THIAGO PULZATTO DE OLIVEIRA

Os benefícios do uso de dispositivos baseados em Internet das Coisas para os pacientes, no conceito de hospital inteligente

São Paulo

2021

THIAGO PULZATTO DE OLIVEIRA

Os benefícios do uso de dispositivos baseados em Internet das Coisas para os pacientes, no conceito de hospital inteligente

Versão Original

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.

Orientador: Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

de Oliveira, Thiago Pulzatto

Os benefícios do uso de dispositivos baseados em Internet das Coisas para os pacientes, no conceito de hospital inteligente / T. P. de Oliveira -- São Paulo, 2021.
94 p.

Monografia (MBA em Internet of Things) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Internet das Coisas 2.Real-time Locating System 3.Hospital Inteligente 4.Tecnologia na saúde I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Nome: de OLIVEIRA, Thiago Pulzatto

Título: Os benefícios do uso de dispositivos baseados em Internet das Coisas para os pacientes, no conceito de hospital inteligente

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things.*

Aprovado em: 09/02/2021

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). Carlos Eduardo Cugnasca

Instituição: Departamento de Enga. de Computação e Sistemas Digitais - EPUSP

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Eduardo Ferreira Franco

Instituição: PCS/POLI - USP

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). VIDAL AUGUSTO ZAPPAROLI CASTRO NETO

Instituição: PECE/POLI/USP

Julgamento: APROVADO

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos, pela força e apoio que sempre me deram para buscar crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo auxílio na determinação de concluir o curso e o trabalho.

À Universidade de São Paulo – USP que é referência de ensino e pesquisas com sua excelente equipe.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP que forma profissionais de referência pelo alto grau na qualidade de ensino.

Ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia que disponibilizou e possibilitou novos conhecimentos para empregar na minha vida profissional e pessoal.

Ao meu orientador, Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo Cugnasca, por seu apoio, aprendizado, direcionamento, paciência e confiança.

Aos professores e colegas da classe que sempre me ajudaram, apoiaram e compartilharam conhecimentos.

À minha mãe e meu pai (*in memoriam*) que sempre me incentivaram aos estudos, além de todos os ensinamentos que formam o meu alicerce como pessoa. Tenho profunda gratidão.

À Ana Clara, minha namorada, que me ajudou e incentivou para concluir este trabalho.

Ao meu primo Diego Pulzatto Cury pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo me auxiliando nos momentos mais difíceis.

EPÍGRAFE

"*Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana"*

(Carl Gustav Jung)

RESUMO

de OLIVEIRA, T. P. **Os benefícios do uso de dispositivos baseados em Internet das Coisas para os pacientes, no conceito de hospital inteligente**. 2021. p. 94. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2021.

Devido ao crescimento da população e da sua longevidade, existe um crescente aumento na procura de cuidados médicos, implicando no incremento dos gastos associados. O emprego de novas tecnologias pode contribuir para reduzir os custos e trazer mais efetividade e eficiência nos tratamentos hospitalares. Elas possuem o potencial de transformar os hospitais em edifícios inteligentes, alterando a maneira como pacientes e funcionários interagem entre si e com os sistemas hospitalares, a interação dos dispositivos sem a ação humana, dentre outras vantagens. O objetivo deste trabalho é avaliar e discutir os benefícios proporcionados nos hospitais inteligentes com o emprego de dispositivos desenvolvidos segundo o paradigma da Internet das Coisas, juntamente com tecnologias de localização em ambientes fechados. Para isso, é retratada a tecnologia *Real-time Locating System* e suas aplicações a fim de evidenciar os benefícios oferecidos. A metodologia empregada foi a elaboração de uma resenha sobre hospitais inteligentes, a avaliação de conceitos e alguns casos reais. Como contribuição, o trabalho apresenta e identifica novos potenciais e tendências, discutindo as melhorias trazidas com a adoção das tecnologias citadas.

Palavras-chave: Internet das Coisas. *Real-time Locating System*. Hospital Inteligente. *Radio-Frequency Identification*. Rastreabilidade.

ABSTRACT

de OLIVEIRA, T. P. **Os benefícios do uso de dispositivos baseados em Internet das Coisas para os pacientes, no conceito de hospital inteligente**. 2021. p. 94. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2021.

Due to the growth of the population and its longevity, there is a growing increase in the demand for medical care, implying an increase in associated expenses. The use of new technologies can contribute to reduce costs and bring more effectiveness and efficiency to hospital treatments. They have the potential to transform hospitals into smart buildings, changing the way patients and staff interact with each other and with hospital systems, the interaction of devices without human action, among other advantages. The objective of this work is to evaluate and discuss the benefits provided in smart hospitals with the use of devices developed according to the Internet of Things paradigm, together with location technologies in closed environments. For this, Real-time Locating System technology is depicted and it is applications in order to highlight the benefits offered. The methodology used was the elaboration of a review on smart hospitals, the evaluation of concepts and some real cases. As contribution, the study presents and identifies new potentials and trends, discussing the improvements brought about by the adoption of the mentioned technologies.

