às necessidades da conectividade sem fio. Recomendado para o uso em saúde, o BLE foi projetado para operação de baixa potência e suporta várias topologias de comunicação, que vão desde o ponto a ponto até a transmissão em malha, permitindo que a tecnologia suporta dispositivos em grande escala. A tecnologia também tem sido usada como serviço de localização interna de alta precisão. Segundo o grupo responsável pela tecnologia, existe uma previsão sobre o BLE que chegará a 7.6 bilhões de dispositivos até 2027<sup>10</sup>. Destaca-se que existem várias aplicações potenciais no setor de saúde, que estão sendo projetadas para uso com BLE, vão desde o monitoramento de pacientes remotos até o rastreamento de bolsas de sangue. Ressaltando, que com esta finalidade esta tecnologia de comunicação passa a ocupar o espaço de tags RFID como alternativa de rastreamento de objetos. Existe um crescente número de dispositivos que empregam o BLE como alternativa em seus protótipos, sendo impossível mapear todas as aplicações. Muitos

---

<sup>10</sup> <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview>

sensores vestíveis que estão no mercado, aproveitam o uso de BLE para transmitir para o *smartphone*, empregando o aparelho como um gateway para enviar as informações dos dispositivos para a nuvem. É o caso de *smartwatches* e dispositivos para coleta de dados fisiológicos como o caso do Empatica E4<sup>11</sup>. Recentemente, a HeartHero<sup>12</sup> desenvolveu um desfibrilador externo automático móvel que vem com tecnologias de comunicação NB-IoT, GPS e BLE. O dispositivo fornece aos socorristas alertas e informações de localização assim que alguém abre o aparelho e coloca os sensores no peito de outra pessoa. A funcionalidade da Internet das Coisas é acionada e envia um alerta para o pessoal de emergência e hospitais através do BLE e do NB-IoT, para que eles possam responder adequadamente à situação de emergência. O objetivo do fabricante é ingressar no mercado doméstico comercial. Destaca-se ainda, o HoloLens 2<sup>13</sup> da Microsoft, dispositivo de realidade virtual que pode ser utilizado por profissionais de saúde para se conectar com especialistas remotos, acessar os dados do paciente e até consultar imagens de ressonância magnética em 3D distantes do ponto de atendimento. Em termos de comunicação, suporta Bluetooth 5 e o WiFi 802.11ac, e pode se comunicar com qualquer dispositivo que suporta estes protocolos. Estes são apenas alguns exemplos de dispositivos que estão no mercado e utilizam este protocolo para a comunicação, mas a maioria dos vestíveis incorpora o uso deste protocolo como solução de transmissão (Seneviratne et al., 2017). A versão mais recente do BLE 5.0 com potência de transmissão de  $\leq 100$  mW (+20 dBm) com alcance de 40m, cerca de 30m a mais que as versões anteriores operando na mesma faixa de frequência ISM 2.4GHz (Wu et al., 2020).

### 1.2.9.MQTT

Em 1999, o MQTT<sup>14</sup> (*Message Queuing Telemetry Transport*) foi criado por especialistas da International Business Machine Corporation (IBM) e da Arcom (agora Eurotech). Segundo informações disponíveis na página oficial do MQTT (2019), trata-se de um protocolo de mensagens que adota o modelo de publicador e assinante (ou *publish/subscribe*) destinado a uso com sensores de baixa potência, mas também aplicável a outros cenários. Esse protocolo foi projetado para ser extremamente simples e leve, especialmente adequado para dispositivos com restrições, como baixa largura de banda, alta latência ou redes não confiáveis. Sua principal proposta é minimizar os requisitos de largura de banda tanto da rede quanto do dispositivo, tornando-o uma escolha viável para aplicações de comunicação entre máquinas (*Machine-to-Machine - M2M*). Com estas características o protocolo tem sido amplamente utilizado para enviar as informações coletadas na camada Coisas para as camadas superiores, no entanto é um recurso que exige que o dispositivo tenha um protocolo WiFi disponível.

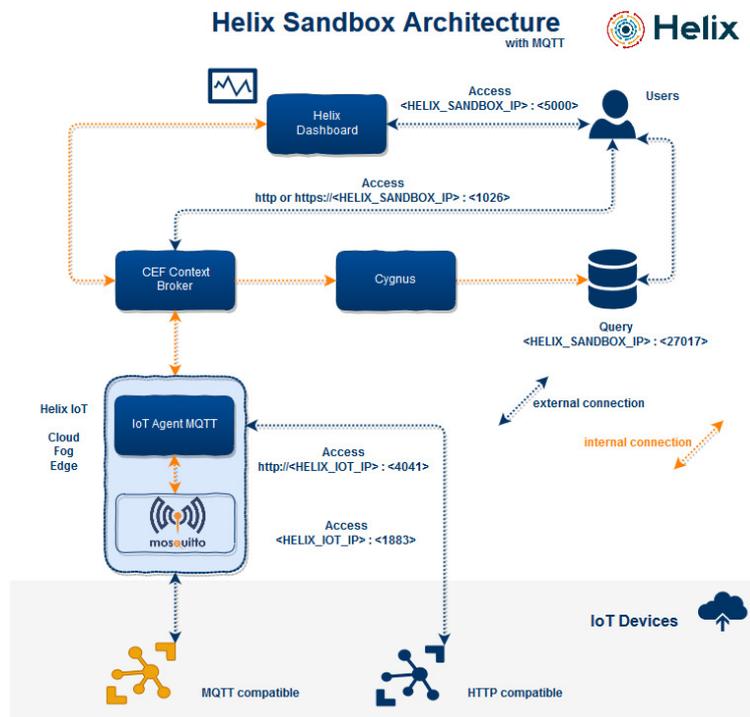
---

<sup>11</sup> <https://www.empatica.com/>

<sup>12</sup> <https://www.rfidjournal.com/iot-ble-enable-emergency-response-to-cardiac-arrests>

<sup>13</sup> <https://www.microsoft.com/pt-br/hololens>

<sup>14</sup> <https://mqtt.org/>



**Figura 4 - Plataforma Helix SandBox**

Fonte: <https://github.com/fabiocabrini/helix-iot-mqtt>

Em plataformas que operam a nível de nuvem que tem suporte para o uso com este protocolo. Uma plataforma que atende de forma simplificada e permite o uso deste protocolo é o Helix SandBox. Considerada uma plataforma aberta para prototipagem rápida de aplicativos de ambiente inteligente, o Helix SandBox visa atender a necessidade de capacidade computacional e a diversidade de padrões de transmissão para desenvolvimento de pequenos projetos de Internet das Coisas. O uso desta proposta auxilia a reduzir o custo do projeto e o tempo de desenvolvimento. Ela pode operar diretamente através do protocolo NGSI (*Next Generation Services Interface*) e com uma vasta gama de tecnologias, como por exemplo, CoAP LWM2M, MQTT, LoRaWAN, Sigfox e *Open Platform Communications* (OPC) (Cabrini et al., 2019). A Figura 4 ilustra as interações da plataforma aberta, que possui o material para o seu uso disponibilizado pelo Github do prof. Fábio Cabrini Para enviar os dados através do MQTT, utiliza-se um *broker*, que é responsável por gerenciar todas as mensagens entre os remetentes e os receptores, como por exemplo, o *broker* Mosquitto<sup>15</sup>. Este broker fará a interação entre a plataforma e os dispositivos sensores que estão sendo monitorados. O MQTT oferece uma comunicação eficiente e em tempo-real. Por exemplo, poderia ser usado para monitorar pacientes ou ambientes que tenham acesso a rede sem fio, coletando as informações de vários dispositivos e enviando aos profissionais de saúde através de um *dashboard* ou acesso pelo *smartphone*. O que facilita o monitoramento remoto de pacientes ou dos ambientes, permitindo uma resposta rápida em situações

<sup>15</sup> <https://mosquitto.org/>

críticas, por exemplo. Além disso, o MQTT é escalável e pode lidar com grandes quantidades de dados gerados por vários pacientes e dispositivos de monitoramento simultaneamente. Para finalizar o protocolo MQTT permite configurações de mensagem para uso de criptografia e também qualidade do serviço.

#### **1.2.10. Camada de processamento e *Cloud Computing***

Após transmitir os dados, considerando a camada “coisas” e a camada “comunicação”, existe a necessidade de armazenar os dados coletados para que estes sejam analisados posteriormente, ou então que sejam aplicados algoritmos de aprendizado de máquina ou outro recurso de IA. Os dados podem ser também encaminhados de forma bruta ao médico para auxiliar na tomada de decisões. No entanto, trata-se de Internet das Coisas aplicada à saúde, em que o volume de dados gerados apresenta demanda de processamento e armazenamento. Imagine todas as informações coletadas com uma determinada frequência, seja ela alta ou baixa, são muitos parâmetros a serem analisados por unidade de tempo. Nos últimos anos, tem surgido a alternativa de camadas de pré-processamento que realizem mais próximo dos sensores uma primeira análise, ou um processamento dos dados brutos para evitar que todo o volume de informação seja enviado para a nuvem. Destacam-se dois pontos: custo operacional e latência. Esta camada intermediária permite acrescentar recursos para uma análise inteligente dos dados, como por exemplo, um sistema com aprendizado de máquinas ou recursos de redes neurais artificiais. *Fog Computing* é capaz de fornecer serviços interativos em tempo real, dar suporte à mobilidade dos sensores e permitir a escalabilidade dentro do sistema. Além disso, está destinada a auxiliar na redução do atraso de transmissão entre os recursos (paciente e médico) para a tomada de decisões. Em alguns artigos científicos têm sido considerada ainda a presença de um *Edge Computing*, que pode ser uma máquina ou várias máquinas com capacidade de processamento e memória superior aos dispositivos sensores. Este recurso associado aos sistemas de Internet das Coisas em saúde pode ser empregado para replicar os dados para um segundo dispositivo evitando ponto único de falhas, salvaguardando as informações primárias dos sensores, este tipo de estratégia pode assegurar a entrega dos dados dentro da rede.