Keywords: Internet of Things. Real-time Locating System. Smart Hospital. Radio-Frequency Identification. Traceability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Envelhecimento da população x despesas de saúde 19
Figura 2 – Algumas áreas de aplicação da IoT 24
Figura 3 – Blocos básicos da IoT 25
Figura 4 - Modelo geral de comunicação LBS 29
Figura 5 – Sistema básico do RFID 35
Figura 6 – Exemplos de *Tags* RFID 36
Figura 7 – Projeção do mercado RFID em bilhões de dólares 37
Figura 8 – Alguns exemplos de utilização do RFID 38
Figura 9 – Constelação de satélites para os 24 *slots* 39
Figura 10 – Técnica de proximidade 41
Figura 11 – Técnica de trilateração 41
Figura 12 – Técnica de angulação 42
Figura 13 – Classificação das redes sem fio 44
Figura 14 – Principais faixas ISM no Brasil 45
Figura 15 – Exemplos das possíveis topologias de rede ZigBee 46
Figura 16 – Frequências e versões do Wi-Fi 47
Figura 17 – funcionalidades e benefícios do Wi-Fi HaLow 48
Figura 18 – Banda de transmissão x cobertura 49
Figura 19 – Arquitetura de rede *LoRaWAN* 51
Figura 20 – Arquitetura da rede *Sigfox* 52
Figura 21 – Segurança padrão do *Sigfox* 53
Figura 22 – Opções de implantação do *NB*-IoT 56
Figura 23 – Banda de guarda de uma portadora LTE para utilizar o *NB*-IoT .. 56
Figura 24 – Algumas aplicações do *NB*-IoT e *eMTC* 57
Figura 25 – Conexões IoT (bilhões) 59
Figura 26 – Dispositivos conectados excluindo dispositivos IoT (em bilhões) 59
Figura 27 – Estimativa do crescimento populacional 62
Figura 28 – Expectativa de vida 62
Figura 29 – Números relacionados a erros em hospitais 63
Figura 30 – Hospital inteligente com a IoT implantada 65
Figura 31 – Exemplo da localização estimada 68
Figura 32 – Exemplo de localização precisa 69

Figura 33 – Distanciamento social monitorado pelo RTLS 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos erros dos medicamentos 19
Tabela 2 – Comparativo de tecnologias.....34
Tabela 3 – Frequências, características e aplicações típicas das *tags* 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Segunda geração de rede de celulares
3G	Terceira geração de rede de celulares
3GPP	*3rd Generation Partnership Project*
4G	Quarta geração de rede de celulares
5G	Quinta geração de rede de celulares
ADT	*Admission Discharge Transfer*
AES	*Advanced Encryption Standard*
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AoA	*Angle of Arrival*
API	*Application Programming Interface*
BLE	*Bluetooth Low Energy*
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BI	*Business Intelligence*
CSS	*Chirp Spread Spectrum Modulation*
dBm	*Decibel miliwatt*
EC-GSM-IOT	*Extended Coverage* GSM IoT
EDGE	*Enhanced Data Rates for Global Evolution*
eMTC	*Enhanced Machine Type Communication*
EUA	Estados Unidos da América
GPRS	*General Packet Radio Service*
GPS	*Global Positioning System*
GSM	*Global System for Mobile*
HSCSD	*High Speed Circuit Switched Data*
ID	*Identity*
IoT	*Internet of Things*
IPS	*Indoor Positioning System*
IR	*Infrared*
ISM	*Industrial, Scientific and Medical*
LBS	*Location-Based Service*
LoRa	*Long Range*
LPWAN	*Low Power Wide Area Network*
LTE	*Long Term Evolution*

LTE-M	*LTE-Machine*
LTE-NB1	*LTE Narrowband 1*
M2M	*Machine to Machine*
MAC	*Media Access Control*
NB-IoT	*Narrowband* IoT
NR	*New Radio*
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
RF	Radiofrequência
RFID	*Radio-frequency Identification*
ROI	Retorno sobre Investimento
RSSI	*Received Signal Strength Indication*
RTLS	*Real-time Locating System*
RToF	*Roundtrip Time of Flight*
SMS	*Short Message Service*
TDoA	*Time Difference of Arrival*
TI	Tecnologia da Informação
ToA	*Time of Arrival*
UIT	União Internacional das Telecomunicações
UMTS	*Universal Mobile Terrestrial System*
UNB	*Ultra Narrowband*
UWB	*Ultra Wideband*
VoLTE	*Voice over Long-Term Evolution*
Wi-Fi HaLow	*Wireless Fidelity for* IoT *Applications*
Wi-Fi	*Wireless Fidelity*
WLAN	*Wireless Local Area Network*
WMAN	*Wireless Metropolitan Area Network*
WPA3	Wi-Fi *Protected Access 3*
WPAN	*Wireless Personal Area Network*
WSN	*Wireless Sensor Network*
WWAN	*Wireless Wide Area Network*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 17

1.1 Motivações 18
1.2 Objetivo 20
1.3 Justificativas 20
1.4 Método de Pesquisa 21
1.5 Estrutura do Trabalho 22

2. REVISÃO DA LITERATURA 23

2.1 Internet das Coisas - IoT 23
2.1.1 Definição da Internet das Coisas 23
2.1.2 Princípios da Internet das Coisas 24
2.1.3 Desafios da IoT 26
2.2 Internet das Coisas na Saúde 27
2.3 A Tecnologia *Real-time Locating System* – RTLS 28
2.3.1 Funcionamento do RTLS 28
2.3.1.1 Modelo de Arquitetura de um Sistema LBS 29
2.3.1.2 Requisitos para uma Plataforma RTLS 30
2.3.2 Tecnologias de Comunicação mais Utilizadas em RTLS 32
2.3.2.1 O Wi-Fi 32
2.3.2.2 *Bluetooth Low Energy* (BLE) 32
2.3.2.3 *Ultra Wideband* (UWB) 33
2.3.2.4 RFID 33
2.4 A Tecnologia *Radio-Frequency Identification* – RFID 34
2.4.1 Origem da RFID 34
2.4.2 *Tags* RFID 35
2.4.3 Aplicações do RFID 37
2.5 Sistema de Posicionamento em Ambientes Fechados (*Indoor*) 38
2.5.1 Proximidade 40
2.5.2 Triangulação 41
2.5.2.1 Trilateração 41
2.5.2.2 Angulação 42

2.5.3 Fingerprinting 42
2.5.4 Análise de Cena 42
2.5.5 Técnicas de Medição em Ambientes Fechados 43
2.6 Redes de comunicação sem Fio para IoT 44
2.6.1 Redes WPAN e WLAN 45
2.6.1.1 ZigBee 45
2.6.1.2 Wi-Fi 47
2.6.1.3 Bluetooth 48
2.6.2 Redes WAN 49
2.6.2.1 LoRa 50
2.6.2.2 Sigfox 51
2.6.3 Redes de Telefonia Móvel 53
2.6.3.1 2G – GSM 54
2.6.3.2 4G – LTE 55
2.6.3.3 5G – NR 57
2.7 Considerações do Capítulo 60

3. A IOT EM UM HOSPITAL 61

3.1 O Conceito de Hospital Inteligente 61
3.2 Justificativas para um Hospital Inteligente 61
3.3 Características dos Hospitais Inteligentes 64
3.3.1 Sugestão de uma Estrutura Básica para um Hospital Inteligente 64
3.4 A Tecnologia RTLS em Hospitais Inteligentes 67
3.4.1 A Precisão da Tecnologia no Benefício de Todos 67
3.5 A Tecnologia RTLS e seus Resultados 70
3.5.1 O Auxílio do RTLS na Higienização 70
3.5.2 RTLS no auxílio de Pessoas com Dificuldades na Comunicação 71
3.5.3 Quedas de Pacientes Monitoradas por Dispositivos 72
3.5.4 RTLS no Auxílio do Tratamento da Covid-19 em Hospitais 73
3.6 RTLS e a Redução de Custos 75
3.7 A IoT e as Novas Experiências 76
3.8 Considerações do Capítulo 78

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 79

4.1 Conclusões 79
4.2 Contribuições do Trabalho 80
4.3 Trabalhos Futuros 80

REFERÊNCIAS 82

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas é notório observar a evolução tecnológica que a humanidade está a passar e em um ritmo cada vez mais acelerado. Para muitos é difícil de imaginar uma sociedade na qual não utilizava o celular para ler e-mails, postar fotos em redes sociais, aplicativos monitorando algumas funções da saúde. Os *smartphones,* comuns atualmente, foram lançados no início de 2007, com a apresentação do iPhone Original (ISLAM; WANT, 2014; LI et al, 2010).

Do mesmo modo, as redes de telefonia precisaram acompanhar a evolução dos celulares. As primeiras surgiram na década de 1980, sendo analógicas. Já no início dos anos 1990 implementou-se a rede digital (2G), com possiblidade de tráfego de dados. O 3G teve o seu início em 2005, e o 4G, em 2010 (JALOUN; GUENNOUN, 2010). A tecnologia 5G é a mais atual, sendo implantada recentemente em alguns países.

Embora a telecomunicação tenha evoluído rapidamente, outras áreas também a acompanharam. Isso se deve ao fato de que a mudança tecnológica possa ser um motor poderoso que faz alimentar o crescimento e desenvolvimento de novos produtos possibilitado pelos grandes investimentos em pesquisas (SOOD; TELLIS, 2005).

A área da saúde também aproveita esse cenário crescente e com grandes evoluções. Pode-se encontrar isso nos equipamentos de eletrocardiograma que passam por contínuos aperfeiçoamentos desde sua invenção em 1950. O equipamento passou de um canal de gravação para doze, e agora com possibilidades de armazenamento em mídias digitais (KENNEDY, 2013).

Além disso, não só equipamentos específicos para uso de hospitais e clínicas foram aprimorados, hoje a maioria da população tem um *smartphone* com diversos sensores. Nas lojas de aplicativos do Google e Apple existem mais de um milhão de programas relacionados a saúde, e alguns deles utilizam os sensores desses aparelhos para gerar dados sobre a saúde do seu usuário (BAXTER; CARROLL; KEOGH; VANDELANOTTE, 2020). Essas novas ferramentas podem garantir um melhor controle e um diagnóstico mais rápido de doenças e estado de saúde.