Enquanto que os dispositivos e nodos de *Cloud Computing* ficariam reservados para um fornecimento de dados mais analíticos, dados a longo prazo e acompanhamento do histórico do paciente. Através de recursos de cloud computing, estes dados podem chegar a vários destinatários ao mesmo tempo. Estes dados precisam ser acessados pelo médico para que se certifique da situação e realize decisões, e ao mesmo tempo, possam informar as condições do paciente para seus familiares. Obviamente, as informações disparadas ao médico seriam diferentes das informações destinadas à família, porém ambas são derivadas dos sinais fisiológicos e processamento de dados transmitidos. Pode-se criar diferentes perfis para dar destino às informações de forma a facilitar o entendimento da situação do paciente monitorado. Através da distribuição e sincronização de recursos do *Cloud Computing*, esta tarefa é perfeitamente possível. Os sistemas inteligentes precisam de um pré-processamento, posteriormente treinamento

com base em informações e casos já ocorridos para que o conhecimento contido nos exemplos possa ser transferido ao sistema inteligente. No entanto, existem questões relacionadas ao uso de informações médicas que precisam de muita atenção. Um dos aspectos mais desafiadores é a segurança e a privacidade dos dados, problemas relacionados a questões de segurança, ameaças, ataques cibernéticos, riscos e vulnerabilidades que serão discutidos na Seção 1.4.3. A interoperabilidade de sistemas e ao grande volume de dados que serão produzidos por este novo paradigma. Sensores utilizados em pacientes poderão produzir uma quantidade enorme de dados a cada segundo, em muitos casos, estes dados deverão ser processados e dar retorno imediato com acurácia e eficiência para auxiliar na tomada de decisões de médicos e outros profissionais. Portanto, existe ainda um problema de escalabilidade, as tecnologias associadas à Internet das Coisas em saúde necessitam dar suporte a diversidade de dispositivos interconectados e ao enorme volume de dados que será produzido. Para analisar diferentes tipos de dados, tais como, sinais físicos e biológicos, associados a imagens, e outros formatos de dados necessita-se de recursos tecnológicos como Big Data.

### **1.2.11. Ambientes Inteligentes**

Ambientes inteligentes podem ser definidos como espaços físicos equipados com sensores, dispositivos e recursos computacionais para apoiar as atividades humanas e aprimorar as suas experiências. Estes ambientes podem integrar soluções baseadas em inteligência artificial e tecnologias da Internet das Coisas para automatizar diversas tarefas humanas. Uma clínica médica pode ser um exemplo de ambiente inteligente, na qual se ajusta de forma automática a iluminação, a temperatura, umidade, níveis aceitáveis de ruído e outras definições com base nas configurações. Ambientes inteligentes, através dos dados coletados, podem interagir com os Sistemas Inteligentes que são sistemas baseados em softwares que fazem uso de tecnologias relacionadas a área de inteligência artificial e da subárea de aprendizagem de máquina. Tais sistemas buscam executar tarefas que usualmente exigem a inteligência humana, como por exemplo, o reconhecimento de imagens, o reconhecimento da fala, o processamento de linguagem natural, a tomada de decisões e a previsão de desfechos. São exemplos destes sistemas os Sistemas Especialistas, Sistemas Bayesianos/Probabilísticos, Sistemas MultiAgentes, Sistemas de Recomendação, Sistemas Baseados em Casos, Sistemas Baseados em Algoritmos Genéticos, entre outros. Sistemas inteligentes são aplicados em diferentes domínios, entre estes se encontram aplicações na área da Saúde.

O fato de coletar dados e transmiti-los sem apresentar um tratamento específico não gera muito impacto ao sistema de saúde. Entregar a informação sobre o que fazer a partir dos dados analisados é muito mais promissor. Entre as principais vantagens para associar a recursos de inteligência artificial e Internet das Coisas em saúde está em se propor sistemas inteligentes para auxiliar os profissionais de saúde na difícil tarefa de tomar uma decisão. A qual deve ser feita através da combinação de experiências de casos similares, acrescentada de resultados de pesquisas recentes e associadas a um julgamento pessoal do profissional de saúde. Entre as formas de se basear uma decisão

está diretamente ligada ao número de pessoas que realizaram a decisão e acertaram, ou seja, a decisão correta foi tomada e existe um conjunto de evidências relacionadas. O sistema além de sugerir uma decisão precisa fornecer ao médico ou especialista de onde foi tomada a decisão para que ele possa acrescentar seu julgamento a respeito do que deve ser feito. Esta identificação e reunião de evidências pode ser incrementada pelo uso de inteligência artificial e Internet das Coisas em saúde (Morales et al., 2021). A credibilidade do uso dos recursos tecnológicos de Internet das Coisas em saúde depende muito da visão da comunidade médica.

O avanço das tecnologias computacionais e o uso frequente de mídias digitais, armazenando volumes de dados de diferentes tipos, tem contribuído para o aperfeiçoamento e avanços das técnicas de inteligência artificial. Recentemente, o ChatGPT (*chat generative pre-trained transformer*)<sup>16</sup> da OpenAI e outras ferramentas que estão sendo lançadas pelas *big techs* têm aumentado a curiosidade a respeito do futuro de sistemas de inteligência artificial e suas aplicações. Fato é que desenvolver sistemas de apoio à decisão que possam apresentar recursos de linguagem natural e acessível às equipes médicas torna-se muito promissor para um futuro não muito distante. A inteligência artificial pode ser uma ferramenta de apoio à tomada de decisão médica, permitindo associar dados de pacientes e práticas clínicas associadas ao processo de diagnóstico e cuidados com o paciente (Deo, 2015). Processar o volume de informações através de aplicações de Internet das Coisas em saúde, empregar algoritmos e técnicas de aprendizado de máquinas e *deep learning* associados à linguagem natural como interface médica parece um caminho sem volta.

O aprendizado de máquinas é fundamental para processar uma significativa quantidade de dados e auxiliar na compreensão dos dados de uma determinada doença. A principal diferença em relação a abordagens tradicionais é que no aprendizado de máquina, o aprendizado se dá através de exemplos em forma de entrada e saída de dados, é viável para um modelo de aprendizado de máquina processar dados de milhares de prontuários, tarefa que dificilmente um cérebro humano conseguiria. Além disso, estas técnicas permitem acrescentar uma previsão à tomada de decisão do clínico, prevendo eventos futuros e aprendendo com padrões de trajetórias de condução de tratamentos de saúde e suas respostas nos indivíduos. Outra maneira ainda, é através de comparações de tratamentos com diferentes medicações e terapias que foram utilizadas em pacientes distintos que apresentavam condições similares (Rajkomar et al., 2019). Ainda neste contexto, o *deep learning* tem a capacidade de aprender em múltiplos níveis de abstração. É a técnica recomendada para aprender diferentes níveis de representação, como é o caso de sensores de diversos tipos de informação. Modelos com camadas sucessivas de dados para lidar com a característica multimodal presente nos sistemas de diagnóstico de doenças graves. Destacam-se pesquisas em doenças graves, tais como, doenças cardiovasculares, doenças mentais, doenças respiratórias e diversos tipos de câncer. Finalmente, estes recursos também podem ser empregados para melhorar o

---

<sup>16</sup> <https://openai.com/blog/chatgpt>

processo de gestão hospitalar reduzindo erros no ambiente hospitalar e auxiliando na redução de custos relacionados à manutenção destes ambientes.

### **1.2.12. Sistemas de Recomendação em Saúde**

Um método muito eficaz para filtrar informações de acesso à Internet, avaliando tendências de personalização e mudanças de hábitos de usuários empregados nos últimos anos, têm sido os sistemas de recomendação. Estes sistemas quando associados ao aprendizado profundo apresentam melhores resultados (Batmaz et al., 2019). Ao lidar com diferentes tipos de contexto e volume de informações, o aprendizado profundo (do inglês, *deep learning*), se torna indispensável pois é a técnica de aprendizado de máquinas mais indicada para sistemas com alto grau de complexidade (Zhang et al., 2019). Considerado um subconjunto do aprendizado de máquina tem como essência a capacidade de aprender vários níveis de representações e abstrações de dados, estes sistemas despontam como uma alternativa para a personalização de atendimento de pacientes na área de saúde. Destaca-se ainda que o número de publicações sobre métodos de recomendação baseados em aprendizado profundo tem aumentado nos últimos anos, fornecendo fortes evidências da disseminação deste tipo de técnica aplicada à pesquisa de sistemas de recomendação apresentando resultados promissores tanto na indústria quanto na academia.

Em sistemas de recomendação, o aprendizado profundo é recomendado pela sua eficiência de extrair características de usuários e associá-las a itens, gerando um conjunto de abordagens baseadas no usuário e nos itens ou informações de suas preferências. Estas abordagens podem ser adaptadas para um sistema que possa extrair os dados com as características de algumas doenças não graves e recomendar ações para o seu enfrentamento, como por exemplo, identificar níveis de estresse e recomendar ações para mitigá-lo antes de que a situação da doença se agrave (Morales et al, 2022). Neste contexto existe ainda a necessidade de atender a escalabilidade de soluções de Internet das Coisas em saúde, além de possuir uma diversidade de tipos de dados a serem analisados através de recursos de inteligência artificial.

A depressão é uma doença mental importante que atinge um grande número de pessoas na população, quando não tratada pode se tornar extremamente grave levando as pessoas ao suicídio. O uso de sistema de recomendação e aprendizado profundo para monitoração e melhora das condições psicológicas e emocionais através de soluções personalizadas para terapia de pacientes com sofrimento emocional é apresentado em (Yang et al., 2018). O volume de dados associado à alta diversidade de tipos de dados envolvidos nos sistemas de Internet das Coisas em saúde, apontam para este recurso uma série de possibilidades na área de gestão hospitalar, atendimento de profissionais de saúde e monitoração de pacientes em sistemas de saúde. Uma forma de prevenir problemas de saúde através de recomendação de tratamentos preventivos pode ser uma estratégia importante na redução de custos na área de saúde nos próximos anos.

### 1.3. Aplicações e Perspectivas

#### 1.3.1. Doenças cardiovasculares

As doenças cardiovasculares são uma das principais causas de mortalidade mundial. Atividade física regular, boa nutrição, controle de peso e parar de fumar reduz os riscos destas doenças e suas consequências. Além disso, a pandemia de COVID-19 forçou o isolamento social e um declínio de cuidados com a os acometidos por esta doença, aumentando ainda mais o risco global da doença. Uma revisão apresentada ano passado apresenta diversos trabalhos científicos relacionados aos vestíveis para atuar na monitoração e controle das doenças cardiovasculares: são *smartwatches*, pulseiras, coletes, etc e são apontadas as doenças em que têm sido pesquisadas junto a estes dispositivos: arritmia, fibrilação atrial, insuficiência cardíaca congestiva, fibrilação ventricular e súbita morte cardíaca (Prieto-Avalos et al., 2022). De acordo com os autores, o uso destes dispositivos ajudam significativamente a reduzir os custos de tratamentos hospitalares. Considerando o monitoramento contínuo e ambulatorial, os vestíveis melhoram a precisão do diagnóstico, proporcionando aos pacientes soluções convenientes para o autocuidado por meio do monitoramento contínuo de variáveis biomédicas durante as rotinas diárias. Destacam que o uso de sinais de ECG é amplamente recomendado no acompanhamento de algumas cardiopatias. Envolve o registro da atividade elétrica do coração através da superfície do corpo do paciente. Então, com base na diferença de potencial elétrico entre dois pontos distantes do corpo, o ECG pode medir uma série de variáveis biomédicas para detectar doenças cardíacas, como insuficiência cardíaca e arritmias. No entanto, alertam que a tecnologia ECG não é recomendada para monitorar o risco de ataque cardíaco. Nesse caso, a eletrocardiografia convencional com eletrodos continua sendo a melhor opção. Os autores destacam ainda que o uso de Internet das Coisas e IA tornaram-se aliados importantes para o desenvolvimento de vestíveis e uso na área médica considerando as doenças cardiovasculares.