Dessa forma, a tecnologia pode contribuir com os desafios na área da saúde e no envelhecimento da população, podendo reduzir as pressões orçamentárias relacionadas com os gastos com a saúde. Isso influencia o estudo de formas

inovadoras para prestação dos serviços, a fim de mitigar os pontos sensíveis da instituição (BURMAOGLU; SARITAS; KIDAK; BERBER, 2017).

Nesse contexto o relatório do BNDES (2017c) apresenta que a tecnologia provida pela a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) poderá beneficiar a população com melhorias na qualidade de vida, eficiência das unidades de saúde e equilíbrio em seus gastos.

1.1 Motivações

A tecnologia está cada vez mais suprindo as necessidades dos centros hospitalares, empregando sempre inovações. Uma delas é devido à IoT, possibilitando coletar, analisar, tomar decisões e informar os responsáveis para devidas ações.

A IoT se apresenta em um cenário emergente de importância técnica, social e econômica. Diversos produtos e objetos coletam dados e os transmitem para serem analisados por poderosos recursos (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015). Tais análises prometem fornecer novas experiências modificando a maneira como se vive.

Esse é um dos motivos que setores da indústria encaram a IoT com otimismo e que nas próximas décadas poderá ter um importante papel na economia (MAGRINI, 2018, p. 75).

Espera-se alcançar até 2025 um impacto na economia de US$ 11 trilhões com uma projeção de 100 bilhões de dispositivos conectados à rede (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015). A consultoria Accenture realizou uma pesquisa que estima “que a participação da economia digital no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil saltará dos atuais 21,3% para 24,3% em 2020 e valerá US$ 446 bilhões (R$ 1,83 trilhão)” (BBC BRASIL, 2016).

O governo brasileiro, apoiando esse mercado, anunciou no Fórum Econômico Mundial para a América Latina em 2018 a liberação de linhas de crédito de mais de R$ 10 bilhões a fim de incentivar a utilização de IoT no Brasil, sendo uma forma de auxiliar na implantação, capacitação, prestação de serviços públicos e privados entre outros (APÓLICE, 2018).

Um relatório do BNDES (2017c, p. 4) diz que a IoT poderá trazer ganhos na saúde entre US$ 5 e US$ 39 bilhões até 2025, e a estimativa para o mundo está entre US$ 0,2 e US$ 1,6 trilhão para igual período. Pressupostos como esse motivam mais

o setor do ponto de vista econômico, mas também se tem os ganhos associados aos pacientes e profissionais da área da saúde.

Um estudo relacionado aos erros de medicação em um hospital de Rio Branco, AC, revelou que de 1.129 doses observadas, em 404 (35,9%) ocorreram erros. Os erros encontrados foram de: horário, omissão, dose, medicamento não autorizado, via e paciente (OPITZ, 2006). Na Tabela 1 é possível observar essa distribuição.

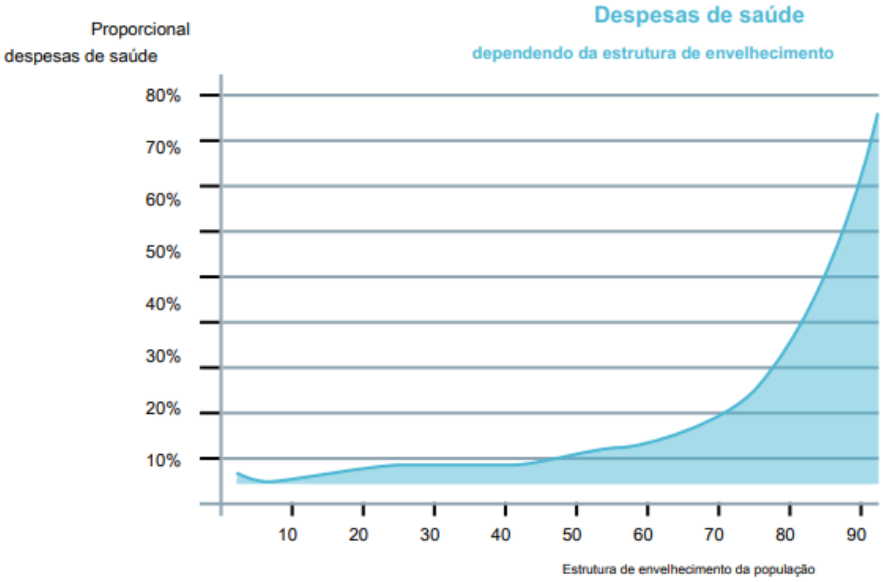
Tabela 1 – Distribuição dos erros dos medicamentos

Tipos de erros de medicação	**Doses de medicamentos observados**	
	Total de erros	**Proporção (%)**
Horário	215	19
Omissão	106	9,4
Dose	64	5,7
Medicamento não autorizado	15	1,4
Via	2	0,2
Paciente	2	0,2
Total	404	35,9

Fonte: extraído de Opitz (2006) e adaptado pelo autor

Um outro ponto a ser considerado é o aumento da expectativa de vida das pessoas, que traz como consequência o envelhecimento da população. Esse fato contribui para o aumento de gastos nos hospitais, fato de suma importância. Esses dados são mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Envelhecimento da população x despesas de saúde



Fonte: extraído de Siemens (2020)

Como efeito dessa gama de benefícios diretos e indiretos relacionados ao avanço da tecnologia, qualificação de profissionais e aumento no PIB, o Brasil por meio de políticas públicas, passou a incentivar a implantação da IoT no país, com a liberação de linhas de crédito. O BNDES (2020) fez um estudo detalhado sobre a IoT e uma proposta de plano de ação estratégico para o Brasil em IoT, destacando a importância desse tema.

A IoT vem possibilitar a implantação de sistemas inteligentes que trazem o conceito de hospital inteligente (*smart hospital*), e que possibilitam ganhos de diversas naturezas.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar e discutir os benefícios proporcionados nos hospitais inteligentes por meio de dispositivos desenvolvidos segundo o paradigma da IoT. Busca-se identificar a sua real importância na área de saúde e os ganhos potenciais que trará. O trabalho tem como foco a tecnologia *Real-time Locating System* (RTLS), empregada em hospitais inteligentes, procurando destacar o seu funcionamento, e os ganhos obtidos para pacientes, funcionários e hospitais.

1.3 Justificativas

Diante do cenário atual em que a saúde mundial se encontra, torna-se necessário novas ações para incentivar novos investimentos na saúde a fim de agilizar a implementação de novas tecnologias. É importante utilizar os avanços de todas as áreas e concentrar esforços em estudos a fim de obter melhores resultados.

Alguns autores comentam que a IoT é uma tecnologia nova, mas algumas técnicas nas quais ela se baseia já possuem décadas de maturidade. Porém, isso não implica que ela esteja em um processo lento de desenvolvimento. Muitas empresas e, principalmente, o meio acadêmico, apresentam diversos assuntos sobre o tema. O artigo "*The internet of things: a survey*" (LI; XU; SHAO, 2015) traz um estudo da IoT no contexto das definições, arquitetura, tecnologias fundamentais e aplicações da IoT. Já Ray (2018) traz em sua pesquisa as arquiteturas da IoT "*A survey on Internet of Things architectures*". Um estudo que traz uma base interessante é o "*Internet of Things (*IoT*): A Literature Review*" (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015) com uma revisão sistemática sobre o assunto.

Artigos que tratam temas mais atuais também foram publicados, sendo possível citar o "*5G Internet of Things: A survey*" (LI; XU; ZHAO, 2018) e o "*Blockchain for Internet of Things: A Survey*" (DAI; ZHENG; ZHANG, 2019). Dessa forma é possível constatar que a IoT tem muito a ser estudada e trará grandes resultados para as nações, além de contar com um grande interesse do meio acadêmico.

A IoT está presente em várias verticais e a saúde é uma delas. No que se diz respeito a saúde, o hospital talvez seja o ambiente mais complexo da cadeia, no qual diversos cenários são vivenciados no mesmo edifício.

Para tal, o advento da IoT traz o conceito de Hospital Inteligente, tema que tem uma abordagem relevante junto ao meio acadêmico. No caso de Dhariwal; Mehta (2017), traz um estudo no qual é possível obter uma melhor compreensão da arquitetura de um hospital inteligente e que o tema é "*Architecture and Plan of Smart hospital based on Internet of Things (*IOT*)*". Assim também Thangaraj; Ponmalar; Anuradha, (2015) escreveram o artigo "*Internet Of Things (*IOT*) enabled smart autonomous hospital management system - A real world health care use case with the technology drivers*" trazendo informações relevantes para a sociedade. Em um outro artigo, Ilin; Iliyaschenko; Konradi, (2018) trouxeram um modelo de negócio como uma base no conceito de Hospital Inteligente, cujo título é "*Business model for Smart Hospital health organization*".

Por outro lado, não há na literatura muitos estudos específicos referentes a utilização do RTLS aplicado em hospitais. O fato pode ter uma relação de ser uma tecnologia mais nova e seu mercado para esse fim ter pouco tempo. Outro ponto a considerar é que pode utilizar o RFID para uma localização, porém essa não é em tempo real.

Dessa forma o trabalho poderá contribuir como uma referência para trabalhos e/ou projetos futuros. Visto que como ilustrado no subitem 1.1, os incentivos estão sendo liberados pelos governos, centros hospitalares tem crescente necessidades em reduzir seus custos com um aumento nos atendimentos. Fatos esses que mostram o futuro promissor da IoT e o RTLS na saúde.

1.4 Método de Pesquisa

A metodologia adotada para o desenvolvimento do presente trabalho foi a elaboração de uma resenha sobre hospitais inteligentes, que possibilitou a avaliação

de conceitos e alguns casos reais, visando identificar potenciais, benefícios e tendências de aplicação da Internet das Coisas nesse setor.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica exploratória sobre o tema e, dessa forma, obtida uma melhor compreensão da problemática relacionada às novas tecnologias para hospitais inteligentes, de forma a propiciar na construção de hipóteses ou tornar o assunto mais explícito (GIL, 2002).