Figura 5- Dispositivo IoT em saúde desenvolvido no RS  
Fonte: <https://eprohealth.com.br/#produtos>

No âmbito do Centro de Inteligência Artificial aplicada à Saúde (CIARS) do estado do Rio Grande do Sul, parte da equipe desenvolveu o MP IoT (Figura 5). Trata-se de um dispositivo vestível que busca aferir dados de medidas clínicas sem a supervisão de profissionais de saúde (especializados). O dispositivo funciona integrado a uma plataforma chamada eProHealth responsável pelo Registro Eletrônico de Saúde, promovendo melhoria nas atividades de tele saúde através de telemonitoramento. MP IoT foi desenvolvido com apoio da Fapergs<sup>17</sup> e melhorado com apoio da Finep<sup>18</sup>. Consiste de um equipamento microcontrolado, capaz de aferir a Pressão Arterial (PA), a Temperatura Corporal (TC), a Saturação Oxigênio no Sangue (SPO2) e o Eletrocardiograma (ECG). O equipamento consegue aferir ainda a frequência cardíaca em Batimentos por Minuto (BPM) a partir da PA, do ECG e do SPO2. Atualmente, encontra-se depositado para registro de patente no INPI<sup>19</sup> do equipamento e processo de monitoramento (BR 10 2022 006472 5 A2).

### 1.3.2. Desenvolvimento de dispositivos vestíveis com ESP32

Também é possível desenvolver um protótipo de dispositivo vestível usando poucos recursos. Realizando um sistema de aquisição de sinais responsável pelo processamento de sinais bioelétricos adquiridos por um circuito de condicionamento. O processamento empregou um micro controlador ESP32, constituído pela conversão do sinal analógico para digital (ADC), filtros digitais passa-baixa (150Hz), passa-alta (0.1Hz) e Notch (60Hz). Após a etapa de aquisição, o sistema de comunicação sem fio, enviava os sinais através da comunicação Wireless do ESP32 para uma aplicação Web, acessada por qualquer dispositivo remoto (*smartphones, notebooks* e outros). A interface de saída tinha como objetivo disponibilizar ao usuário ou agente externo, o gráfico cardíaco em tempo real. Este vestível foi todo desenvolvido pelo trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia de Computação na Universidade Federal de Santa Catarina, publicado nos anais do Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde no ano de 2021 (Zanon et al., 2021), tendo sido selecionado como um dos melhores trabalhos, tendo uma versão estendida com sinais de vetocardiograma (Zanon, Romancini, Ourique, et al., 2022). Em sua primeira versão, o dispositivo não estava associado a um ambiente e armazenamento em nuvem. O protótipo foi testado e uma camada de segurança foi proposta e implementada para criptografar os dados a serem enviados para o servidor (Zanon, Romancini, Manoel, et al., 2022).

### 1.3.3. Monitoramento do ar

O monitoramento da qualidade do ar em ambientes externos e ambientes internos é uma aplicação essencial. Investigações no campo da qualidade do ar implicam em um envelhecimento saudável e uma promoção da qualidade de vida da população no futuro. A exposição de poluentes do ar pode ser definida como o contato entre um poluente transportado pelo ar e uma superfície do corpo humano. Portanto, esse

<sup>17</sup> <https://fapergs.rs.gov.br/inicial>

<sup>18</sup> <http://www.finep.gov.br/>

<sup>19</sup> <https://www.gov.br/inpi/pt-br>

fenômeno envolve a presença de contaminantes no ar considerando a presença de um indivíduo naquele local durante certo período de tempo. A exposição à poluição do ar também afeta práticas benéficas e saudáveis, como andar de bicicleta em áreas urbanas. O mapeamento da qualidade do ar em tempo real usando tecnologias de computação móvel promove maior cobertura espacial quando comparada a estações fixas de qualidade do ar. Os autores apresentam uma solução para Internet das Coisas para a monitoração do ar, apresentando uma solução com ESP 32 e sensores de identificação de poluentes (Marques et al., 2020).

Além da monitoração da qualidade do ar externo, existe a preocupação com o controle em tempo real do ambiente interno e dos poluentes que ali se depositam ao longo do tempo. As pessoas normalmente gastam mais de 90% do tempo em ambientes fechados. Associações de maiores concentrações internas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) com desempenho prejudicado as pessoas nas atividades laborais, aumento dos sintomas de problemas de saúde e pior qualidade do ar percebida documentados, e há também uma correlação evidente entre altos níveis de CO<sub>2</sub> interno e altas concentrações de outros poluentes do ar interno que são influenciados por taxas de ventilação de ar externo (Marques, Sanini et al., 2020).

#### **1.3.4. Internet das Coisas Médicas para Diabetes Mellitus Tipo 1**

A Diabetes Mellitus tipo 1 (DM1) é caracterizada pelos níveis elevados de glicemia na corrente sanguínea devido a dificuldade do organismo do paciente em utilizar a insulina. Isso exige que os pacientes estejam atentos às oscilações dos níveis de glicose no sangue todos os dias para deduzir um padrão e prever a glicemia futura e, assim, decidir a quantidade de insulina que deve ser injetada exogenamente para manter a glicemia dentro da faixa-alvo. Essa abordagem geralmente sofre de uma imprecisão relativamente alta, o que pode ser perigoso.

Com o avanço das tecnologias da Informação e Comunicação novas possibilidades de soluções surgem para acompanhamento remoto com a coleta e análise de dados do paciente, pode-se observar a Internet das Coisas Médicas, do inglês *Internet of Medical Things* (IoMT). O IoMT pode ser definido como qualquer equipamento médico interconectado via recurso de Internet das Coisas para auxiliar no monitoramento da saúde do paciente. Os dispositivos de Internet das Coisas para o setor de saúde usam sensores interfaciais automatizados e múltiplas camadas para facilitar a supervisão do setor de saúde sem intervenção humana (Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.V., Campo-Valera, M., 2023). A combinação de tais dispositivos médicos e a tecnologia IoMT auxilia na coleta, avaliação e transferência remota de dados por meio de monitoramento de saúde em tempo real, personalizado e vestível, em casa reduzindo as visitas desnecessárias ao hospital e os custos de saúde.

Pesquisas e soluções tecnológicas que permitam acompanhamento médico efetivo da saúde do paciente diabético são essenciais para os sistemas de saúde, cabendo ressaltar que o agravamento da Diabetes em pacientes, junto a comorbidades como

Hipertensão e Obesidade, representam um alto custo para o Sistema de Saúde (SUS). Os autores (Nilson, E.A.F. et. al. , 2018) reportaram que os custos totais de hipertensão, diabetes e obesidade no SUS alcançaram 3,45 bilhões de reais (R\$) em 2018, ou seja, mais de 890 milhões de dólares (US\$).

Na pesquisa conduzida por (Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.V. , Campo-Valera, M., 2023) são descritas variáveis relacionadas ao DM1 no contexto de IoMT. Algumas variáveis podem ser monitoradas de forma contínua com utilização dos biossensores, por exemplo as pulseiras ou braceletes inteligentes no contexto de IoT. A maioria dos sistemas de gerenciamento de diabetes inclui apenas estimativas de glicemia, insulina e refeições; no entanto, parece apropriado incluir outros fatores que possam afetar os níveis de glicose, desde que possam ser medidos ou estimados. Atualmente pesquisas sugerem a inclusão de fatores, tais como exercícios, frequência cardíaca, temperatura, entre outros.

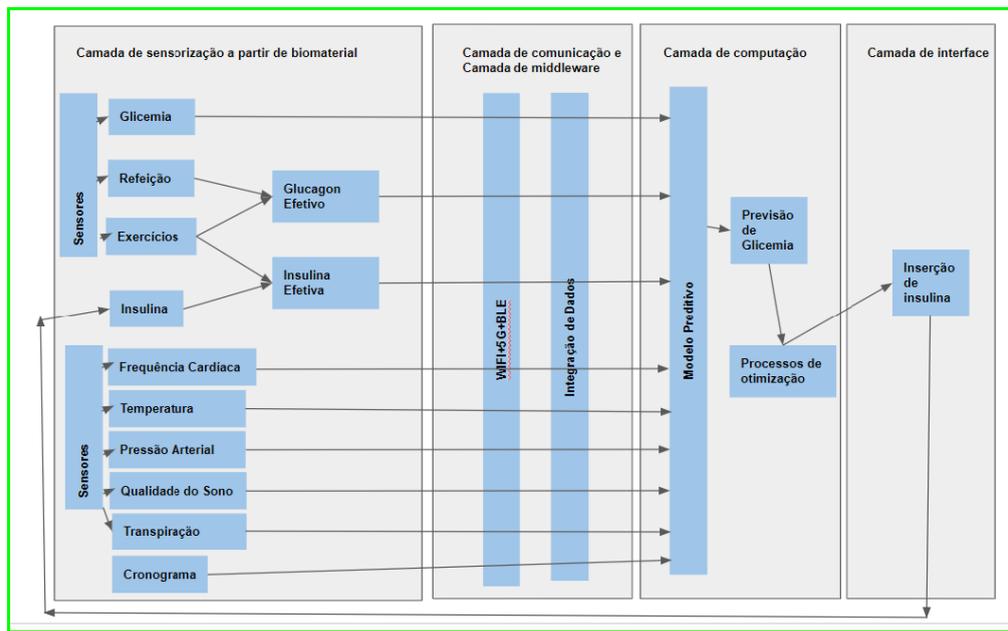


**Figura 6 - Variáveis relacionadas ao DM1 em um contexto de IoMT**

**Fonte: Adaptado de (Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.V. , Campo-Valera, M., 2023)**

A Figura 6 sintetiza as variáveis relevantes para análise da DM1 no contexto da IoMT: 1) nível de glicose no sangue, 2) quantidade de insulina a ser injetada, 3) exercício aumenta as necessidades de glicose e insulina no sangue, sendo que exercício regular também equilibra o açúcar no sangue e diminui as necessidades de insulina, 4) refeições e alimentos consumidos afetam os níveis de glicose no sangue, 5) níveis de stress e de qualidade do sono, 6) temperatura corpórea, 7) transpiração, 8) idade, sexo, altura, peso e IMC , podendo ser usados para personalizar as soluções e 9) cronograma para auxiliar a identificar a evolução da insulina basal.

Com base nas variáveis citadas os autores em (Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.V. , Campo-Valera, M., 2023) apresentam um fluxo detalhado dos dados até o modelo preditivo baseado em aprendizado automático de máquina, subárea da inteligência artificial, para indicação de necessidade de insulina para o paciente monitorado. Os dados coletados com base nas variáveis apresentadas, uma vez transferidos por meio de sistemas de comunicação para um servidor na nuvem, devem permitir a extração de conhecimento que auxilie a identificar situações de risco ou refinar as doses de insulina do paciente. A Figura 7 descreve como os dados obtidos pelos sensores são transmitidos para a camada de computação, onde uma previsão de glicemia é realizada usando estratégias de aprendizado de máquina.