Foram consultados livros, artigos acadêmicos e técnicos, bibliografia especializada da área da saúde, *websites* e *blogs* de empresas e de profissionais do ramo disponibilizados na Internet. Foram, também, identificados e discutidas a adoção das tecnologias citadas, procurando identificar benefícios e tendências.

1.5 Estrutura do Trabalho

O Capítulo ‘1 INTRODUÇÃO’ apresenta as motivações, o objetivo, as justificativas, método de pesquisa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 REVISÃO DA LITERATURA apresenta o conceito de IoT, da tecnologia RFID (funcionamento e empregabilidade), e discorre sobre os meios de comunicação que podem ser empregados em IoT, finalizando com sistemas de localização em ambientes fechados.

O Capítulo 3 HOSPITAL INTELIGENTE E O RTLS apresenta o conceito de hospital inteligente, com suas estruturas e funcionamento, e traz o conceito da localização em tempo real aliada a IoT.

O Capítulo 4 DISCUSSÕES destaca os benefícios que as tecnologias apresentadas podem trazer à sociedade, em particular para pacientes.

O Capítulo 5 ‘CONSIDERAÇÕES FINAIS’ descreve as conclusões alcançadas com o estudo e sugestões para trabalhos futuros.

O tópico ‘REFERÊNCIAS’ relaciona os documentos utilizados, como artigos científicos, livros, relatórios, sites, dentre outros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os estudos realizados para o tema deste trabalho, iniciando-se com a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), incluindo definições, princípios e desafios. Na sequência será tratada a IoT na Saúde, sendo dado destaque na tecnologia RTLS (*Real-time Locating System*).

Também será apresentada outras tecnologias que podem ser a base do RLTS, como a identificação por radiofrequência, (ou *Radio-frequency Identification* - RFID) e a localização dentro de ambientes fechados (*indoor*), que possui um bom potencial de utilização em hospitais inteligentes.

Por fim serão destacados alguns dos meios de comunicação que podem ser empregados em projetos de IoT.

2.1 Internet das Coisas - IoT

O termo Internet das Coisas vem do inglês Internet of *Things* – IoT, e neste trabalho será utilizada a sigla IoT, muito popular e utilizada na literatura.

2.1.1 Definição da Internet das Coisas

O termo IoT foi definida pela União Internacional das Telecomunicações (UIT) como uma infraestrutura global que possibilita a interconexão entre coisas, físicas e virtuais, além de torná-las inteligentes com o poder de processar seus dados (BNDES, 2018, p. 10). A cada dia tem-se novos dispositivos lançados conectados à rede trocando informações.

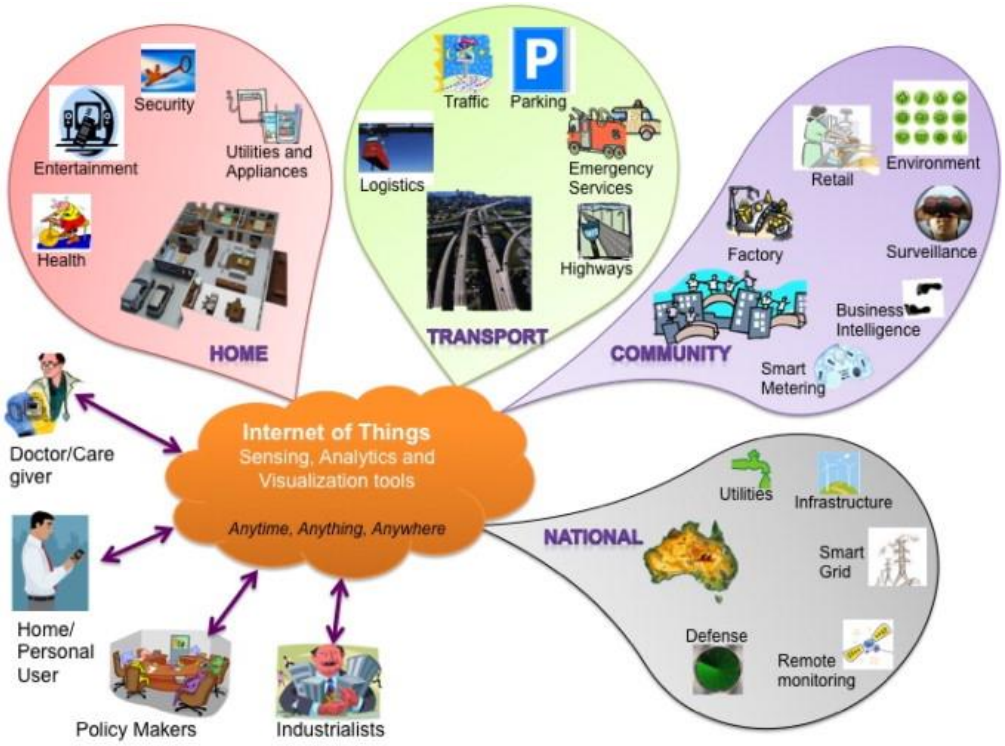
A IoT considera que os objetos têm de se comunicar e construir uma rede de “coisas” (ALVES, 2010). Essa rede pode ser mais bem compreendida na Figura 2, na qual são apresentados diversos dispositivos interligados e que podem trocar informações. Ela evidencia que a IoT tem como princípio interligar os dispositivos para troca de informações. Essa rede criada abre um leque de novas possibilidades, trazendo junto o incremento da inteligência. Logo ter-se-á novas maneiras de interação com o mundo.