**Figura 7 - Fluxo de dados para o modelo preditivo**

Fonte: Adaptado de (Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.V. , Campo-Valera, M., 2023)

### 1.3.5. Projeto para identificação de stress e biomarcadores

No ano de 2020 foi aprovado o projeto intitulado de “Sistema inteligente para identificação de estresse ocupacional em equipes de saúde – sistema de vigilância de estresse e recomendações de enfrentamento” (20/2551-0000262-4) pelo Edital FAPERGS 06/2020 - Ciência e Tecnologia no Combate à COVID-19. O projeto teve como objetivo desenvolver um modelo preditivo para vigilância inteligente para o estresse ocupacional de profissionais da saúde, devido ao risco de contaminação hospitalar no período da pandemia de Covid-19.

Neste contexto, a equipe de pesquisa iniciou investigações sobre a identificação de estresse ocupacional (no projeto buscou-se pesquisar o distress) a partir de biomarcadores, avaliações de utilização de vestíveis para esta finalidade, uso de inteligência artificial para a classificação de níveis de estresse. O uso de biomarcadores

para a identificação de estresse em diferentes tipos de atividades, tais como, dirigindo, realizando atividades cognitivas ou mesmo atividades laborais diversas foram investigados.

A partir destes estudos, foram identificados os biomarcadores que apresentam maior grau de confiança para a classificação de estresse: atividades cardíacas e cerebrais, e a condutividade e temperatura da pele. Estas medidas fisiológicas estão relacionadas ao sistema nervoso autônomo, composto por dois subsistemas: o sistema nervoso simpático e o sistema nervoso parassimpático. Estes dois sistemas regulam a resposta do organismo produzindo variações fisiológicas identificadas através das alterações nos sinais fisiológicos ou biomarcadores. Dos inúmeros biomarcadores apontados na literatura, foi dada prioridade àqueles que poderiam ser utilizados para compor um dispositivo vestível de pulso para identificar o estresse ocupacional. Uma revisão sistemática para identificar vestíveis de pulso utilizados na identificação de estresse ocupacional foi então desenvolvida e publicada. Além dos biomarcadores utilizados pelos dispositivos de pulso, foram também analisados os protocolos de comunicação empregados e os algoritmos de aprendizado de máquinas utilizados nos estudos e os resultados obtidos (Morales et al., 2022):

- Variação da frequência cardíaca, com as frequências baixas e altas, apontando os níveis de estresse ou não estresse.
- Condutividade através do sensor (*Galvanic Skin Rate ou Electrodermal Activity*), presença ou ausência de estresse através da condutância na pele.
- Temperatura da pele, inversamente proporcional ao estresse.

Combinar estes parâmetros com períodos de tempo, em que estas condições se repetam em cada indivíduo seja possível ainda diferenciar de estresse agudo e crônico. E armazenar os registros individuais com histórico de cada indivíduo monitorado. Estimar a duração deste tempo também consiste em uma tarefa de pesquisa interessante. Podendo auxiliar na identificação da duração do período de estresse ocupacional e qual a sua relação com as condições psicológicas e sociais do ambiente do trabalho. Prevendo o uso de técnicas de sistemas de recomendação, porque este tipo de monitoração gera um grande volume de informações. Ou seja, este tipo de sistema necessita de recursos computacionais para processar e auxiliar na identificação do estresse e gerar, um conjunto de ações de recomendação para evitar o agravamento da situação de estresse precocemente. Entre as maiores dificuldades apontadas está a definição de uma escala aceitável para a classificação dos níveis de estresse ocupacional para os profissionais de saúde que estavam atuando na linha de frente da pandemia. Grande parte dos trabalhos lidos sobre este tema utilizam apenas a presença ou ausência de estresse. O objetivo do projeto era a identificação de alterações de biomarcadores para prevenir o agravamento do estresse ocupacional, ou seja, evitar situações de burnout devido agentes estressores presentes naquele período de pandemia (Morales et al., 2022).

Um estudo mais recente, apresentou uma revisão identificando os biomarcadores empregados para identificação de estresse e aponta sete dispositivos vestíveis comercializados para esta finalidade. Neste estudo também são destacadas as dificuldades em identificar os limiares para os níveis de estresse e apontar valores para identificar as alterações dos biomarcadores que possam auxiliar nesta definição (Chalabianloo et al., 2022). Para finalizar, a complexidade do uso de biomarcadores para a identificação de estresse ocupacional, tem como desafio empregar mecanismos adicionais para diferenciar se o estresse ocupacional é bom ou ruim. De acordo com os estudos feitos, condições de euforia e felicidade também geram alterações fisiológicas similares. Neste sentido, fica condicionado ao estudo do estado emocional para realizar a identificação se as alterações fisiológicas apontadas por sensores são de aumento ou redução de estresse, se necessitam cuidado ou não. Neste momento, estão sendo investigadas técnicas para identificar o estado emocional. Uma das possibilidades é através do uso de Teoria da Mente e multiagentes (Silva et al., 2023).

### **1.3.6. Envelhecimento da população**

O uso da tecnologia para enfrentar os problemas de envelhecimento da população é muito promissor, em um estudo realizado recentemente (Gralha et al., 2022), os autores investigaram lacunas de pesquisa para o uso de tecnologias de IoT na área de saúde para idosos. A busca feita nas bases de dados Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Web of Science, Pubmed, Embase e Medline, selecionou 39 artigos de um total de 873 estudos primeiramente encontrados. Como resultados, apresentaram uma série de sensores que foram identificados nestes estudos aplicados para o cuidado da saúde de idosos. Entre as áreas que têm sido aplicadas o uso da IoT, destacaram sobre prevenção e identificação de quedas através de um sistema para auxiliar o cotidiano de idosos, destacando os desafios de ter um sistema e testar suas condições em uma situação real. Pois a maioria dos resultados são estudos a nível de protótipos. Outro registro, é a monitoração de sinais vitais através de vestíveis, entre os desafios relatam a questão do volume de dados gerados pelo sistema, tanto armazenamento quanto processamento do volume de dados gerados. Em outro trabalho a ser publicado (Morales, A. S., (in press)) foi feito um mapeamento das aplicações para o cuidado de idosos considerando ambientes de vida melhorados. Nestes ambientes, entende-se que a tecnologia pode ser associada a dar condições de vida melhores para a população idosa, desconsiderando o uso de vestíveis apenas.

Vários estudos envolvendo sensores no ambiente foram identificados e as aplicações ficaram em torno de monitoração da qualidade do ar para a identificação de presença de gases ou agentes alérgicos, ou até mesmo mofo devido às condições de vida desta população. Outros trabalhos identificados envolvem a monitoração das atividades diárias e rastreamento das pessoas idosas, questões relacionadas às quedas e configuração de situações de risco e emergências.

### **1.3.7. Gerenciamento de medicamentos e outras aplicações em gestão hospitalar**

Outro aplicação importante, são o uso de Internet das Coisas para automatização da inclusão dos dados, minimizando ou até mesmo eliminando, os erros relacionados a administração de medicação em pacientes dentro de hospitais, permitindo uma redução de erros clínicos. De acordo com o trabalho de (Cocian et al, 2023) empregar a tecnologia para realizar a identificação automática de pacientes poderá reduzir o erro relacionado ao paciente em receber a medicação correta, evitando erros relacionados a intolerância a certas substâncias químicas ou mesmo alergias a determinados componentes. O fato é que os sistemas de informação para registro das medicações por parte das enfermeiras, acabam se tornando pontos de erros tanto no uso dos medicamentos em pacientes quanto no registro incorreto de informações. Além de se preocupar em administrar as medicações, os profissionais de saúde precisam colocar os dados no sistema empregados nos hospitais.

#### **1.4. Desafios relacionados ao IoT em saúde**

O surgimento da Internet das Coisas deve ampliar as atividades de assistência médica, melhorando a qualidade da telemedicina, que foi impulsionada pela pandemia de COVID-19. Existe uma tendência devido a transformação digital, dos sistemas convencionais migrar para sistemas com recursos de assistência mais personalizados. O uso de sensores médicos mais precisos com uma boa relação custo-benefício, sistemas com arquiteturas de Internet das Coisas padronizadas, heterogeneidade de dispositivos wearables conectados, multidimensionalidade de dados e uma alta demanda gerada que necessita da interoperabilidade são apontados como alguns obstáculos a serem vencidos nesta área. Adicionalmente, deverão ser levantadas questões sobre a privacidade e segurança das informações, pois é uma questão crucial para o futuro desta área (Zanon, Romancini, Manoel, et al., 2022). Outra preocupação relaciona-se ao desafio de desenvolver dispositivos que possam efetivamente ser utilizados pela população. Nesta seção foram elencados desafios para o desenvolvimento e implantação da Internet das Coisas em saúde e ambientes inteligentes.

##### **1.4.1. Desafios sobre vestíveis e comunicação**

A partir das informações de sensores vestíveis, invasivos ou não invasivos, observam-se algumas lacunas que ainda estão sendo objeto de pesquisa com relação aos dispositivos e seu uso na área de saúde, tais como: a) Gerenciamento de energia: dispositivos vestíveis requerem uma fonte de energia confiável que possa durar muito tempo sem a necessidade de substituição ou recarga frequente; b) Biocompatibilidade: Os dispositivos implantáveis precisam ser biocompatíveis, o que significa que não devem causar reações adversas ou respostas imunológicas no corpo; c) Segurança e privacidade de dados: dispositivos vestíveis coletam dados confidenciais de saúde, que precisam ser protegidos contra acesso não autorizado ou violações. Este ponto será aprofundado em uma seção destinada a este ponto; d) Interoperabilidade: diferentes dispositivos e sensores podem usar protocolos de comunicação diferentes, o que pode dificultar sua integração em um único sistema, e visando minimizar este problema, deve-se empregar plataformas para Internet das Coisas que permitam a integração entre

diferentes dispositivos; e) Padronização: é necessário padronizar dispositivos médicos sem fio e aplicativos móveis para garantir sua segurança, confiabilidade e interoperabilidade.

A Tabela 3 apresenta uma lista dos principais protocolos de comunicação utilizados nos dispositivos de Internet das Coisas em saúde que têm sido publicados nos últimos anos.