As informações necessitam ser coletadas para depois trabalhadas, e segundo relatório do BNDES (2018, p. 88) tem-se que “sensores são a base de IoT e é através da capacidade em medir variáveis físicas que esses sistemas possibilitam agregar

valor às mais diversas aplicações”. De tal forma que esse sistema necessita normas para funcionar.

Na Figura 2 pode-se observar algumas áreas em que a IoT pode ser aplicada.

Figura 2 – Algumas áreas de aplicação da IoT



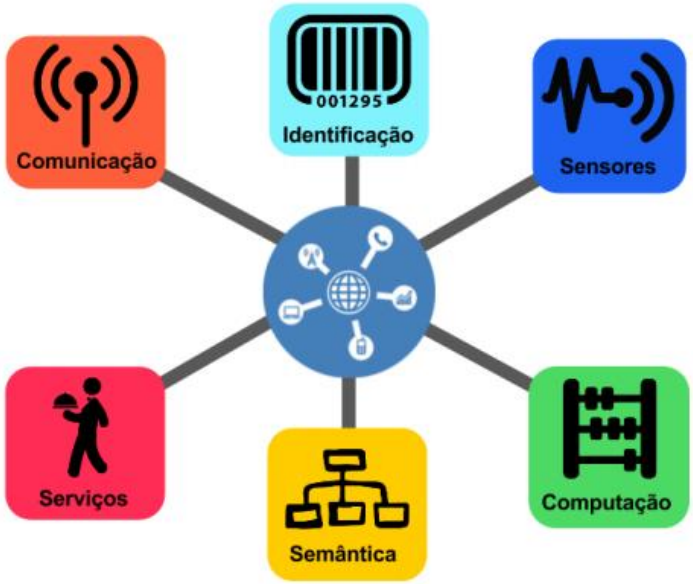
Fonte: extraído de GUBBI et al. (2013)

2.1.2 Princípios da Internet das Coisas

Segundo Miorandi et al. (2012) IoT está baseada em três pilares em relação às “coisas”: serem identificáveis, comunicáveis e de interagirem. Isso está relacionado à capacidade dos objetos inteligentes. Dessa forma há a necessidade de padronizações para que esse desejo se concretize.

Já Santos et al. (2016) afirmam que a IoT é uma combinação de tecnologias complementares, que interagem os objetos do mundo físico com o virtual. Essa definição é destacada na Figura 3.

Figura 3 – Blocos básicos da IoT



Fonte: extraído de Santos et al. (2016)

Dessa forma nota-se que há um consenso de que a necessidade da padronização existe e que a tecnologia deve ser criada e fundada em uma base sólida. Como efeito positivo ter-se-á uma tecnologia promissora por muitos anos.

Além disso um fator a destacar é a integração de variadas tecnologias e soluções de comunicação. Sensores, atuadores, protocolos, identificação, rastreamento, redes com ou sem fio, inteligência distribuída nos dispositivos são alguns pontos relevantes (ATZORI et al., 2010). Isso evidencia que a IoT será uma rede heterogênea. Apesar da grande diversidade e complexidade da rede das “coisas”, os protocolos e as redes de comunicações farão o trabalho de todos conversarem. Mesmo que existam novas coisas incorporadas, elas necessitam que a comunicação se processe, conforme os autores destacam. Sem essa interação a força será reduzida.

A IoT trará um alto impacto no comportamento e na vida cotidiana dos usuários. Similarmente os usuários empresariais terão benefícios em diversas áreas, como automação, logística etc. (ATZORI et al., 2010). Isso indica para novas maneiras de se viver o dia a dia.

Toda essa integração de dispositivos na rede gera um grande volume de dados. Essa experiência de dispositivos com dados une o conceito de IoT ao do *Big Data*. (MAGRANI, 2018, p. 22). Isso evidencia que novas oportunidades tendem a ser exploradas.

Novas oportunidades encontrarão grande aplicação em diversos setores, como saúde, segurança, diversos monitoramentos, suporte doméstico (MIORANDI et al., 2012).

2.1.3 Desafios da IoT

A implantação da IoT contempla diversos desafios técnicos, tais como a heterogeneidade dos dispositivos, a vasta gama de protocolos implementados por cada fabricante, entre outros. Todo o sistema deve ser criado em bases sólidas, seguidas por todos e com rígidos controles.

Além disso, tem-se os órgãos regulamentadores, empresas e países discutindo padrões para romper desafios. Tem-se ainda que os protocolos de comunicação, identificação e endereçabilidade de objetos, segurança e privacidade necessitam de padronização e esses são os principais desafios a serem trabalhados (ATZORI et al., 2010).

O BNDES (2017a, p. 38) expõe outros pontos de importância segundo uma visão global:

> "Um dos maiores desafios enfrentados por IoT é a interoperabilidade, ou seja, permitir que dispositivos se comuniquem entre si, independentemente do modelo, fabricante ou indústria. Existe uma preocupação de que, se deixados livres ao mercado, os padrões desenvolvidos por gigantes da tecnologia possam resultar em monopólios, gerando a exclusão (ou inclusão a preços onerosos) de tecnologias no ecossistema global de IoT."