**Tabela 3 - Principais protocolos de comunicação utilizados nos dispositivos de IoT em Saúde**

Tecnologia sem fio	Desafios
Bluetooth LE	Questões relacionadas à transmissão e perdas de dados, como interferência de dispositivos externos, paredes espessas que afetam a confiabilidade dos dados. Tem sido uma boa alternativa para transmissão de dados de dispositivos que ficam próximos ao corpo dos usuários. As últimas versões do protocolo tem apresentado melhorias no que diz respeito ao número de componentes em uma rede, bem como melhorias na segurança das versões mais recentes deste protocolo.
WiFi	Também apresenta uma limitação de transmissão em ambientes internos, podendo ter interferência de outros dispositivos que usam a mesma frequência, e eventuais atrasos na transmissão de dados. Os microcontroladores para protótipos usam IEEE 802.11 g/n, que é uma versão anterior dos protocolos de WiFi que estão disponíveis nos roteadores. Por ser, uma versão anterior tem uma capacidade de transmissão menor e precisa verificar a latência de transmissão antes de empregar como solução de tomada de decisão sensível ao tempo. Para utilizar o MQTT, por exemplo, os dispositivos precisam ter acesso a uma rede WiFi, tendo que registrar a autenticação através de configuração para uso da rede.
ZigBee	Rede muito utilizada para automação residencial, sofre interferência de outros dispositivos que usam a mesma frequência, afetando a qualidade da transmissão. Possui um alcance muito baixo, necessitando integrar vários dispositivos para efetuar a transmissão em distâncias maiores. O ZigBee tem na sua camada física o IEEE 802.15.4.
5G	Rede celular com a implementação ainda em fase inicial em muitos países, incluindo no Brasil. Tem a limitação da disponibilidade e altos custos de implantação. Em termos de tecnologia é promissora devido às taxas de transferência e basicamente a falta de latência. No entanto, devido ao espaço geográfico brasileiro, existe a preocupação de contar com este tipo de tecnologia em cidades afastadas dos grandes centros.

RFID	Este tipo de rede sofre interferência de outros dispositivos eletrônicos que afetam a qualidade da transmissão. As antenas não possuem baixo alcance. Apesar de ser uma rede presente em diversos trabalhos, no período de 2014 e 2018, devido ao alcance limitado e a necessidade de uma antena coletora para os dados. É uma alternativa de rede para rastreamento de insumos, como por exemplo, de gerenciamento de medicações no contexto hospitalar.
------	---

Além disso, ainda relacionado a sensores e transmissão de dados existem também desafios relacionados ao envio do volume de dados para o armazenamento em nuvem. Armazenar dados brutos não é uma solução devido ao volume de dados e a necessidade de resposta rápida em muitas das questões relacionadas aos sensores e aplicação em saúde. Existe a necessidade de garantir a segurança do aplicativo e a segurança de pacientes que estejam monitorados por dispositivos na área de Internet das Coisas em saúde.

#### 1.4.2. Segurança e privacidade

Sem dúvida um dos maiores desafios para a Internet das Coisas aplicada à saúde é a segurança e privacidade das informações. Considerando os cenários que envolvem vestíveis ou outros dispositivos tecnológicos; a saúde com as aplicações digitais, caminha de um modelo tradicional em direção a um modelo centrado no paciente e de saúde digital (Perwej et al., 2022). Cada camada da arquitetura de sistemas de saúde possui funcionalidades distintas como já foram discutidas, o que significa que cada nível tem diferentes requisitos de segurança e privacidade. Os dispositivos operam com transmissão dos dados sem fio, com volume exagerado de dados, com processamento e memória limitados, e muitas vezes com sensibilidade ao tempo de transmissão. Devido a limitação de recursos, faz-se necessário compreender as premissas de segurança de dados dentro destes cenários.

Além disso, no Brasil, desde 2018 existe a Lei Geral de Proteção aos Dados (LGPD) para assegurar a segurança e privacidade dos usuários no que diz respeito ao uso das informações. A adequação dos aplicativos à lei de LGPD muitas vezes força o usuário a permitir o acesso inapropriado de aplicativos ao seu *smartphone*. Pois muitos dispositivos vestíveis fazem a transmissão para a nuvem através do *smartphone* pessoal de pacientes, o que também pode configurar uma ameaça aos usuários. Como por exemplo, localização, câmera, contatos, etc. E para finalizar, ainda tem as vulnerabilidades de cada protocolo que podem ser exploradas por atacantes.

Algumas das premissas de segurança aplicadas a Internet das Coisas em saúde a destacar:

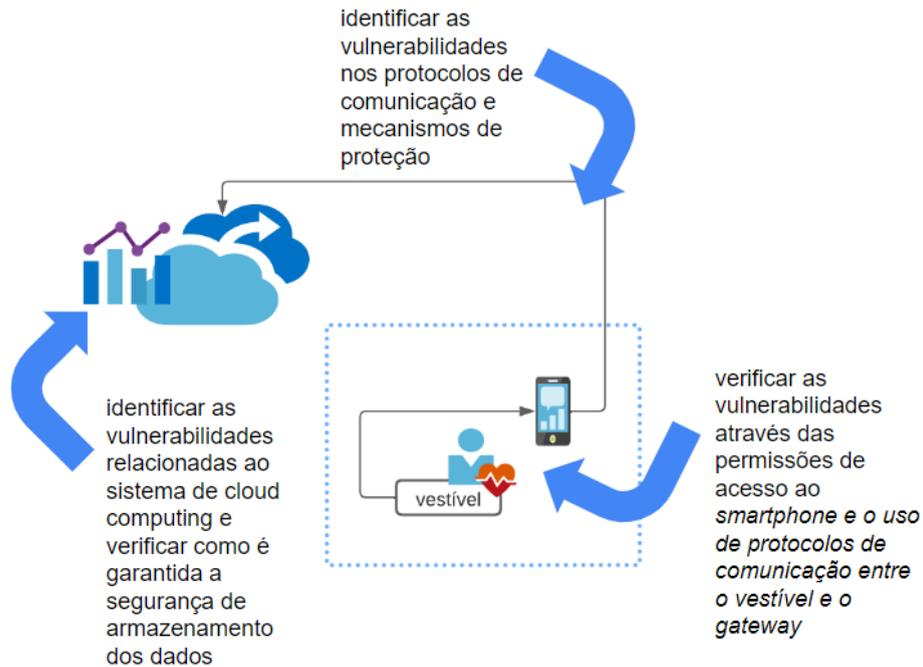
- **Confidencialidade:** trata-se de assegurar que as informações médicas do paciente não sejam compartilhadas sem autorização para tal, de acordo com preceitos de privacidade. No momento que a confidencialidade dos dados não for respeitada, um invasor pode interferir entre o receptor e o remetente efetuando a captura desses dados. Portanto, cabe ao desenvolvedor de tecnologia assegurar que os dados não serão interceptados. Isso pode ser feito através de algoritmos

criptográficos. Garantindo que as informações não serão divulgadas aos usuários, processos ou dispositivos, que não tenham sido autorizados para tal. Existe uma série de algoritmos criptográficos leves que podem ser executados em microcontroladores. Em (Zanon et al., 2022) apresenta-se uma comparação entre os algoritmos AES-256 CBC (*hardware* ESP32), PRESENT (*software*), SPECK (*software*), CLEFIA (*software*) em dois tipos de ataques: *man-in-the-middle* e espionagem. Além disso, foram definidas as métricas de *throughput* (vazão) e a latência para avaliar o impacto da criptografia leve na execução de exames com transmissão de sinais de eletrocardiograma.

- **Integridade:** A transmissão de dados sensíveis de pacientes de forma remota pode sofrer vazamento de informações. Por isso, o uso de camada intermediária de comunicação robusta (*fog ou edge computing*), como o recurso de dispositivos é limitado precisa contar com uma camada intermediária em condições de proteger a integridade das informações. Se houver alguma falha na arquitetura do sistema, o atacante pode realizar um ataque *man in the middle*, ou estimular o uso de *malwares*, acesso físico ao dispositivo e a injeção de código ou *firmware* malicioso ao dispositivo. As vantagens do blockchain neste escopo não se limitam ao compartilhamento seguro de dados do paciente entre plataformas, permitem aprimorar a interoperabilidade dos dados e a remoção de terceiros para controle de acesso (Qadri et al., 2020).
- **Não Repúdio:** É garantido a imutabilidade dos dados do tratamento médico e a certificação de não repúdio dos dados. Um dispositivo que coletou o eletrocardiograma de um paciente poderá enviar os dados e, posteriormente, alegar que não foi a origem desses dados. Por isso a imutabilidade e o não repúdio devem ser garantidos em todas as transações de dados no fluxo de transmissão dispositivo-servidor. Impede que uma entidade consiga negar a realização de determinada ação em uma interação anterior. Estas características também impulsionam o uso de blockchain para esta área.

Para ilustrar um dos casos possíveis e das diferentes possibilidades de vulnerabilidades relacionadas ao uso de dispositivos de Internet das Coisas em saúde, observe a Figura 8. Considere um vestível não invasivo que utiliza o *smartphone* como *gateway* para transmitir informações para o sistema de nuvem. Sem considerar quaisquer outros sistemas de camada intermediária, em uma rápida análise necessita ter a preocupação em garantir a segurança e privacidade em todos os níveis ou camadas da arquitetura. Para executar o aplicativo que coleta os dados no *smartphone*, o usuário precisa liberar o acesso a parte do dispositivo. Dependendo de como foi desenvolvida a aplicação poderão ter vulnerabilidades do sistema programado a ser explorado por pessoas mal intencionadas, ou até mesmo instalar algum *rootkit* ou *backdor* no dispositivo. Considerando a transmissão dos dados do vestível para o *smartphone*, que pode ser um BLE, ou mesmo um WIFI, existem as vulnerabilidades dos protocolos que podem ser exploradas ou permitir o acesso de terceiros mal intencionados. Além destes protocolos ainda tem o mecanismo de comunicação para transferir as informações para a nuvem, caso seja uma rede de celular existe um baixo nível de interceptação dos dados, mas se for outro tipo de rede haverá a necessidade de uso de algoritmos de

criptografia. E finalmente, neste exemplo fictício, ainda existe a necessidade de cuidar das informações que serão armazenadas na nuvem. Se o sistema utiliza um serviço fornecido por uma empresa de tecnologia da esfera mundial, possivelmente existirão as garantias de controle de acesso e segurança dos dados. Mas se for o caso de desenvolver um sistema de armazenamento próprio, um estudo aprofundado de como assegurar o acesso às informações, a confidencialidade e a integridade dos dados deverá ser feito.



**Figura 8- Esquema do uso de vestível e celular como gateway de acesso à Internet**

**Fonte: (próprio Autores)**

### 1.4.3. Vestíveis e sensores para idosos

Com base nas pesquisas disponibilizadas e analisadas nos últimos anos, observou-se que algumas lacunas persistem. Uma delas que tem se destacado é a questão das interfaces de usuários para utilizar dispositivos e recursos de IoT em saúde. Imaginem a seguinte situação: colocar um vestível de pulso para monitorar os sinais vitais de um idoso que vive sozinho com os seus 77 anos de vida. Este vestível pode se tornar um problema porque precisa do cuidado e atenção de carregar a bateria. Pessoas idosas possuem declínio da sua capacidade cognitiva e portanto esquecem coisas com mais facilidade que outros adultos. Este tipo de vestível pode se tornar um fardo e portanto, a pessoa idosa considerar de não utilizar com a frequência que deveria. E para finalizar, este tipo de dispositivo com certeza não é o mais adequado para esta finalidade.

Existe a necessidade de pesquisadores em IoT em saúde desenvolver

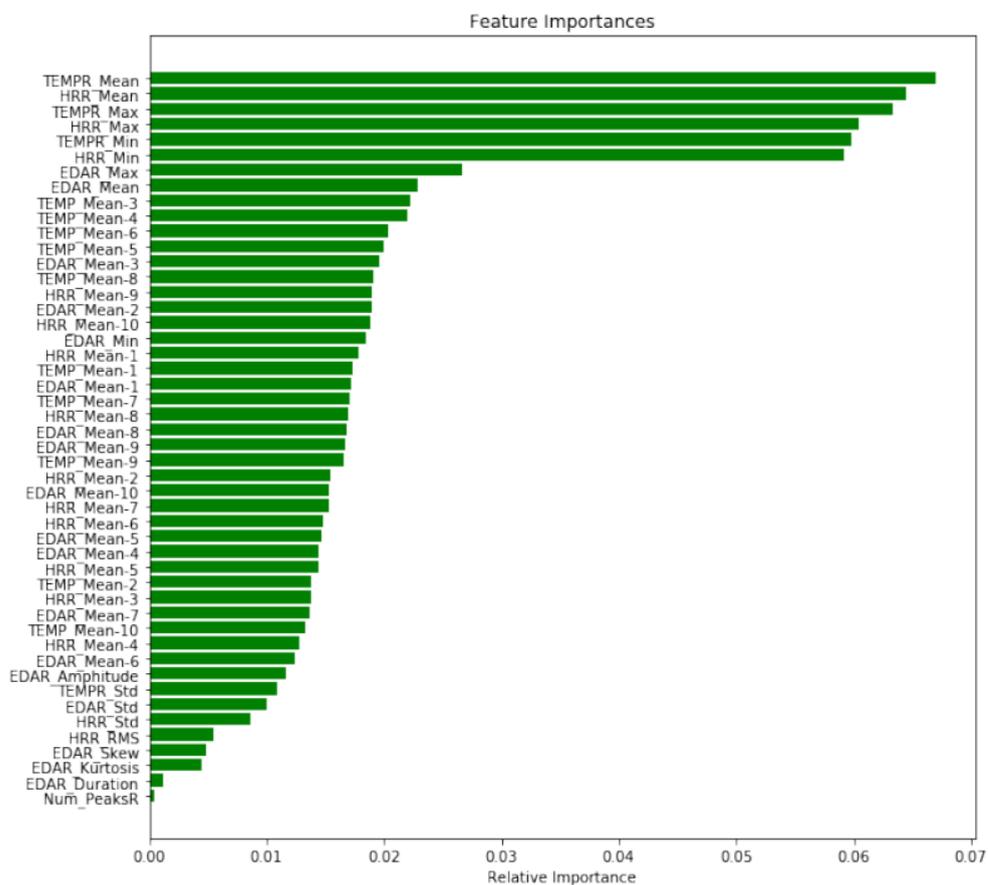
dispositivos funcionais mas que sejam adequados a esta população em especial. Isso pode ser um dos motivos de entaves da tecnologia para este setor. E com o aumento da população idosa, existe a necessidade de se promover tecnologia para reduzir a ida destas pessoas aos hospitais. Portanto, ao desenvolver pesquisa de IoT em saúde para idosos, considere usar recursos de computação centrada em humanos. Outro ponto a destacar, é que além da perda cognitiva existem outros fatores que também dificultam o uso da tecnologia. Os idosos têm a visão e audição comprometida com o passar dos anos. Portanto, apresentar a solução de acesso às informações através de recursos visuais de celular talvez não atenda às suas necessidades.

#### 1.4.4. Algoritmos explicáveis

Um outro desafio atrelado a ambientes inteligentes em saúde é tornar os sistemas de tomada de decisão mais confiáveis, reduzindo o risco de viés e apontando de uma forma explicativa quais soluções ou diagnósticos a partir de um determinado conjunto de dados. A Inteligência Artificial Explicável (do inglês, *Explainable Artificial Intelligence* - XAI) é um campo de pesquisa que visa tornar os modelos de IA transparentes e interpretáveis. É um recurso crucial para a implantação prática de modelos de IA principalmente em áreas de tomadas de decisão que envolvam seres humanos, como saúde, justiça e educação. A XAI pode auxiliar na explicabilidade de diferentes tipos de perfis, reduzir o número de vieses, explicar quais as características de um determinado modelo tiveram mais peso para a tomada de decisão do modelo. Portanto, esta área tem se dedicado a desenvolver formas de incluir explicabilidade e interpretabilidade em algoritmos de aprendizado de máquinas e aprendizado de máquinas profundo, de forma a promover algoritmos diferentes de algoritmos “caixa preta”. Ressalta-se que o avanço de sistemas inteligentes na área da saúde, principalmente na área de diagnóstico e análise de dados nos últimos anos, tem sido feito com base em algoritmos com esta característica. Analisam um volume de dados gigantesco e promovem a solução com base nestes dados, sem haver nestes resultados informações mais pessoais para cada indivíduo. Termos como compreensibilidade, inteligibilidade, interpretabilidade, explicabilidade e transparência passaram a ser pesquisados no sentido de incorporar ao uso de IA para determinadas áreas, evitando decisões equivocadas e presença de desvios (vieses) nestas soluções. A capacidade de um modelo de tornar sua função compreensível para humanos sem explicar sua estrutura interna ou meios algorítmicos, de representar seu conhecimento aprendido de uma forma compreensível por humanos, de explicar ou fornecer significado em termos compreensíveis e de ser compreensível por si só. Como por exemplo, o algoritmo de aprendizado de máquinas Máquina de Vetores de Suporte, ou em inglês, *Support Vector Machine* (SVM). Este algoritmo tem sido empregado como uma das técnicas de classificação de biomarcadores de estresse bem sucedida, em diversas pesquisas sobre estresse ocupacional analisadas nos últimos anos. Seria possível aplicar regras de explicação para este algoritmo tornando o resultado mais explicativo, ao invés de apenas treinar e apontar o desempenho do algoritmo frente ao treinamento da base de dados. Este tema e algumas alternativas que vêm sendo propostas foram discutidos no capítulo sobre biomarcadores para identificação de estresse (Morales et al., 2022). A

interpretabilidade também é essencial para sistemas de IA explicáveis. É um mecanismo para fornecer entendimento qualitativo entre as variáveis de entrada e a resposta do algoritmo.

Para exemplificar, a seguir é possível visualizar o resultado de aplicação de um algoritmo de *feature importance* sobre um conjunto de biomarcadores para estresse. Trata-se de uma técnica que calcula uma pontuação para as *features* de entrada para um determinado modelo — as pontuações representam a “importância” de cada *feature*. A pontuação mais alta significa que a *feature* tem um efeito maior no modelo que está sendo usado para prever uma determinada variável. Como pode ser observado no gráfico da Figura 9 os valores maiores têm maior influência no resultado do modelo, neste caso a média de temperatura e a taxa de variação cardíaca, e os valores médios e mínimos de cada um destes biomarcadores apresentam os maiores valores dentro do conjunto de dados usado no treinamento (TEMPR e HRR) (Fernandes, 2022).



**Figura 9 - Gráfico com resultado do algoritmo *Feature Importance***

Fonte: (Fernandes, 2022)

## 1.5. Conclusões

Conforme apresentado no capítulo, as áreas de Internet das Coisas e de Inteligência Artificial permanecem como áreas promissoras de mercado com significativo aporte financeiro para o desenvolvimento e aprimoramento de soluções. Quando trazemos estas áreas alinhadas ao contexto da saúde verificamos as inúmeras possibilidades de benefícios que os ambientes inteligentes e os sistemas inteligentes podem trazer a todo o ecossistema da saúde, e claro que com esta junção de áreas surgem desafios que precisam ser abordados com pesquisa tendo questões éticas e legislação como base.

A produção acadêmica sobre o tema Internet das Coisas e Saúde segue significativa, bem como a produção de patentes mundiais. Conforme descrito por (ROSA, SOUZA, SILVA, 2020), a tendência de inovações, observadas no estudo conduzido, destacava questões quanto a IoT e Saúde no âmbito da arquitetura de processos, sistemas e dispositivos relacionados a monitoramento remoto de pacientes através de sensores e plataformas inteligentes; redes de comunicação; armazenamento em nuvem; processamento, análise e gestão de dados de forma integrada e eficiente; segurança e controle de dados de saúde.

Ao adotar soluções baseadas em Internet das Coisas e Inteligência Artificial em diversos contextos, principalmente no contexto da saúde, surgem questões que necessitam ser pesquisadas e observadas, tais como proteção de dados do paciente, a Lei Geral de Proteção de Dados e cibersegurança dos sistemas. Estas questões se tornam ainda mais relevantes quando se trata de dispositivos médicos representados por equipamentos de *Internet of Medical Things*, que podem ter desempenho comprometido por questões de vulnerabilidade em redes de telecomunicação.

Em 2019, o governo federal apresentou o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT), instituído pelo Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019 (Brasil, 2019), que tem como embasamento o estudo “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” consolidando uma visão estratégica sobre o tema para o território nacional (BNDES, 2018). Do ponto de vista regulatório, existem barreiras a serem solucionadas como por exemplo, a segurança e a privacidade de dados. O decreto nº 10.046, de 09 de outubro de 2019, assegura tratamento pautado nos princípios de privacidade, preservação da intimidade e respeito aos dados pessoais, nos termos da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). No entanto, as arquiteturas que têm sido utilizadas, os dispositivos para a monitoração de dados e até mesmo os próprios protocolos de comunicação não deixam claro como lidar com este problema. A maioria dos protótipos que têm sido encontrados na literatura científica, nos últimos anos, não apresentam preocupação com a segurança e privacidade dos dados dos pacientes, ou usuários. Alguns trabalhos específicos sobre esta abordagem propõem algoritmos leves ou uso de blockchain para resolver o problema.

Questões éticas e os possíveis impactos sociais do uso da Inteligência Artificial no âmbito da saúde há muito já se apresenta nas pautas das reuniões. No ano de 2021 a Organização Mundial da Saúde (OMS) disponibilizou um robusto relatório sobre Ética e Governança da Inteligência Artificial para a Saúde<sup>20</sup>, onde temas atuais são abordados, tais como, leis, políticas e princípios que se aplicam ao uso da inteligência artificial para a saúde, princípios éticos fundamentais para o uso da inteligência artificial na área da saúde, desafios éticos para o uso da inteligência artificial na área da saúde e os regimes de responsabilidade para a inteligência artificial para a saúde. O relatório destaca, de forma objetiva, os desafios e riscos éticos do uso da inteligência artificial na saúde, sendo apresentados os seis princípios chaves para garantir que a Inteligência Artificial atue pelo benefício público dos países.

No Brasil ainda não há uma legislação aprovada buscando regulamentar o uso da Inteligência Artificial no país, mas houve no ano de 2020 a criação do Projeto de lei (PL 21/2020<sup>21</sup>) que criou o marco legal para uso de inteligência artificial no Brasil, onde são estabelecidos os fundamentos, princípios e diretrizes para o desenvolvimento e a aplicação da Inteligência Artificial no Brasil. Atualmente o Senado Federal está analisando o Projeto de Lei nº 2338<sup>22</sup>, de 2023 que dispõe sobre o uso da inteligência artificial no Brasil. Cabe ressaltar que há a previsão de classificação de risco à sociedade da solução de Inteligência Artificial que se encontra em proposição, podendo ser de alto risco ou risco excessivo, conforme critérios propostos pela comissão responsável.

No contexto da Comunidade Européia, movimento semelhante busca regulamentar o uso da Inteligência Artificial, com base no documento “*Regulatory framework proposal on artificial intelligence*”<sup>23</sup>. A proposta regulatória tem como objetivo fornecer aos desenvolvedores, implantadores e usuários de IA requisitos e obrigações claras em relação a usos específicos da IA. Semelhante ao Projeto de lei (PL 21/2020) brasileiro, também é previsto no framework níveis de risco percebidos nas soluções de IA, conforme Figura 10: Risco inaceitável, Risco alto, Risco limitado ou Risco mínimo ou nulo.

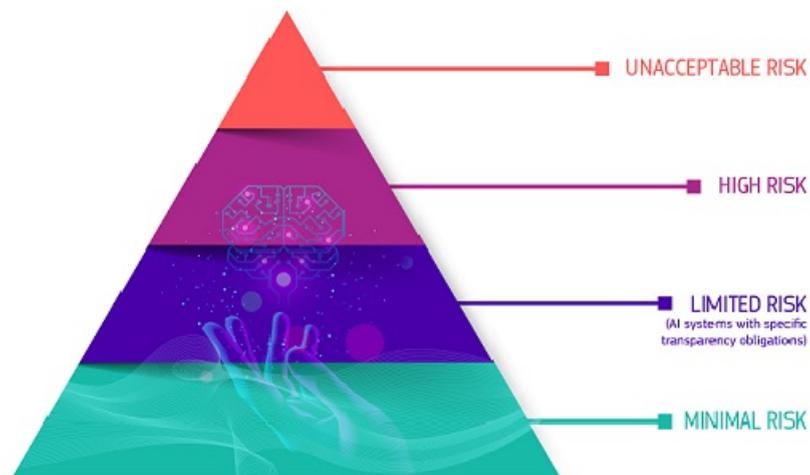
---

<sup>20</sup> <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>

<sup>21</sup> <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2236340>

<sup>22</sup> <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/157233>

<sup>23</sup>



**Figura 10 - Abordagem baseada em riscos para soluções de IA**

Fonte: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

Por fim, cabe ressaltar a importância do movimento nacional e internacional visando regulamentar e assim, permitir o desenvolvimento das áreas de Internet das Coisas e Inteligência Artificial, de forma segura para a aplicação de soluções nos diversos contextos possíveis, principalmente para uma área tão sensível para o cidadão como a área da saúde.

## Referências

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Gamal, A., & Chang, V. (2019). A Novel Intelligent Medical Decision Support Model Based on Soft Computing and IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 4662(c), 1–1. <https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2931647>
- Aceto, G., Persico, V., & Pescapé, A. (2018). The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 107(July 2017), 125–154. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.02.008>
- Al-Qatatsheh, A., Morsi, Y., Zavabeti, A., Zolfagharian, A., Salim, N., Kouzani, A. Z., Mosadegh, B., & Gharaie, S. (2020). Blood pressure sensors: Materials, fabrication methods, performance evaluations and future perspectives. *Sensors (Switzerland)*, 20(16), 1–77. <https://doi.org/10.3390/s20164484>
- Al-Turjman, F., Nawaz, M. H., & Ullah, U. D. (2020). Intelligence in the Internet of Medical Things era: A systematic review of current and future trends. *Computer Communications*, 150(December 2019), 644–660. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.12.030>
- Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K., &

- Zhang, J. C. (2014). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1065–1082.  
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2014.2328098>
- Batmaz, Z., Yurekli, A., Bilge, A., & Kaleli, C. (2019). A review on deep learning for recommender systems: challenges and remedies. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 1–37. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9654-y>
- BNDES. (2017). *Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil - Relatório de Aprofundamento de Verticais – Saúde*.  
[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivos/internetdascoisas/fase3\\_7b\\_relatorio-de-aprofundamento-das-verticais-saude.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivos/internetdascoisas/fase3_7b_relatorio-de-aprofundamento-das-verticais-saude.pdf)
- BNDES. (2018). *Plano de Ação do Estudo de Internet das Coisas. Produto 9a : Relatório Final do Estudo*.  
[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivos/internetdascoisas/fase3\\_9a\\_relatorio-final-do-estudo.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivos/internetdascoisas/fase3_9a_relatorio-final-do-estudo.pdf)
- Brasil. (2019). *DECRETO Nº 9.854*. D.O.U. DE 26/06/2019, P. 10.  
[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/d9854.html](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9854.html)
- Cabrini, F. H., De Barros Castro Filho, A., Filho, F. V., Kofuji, S. T., & Moura, A. R. L. P. (2019). Helix SandBox: An open platform to fast prototype smart environments applications. *Proceedings of the 2019 IEEE 1st Sustainable Cities Latin America Conference, SCLA 2019*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1109/SCLA.2019.8905583>
- Castaneda, D., Esparza, A., Ghamari, M., Soltanpur, C., & Nazeran, H. (2018). A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 4(4), 195. <https://doi.org/10.15406/IJBSBE.2018.04.00125>
- Chalabianloo, N., Said, Y., Umair, M., & Sas, C. (2022). Application level performance evaluation of wearable devices for stress classification with explainable AI. *Pervasive and Mobile Computing*, 87, 101703.  
<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101703>
- Cieslak, F. A. M. (2021). *Análise do protocolo 6LowPAN/RPL para simulação de redes de sensores voltadas sem fio voltadas ao IoT Healthcare utilizando o COOJA/Contiki* [Araranguá, SC].  
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228721>
- Cocian, L. F. E., Morales, A. S., & Schneider, I. J. C. (2023). Internet of Things as support to reduce hospital errors related to medication administration. *Research, Society and Development*, 12(3), e6312340425–e6312340425.

<https://doi.org/10.33448/RSD-V12I3.40425>

- Cordeiro, B. M. de O. S. (2022). *Redes IoT Baseadas em SDN e Dirigidas por Intenções* [Universidade Federal de Goiás (UFG)].  
<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/12211/3/Dissertação - Bruna Michelly de Oliveira Silva Cordeiro - 2022.pdf>
- Deo, R. C. (2015). Machine Learning in Medicine HHS Public Access. *Circulation*, 132(20), 1920–1930.  
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.001593>
- Devi, D. H., Duraisamy, K., Armghan, A., Alsharari, M., Aliqab, K., Sorathiya, V., Das, S., & Rashid, N. (2023). 5G Technology in Healthcare and Wearable Devices: A Review. *Sensors 2023, Vol. 23, Page 2519*, 23(5), 2519.  
<https://doi.org/10.3390/S23052519>
- Dunn, J., Runge, R., & Snyder, M. (2018). Wearables and the medical revolution. *Personalized Medicine*, 15(5), 429–448.  
<https://doi.org/10.2217/pme-2018-0044>
- Fernandes, M. S. (2022). *Inteligência Artificial Explicável aplicada a Aprendizado de Máquina: Um estudo para Identificar Estresse Ocupacional em Profissionais da Saúde*. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243462> Acessado em: 19 de maio de 2023.
- Golledge, J., Fernando, M., Lazzarini, P., Najafi, B., & Armstrong, D. G. (2020). The Potential Role of Sensors, Wearables and Telehealth in the Remote Management of Diabetes-Related Foot Disease. *Sensors*, 20(4527), 1–15.  
<https://doi.org/10.3390/s20164527>
- Gralha, S. R., Fleig, T., Dihl, F. V., Morales, A. S., & Cazella, S. C. (2022). Tecnologias de IoT na área da saúde para idosos: um mapeamento sistemático. *Research, Society and Development*, 11(7), e49111730453.  
<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30453>
- Habibzadeh, H., Dinesh, K., Rajabi Shishvan, O., Boggio-Dandry, A., Sharma, G., & Soyata, T. (2020). A Survey of Healthcare Internet of Things (HIoT): A Clinical Perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1), 53–71.  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2946359>
- Habibzadeh, H., Soyata, T., Kantarci, B., Boukerche, A., & Kaptan, C. (2018). Sensing, communication and security planes: A new challenge for a smart city system design. *Computer Networks*, 144, 163–200.  
<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.08.001>
- Islam, M. M., & Bhuiyan, Z. A. (2023). An Integrated Scalable Framework for Cloud and IoT based Green Healthcare System. *IEEE Access*, 11(March), 22266–22282. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3250849>

- ITU (Ed.). (2012). Recommendation ITU-T Y.2060: An overview of internet of things. In *SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models* (pp. 1–22). International Telecommunication Union (ITU).
- ITU. (2014). Recommendation ITU-T Y.2066 Common requirements of the Internet of things. In ITU (Ed.), *SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models* (ITU, p. 32). ITU. <http://handle.itu.int/11.1002/1000/12169>
- ITU. (2019). Recommendation ITU-T Y.4460: Architectural reference models of devices for Internet of things applications. In ITU (Ed.), *GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS, NEXT-GENERATION NETWORKS, INTERNET OF THINGS AND SMART CITIES GLOBAL* (ITU, pp. 1–26). International Telecommunication Union (ITU). <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>
- Kakhi, K., Alizadehsani, R., Kabir, H. M. D., Khosravi, A., Nahavandi, S., & Acharya, U. R. (2022). The internet of medical things and artificial intelligence: trends, challenges, and opportunities. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 42(3), 749–771. <https://doi.org/10.1016/J.BBE.2022.05.008>
- Kashyap, V., Kumar, A., Kumar, A., & Hu, Y. C. (2022). A Systematic Survey on Fog and IoT Driven Healthcare: Open Challenges and Research Issues. *Electronics (Switzerland)*, 11(17), 1–25. <https://doi.org/10.3390/electronics11172668>
- Koydemir, H. C., & Ozcan, A. (2018). Wearable and Implantable Sensors for Biomedical Applications. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 11, 127–146. <https://doi.org/10.1146/annurev-anchem-061417-125956>
- Lu, T., Ji, S., Jin, W., Yang, Q., Luo, Q., & Ren, T. (2023). Biocompatible and Long-Term Monitoring Strategies of Wearable, Ingestible and Implantable Biosensors: Reform the Next Generation Healthcare. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(6), 2991(1-37).
- Marques, G., Pitarma, R., Garcia, N. M., & Pombo, N. (2019). Internet of things architectures, technologies, applications, challenges, and future directions for enhanced living environments and healthcare systems: A review. *Electronics (Switzerland)*, 8(10), 1–27. <https://doi.org/10.3390/electronics8101081>
- Marques, G., Miranda, N., Bhoi, A. K., Garcia-zapirain, B., Hamrioui, S., & Díez, I. de la T. (2020). Internet of things and enhanced living environments: Measuring and mapping air quality using cyber-physical systems and mobile computing technologies. *Sensors (Switzerland)*, 20(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s20030720>

- Marques, G., Saini, J., Dutta, M., Singh, P. K., & Hong, W. C. (2020). Indoor air quality monitoring systems for enhanced living environments: A review toward sustainable smart cities. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(10). <https://doi.org/10.3390/SU12104024>
- Minh Dang, L., Piran, M. J., Han, D., Min, K., & Moon, H. (2019). A survey on internet of things and cloud computing for healthcare. *Electronics (Switzerland)*, *8*(7), 1–49. <https://doi.org/10.3390/electronics8070768>
- Morales, A. S., Ourique, F. de O., & Cazella, S. C. (2021). A Comprehensive Review on the Challenges for Intelligent Systems Related with Internet of Things for Medical Decision. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, *410*, 221–240. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70111-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70111-6_11)
- Morales, A. S., de Oliveira Ourique, F., Morás, L. D., & Cazella, S. C. (2022). Exploring Interpretable Machine Learning Methods and Biomarkers to Classifying Occupational Stress of the Health Workers. *Intelligent Systems Reference Library*, *121*, 105–124. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-97516-6\\_6/COVER/](https://doi.org/10.1007/978-3-030-97516-6_6/COVER/)
- Morales, A., Barbosa, M., Morás, L., Cazella, S. C., Sgobbi, L. F., Sene, I., & Marques, G. (2022). Occupational Stress Monitoring Using Biomarkers and Smartwatches: A Systematic Review. *Sensors 2022, Vol. 22, Page 6633*, *22*(17), 6633. <https://doi.org/10.3390/S22176633>
- Morales, A. S.; Schneider, I. J. C. ; Ourique, F. O. ; Cazella, S. C. (*in press*). Roadmap to the elderly enhanced living and care environments: applications and challenges on the Internet of Things domain. *Advances in Computers*, Elsevier.
- Muhammed, T., Mehmood, R., Albeshri, A., & Katib, I. (2018). UbeHealth: A personalized ubiquitous cloud and edge-enabled networked healthcare system for smart cities. *IEEE Access*, *6*, 32258–32285. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2846609>
- Nilson, E.A.F., Andrade R.C.S., Brito D.A., Oliveira M.L. (2018). Custos atribuíveis à obesidade, hipertensão e diabetes no Sistema Único de Saúde, Brasil, 2018. *Rev Panam Salud Publica*. 2020;44:e32. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2020.32>
- Nasajpour, M., Pouriyeh, S., Parizi, R. M., Dorodchi, M., Valero, M., & Arabnia, H. R. (2020). Internet of Things for Current COVID-19 and Future Pandemics: an Exploratory Study. *Journal of Healthcare Informatics Research*, *4*(4), 325–364. <https://doi.org/10.1007/s41666-020-00080-6>
- OMS. (2015). *Relatório Mundial de Envelhecimento e Saúde*. <https://sbgg.org.br/wp-content/uploads/2015/10/OMS-ENVELHECIMENTO-2015-port.pdf>

- Perwej, Y., Akhtar, N., Neha Kulshrestha, & Mishra, P. (2022). A Methodical Analysis of Medical Internet of Things (MIoT) Security and Privacy in Current and Future Trends. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 9(1), d346–d371.  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03540225><https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03540225/document>
- Prieto-Avalos, G., Cruz-Ramos, N. A., Alor-Hernández, G., Sánchez-Cervantes, J. L., Rodríguez-Mazahua, L., & Guarneros-Nolasco, L. R. (2022). Wearable Devices for Physical Monitoring of Heart: A Review. *Biosensors*, 12(5), 1–31.  
<https://doi.org/10.3390/bios12050292>
- Qadri, Y. A., Nauman, A., Zikria, Y. Bin, Vasilakos, A. V., & Kim, S. W. (2020). The Future of Healthcare Internet of Things: A Survey of Emerging Technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c, 1–1.  
<https://doi.org/10.1109/comst.2020.2973314>
- Qureshi, H. N., Manalastas, M., Farooq, M. U. Bin, Imran, A., Liu, Y., & Kalaa, M. O. Al. (2023). 5G-Enabled Healthcare in Mobile Scenarios: Challenges and Implementation Considerations. *IEEE Network*.  
<https://doi.org/10.1109/MNET.125.2200243>
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine*, 380(14), 1347–1358.  
<https://doi.org/10.1056/NEJMra1814259>
- Rayan, Z., Alfonse, M., & Salem, A. B. M. (2018). Machine Learning Approaches in Smart Health. *Procedia Computer Science*, 154(1985), 361–368.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.06.052>
- RNP (2023) Relatório Técnico: Visão do Futuro da Saúde Digital. , Rede nacional de Pesquisa/RNP/Comitê Técnico de Prospecção em Saúde Digital (CT-SD). Org.: Moro , C.; Amaro, E. ; Branco , G.; Araujo , G. B.; Moura, L. A. ; Portilho, L.; Messina, L. A.; Espinola , M. M. G. ; Lopes, P. R. L. Disponível em :  
[https://wiki.rnp.br/download/attachments/131176955/CT-SD\\_Visao\\_de\\_Futuro\\_versão2022.pdf?version=3&modificationDate=1678821886000&api=v2](https://wiki.rnp.br/download/attachments/131176955/CT-SD_Visao_de_Futuro_versão2022.pdf?version=3&modificationDate=1678821886000&api=v2).  
 Acessado em : 08/04/2023
- Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.V. , & Campo-Valera, M. (2023). Applications of the Internet of Medical Things to Type 1 Diabetes Mellitus, *Electronics* 12, no. 3: 756. <https://doi.org/10.3390/electronics12030756>
- Romanholo, P. V. V., Razzino, C. A., Raymundo-Pereira, P. A., Prado, T. M., Machado, S. A. S., & Sgobbi, L. F. (2021). Biomimetic electrochemical sensors: New horizons and challenges in biosensing applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 185, 113242. <https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2021.113242>

- Rosa, C.M., Souza, P.A.R., Silva, J.M.(2020) Inovação em saúde e internet das coisas (IoT): Um panorama do desenvolvimento científico e tecnológico. *Perspectivas em Ciência da Informação*. N.25, número 3, p. 164-181. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-5344/3885>
- Sadoughi, F., Behmanesh, A., & Sayfour, N. (2020). Internet of things in medicine: A systematic mapping study. *Journal of Biomedical Informatics*, 103(January), 103383. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103383>
- Scarpato, N., Pieroni, A., Di Nunzio, L., & Fallucchi, F. (2017). E-health-IoT universe: A review. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(6), 2328–2336. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.6.4467>
- Seneviratne, S., Hu, Y., Nguyen, T., Lan, G., Khalifa, S., Thilakarathna, K., Hassan, M., & Seneviratne, A. (2017). A Survey of Wearable Devices and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(4), 2573–2620. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2731979>
- Serhani, M. A., El Kassabi, H. T., Ismail, H., & Navaz, A. N. (2020). ECG monitoring systems: Review, architecture, processes, and key challenges. *Sensors (Switzerland)*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/s20061796>
- Shetty, A., Kaur, S., & HJ, Y. (2023). Future Well-Being with Digital Health Technologies. *Journal Healthcare Treatment Development*, 31, 1–8. <https://doi.org/10.55529/jhtd.31.1.8>
- Silva, H. H. da, Rocha, M., Martins, G. G. V., Fernandes, M., Morales, A. S., & Panisson, A. (2023). Perspectivas da Utilização de Teoria da Mente para o Reconhecimento e Intervenção de Estresse Ocupacional. *Anais Do Computer on the Beach 2023*, 487–489. <https://doi.org/10.14210/cotb.v14.p487-489>
- Tian, S., Yang, W., Grange, J. M. Le, Wang, P., Huang, W., & Ye, Z. (2019). Smart healthcare: making medical care more intelligent. *Global Health Journal*, 3(3), 62–65. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2019.07.001>
- Tiffin, P. A., & Paton, L. W. (2018). Rise of the machines? Machine learning approaches and mental health: Opportunities and challenges. *British Journal of Psychiatry*, 213(3), 509–510. <https://doi.org/10.1192/bjp.2018.105>
- Yang, G., Deng, J., Pang, G., Zhang, H., Li, J., Deng, B., Pang, Z., Xu, J., Jiang, M., Liljeberg, P., Xie, H., & Yang, H. (2018). An IoT-Enabled Stroke Rehabilitation System Based on Smart Wearable Armband and Machine Learning. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2018.2822681>
- Zanon, V. R., Romancini, E. M. R., Ourique, F. de O., & Morales, A. S. (2021). Dispositivo com Interface Vestível para a Aquisição, Processamento e

Transmissão do Sinal Cardíaco em Exame de Eletrocardiograma. *Anais Do Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS)*, 48–59.  
<https://doi.org/10.5753/SBCAS.2021.16052>

Zanon, V. R., Romancini, E. M. R., Manoel, B. de E., Lau, J., Ourique, F. de O., & Morales, A. S. (2022). Avaliação experimental de uma camada de segurança implementada em dispositivo vestível cardíaco para Internet das Coisas Médicas. *Anais Do Simpósio Brasileiro de Segurança Da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSeg)*, 97–110.  
<https://doi.org/10.5753/SBSEG.2022.224659>

Zanon, V. R., Romancini, E. M. R., Ourique, F. de O., & Morales, A. S. (2022). Wearable technology for electrocardiogram and vectocardiogram using the Dower Transformation. | Zanon | Journal of Health Informatics. *Journal of Health Informatics*, 14(1), 3–10.  
<http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojs-jhi/index.php/jhi-sbis/article/view/889>

Zhang, S., Yao, L., Sun, A., & Tay, Y. (2019). Deep learning based recommender system: A survey and new perspectives. *ACM Computing Surveys*, 52(1).

Wu, J., Nan, Y., Kumar, V., Tian, D., Bianchi, A., Payer, M., & Xu, D. (2020). BLESAs: Spoofing attacks against reconnections in bluetooth low energy. *WOOT 2020 - 14th USENIX Workshop on Offensive Technologies, Co-Located with USENIX Security 2020*, 8, 8.  
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3488877.3488885>