O Brasil apresenta alguns desafios nem sempre encontrados em outros países, sendo que o BNDES (2017a, p. 24) cita "[...] grande extensão territorial, disparidades de renda, diversidades culturais, menor eficiência do governo e uma estrutura regulatória em estágio inicial [...]". Com isso é necessária uma atenção maior para essas questões.

O GS1 (2020), entidade internacional sem fins lucrativos, traz um resumo da IoT:

> "A IoT é transformadora para sistemas, dispositivos, tecnologias e aplicativos, em toda a indústria e em todo o mundo e impulsionada por:
>
> - uma expectativa de empresas e consumidores de que todas as coisas estarão "conectadas";
> - aumentar as capacidades e reduzir o custo de microcontroladores e tecnologias de comunicação;
> - a explosão de plataformas de coleta, processamento e compartilhamento de dados baseados em nuvem."

Em suma, a IoT é uma tecnologia nova e que trará novas maneiras para viver o dia a dia. Novas oportunidades, facilidades, comodidades serão alcançadas em diversas áreas. Espera-se uma qualidade de vida superior graças a esses benefícios.

2.2 Internet das Coisas na Saúde

A saúde é uma área que também necessita de inovações tecnológicas. A IoT traz uma oportunidade de inovações e com resultados para pacientes e hospitais. Com sensores, sistemas e aplicativos conectados à rede é possível ajudar pacientes e médicos a monitorar, rastrear e registrar dados vitais e informações médicas de seus pacientes (GUPTA; AGRAWAL; CHHABRA; DHIR, 2016).

A IoT pode desempenhar um papel importante na melhoria da saúde e do bem-estar, com acréscimo na disponibilidade e a qualidade do atendimento. Outro ponto a se considerar é a redução nos custos de tratamento e viagens frequentes. (SATIJA; RAMKUMAR; MANIKANDAN, 2017). Tais vantagens podem ser alcançadas devido ao monitoramento constante e remoto dos pacientes.

Do mesmo modo, as doenças crônicas (cardiovasculares, diabetes, Alzheimer) estão em um crescente aumento e a taxa de mortes devido as essas doenças poderá chegar a 66% em 2030. (MDHAFFAR; CHAARI; LARBI; JMAIEL; FREISLEBEN, 2017). Em virtude disso os dispositivos IoT podem monitorar o paciente 24 horas por dia e sete dias por semana, seus dados podem ser acessados pela Internet, e assim as condições de saúde podem ser monitoradas ininterruptamente. Com isso é possível que alterações sejam detectadas no exato momento e as ações adequadas possam ser tomadas (DHAR; BHUNIA; MUKHERJEE, 2014).

Além disso, os dispositivos inteligentes podem reduzir os gastos com operações em hospitais e a intensidade de trabalho das equipes médicas, auxiliando em atividades com menor retrabalho e maior eficiência (ZHANG; LI; WEN; XUN; LIU, 2018). Com isso, espera-se que a IoT seja uma oportunidade para os administradores das instituições, a fim de garantir melhores resultados.

Nesse sentido, a IoT poderá contribuir de forma significativa na saúde, em melhorias de processos, descobertas de novas formas de diagnóstico e tratamento. Ainda mais é possível que todas as partes interessadas do sistema possam ter acesso mais fácil aos serviços públicos de saúde e suas informações (USLU; OKAY; DURSUN, 2020).

2.3 A Tecnologia *Real-time Locating System* – RTLS

A necessidade em localizar pessoas, objetos, medicamentos, equipamentos é grande, e, em algumas vezes, demanda tempo que, somado por todos os funcionários em um mês, resultará em um número razoável de horas que poderiam ser utilizadas para fins mais produtivos. Dessa forma, uma localização precisa, rápida e acessível garante melhores práticas no trabalho. Para mitigar esses pontos diversas tecnologias foram desenvolvidas e os Sistemas de Localização em Tempo Real (*Real Time Location System* - RTLS) será tratada neste trabalho como uma possibilidade.

A tecnologia RTLS foi introduzida no mercado no início dos anos 2000 e sua implantação continua a crescer até os dias atuais. Um dos motivadores desse crescimento é o setor da saúde, que lidera a implementação desse sistema. Esse sucesso só foi alcançado devido aos ganhos conquistados com o rastreamento de ativos, equipes e fluxo de pacientes, além de otimizar processos para eliminar gargalos operacionais (WANG et al. 2013).

Essa técnica visa implementar facilidades no dia a dia de trabalho com um ambiente mais eficiente, dessa forma Stanley Healthcare (2016) traz alguns pontos:

- rastrear equipamentos e ter controle de utilização manutenção preventiva eficiente;
- encontrar em tempo real ativos e profissionais para reduzir perdas e melhorar a utilização;
- automatizar o monitoramento e a documentação das condições ambientais para medicamentos, vacinas e alimentos, economizando tempo dos profissionais que faziam o registro manual;
- oferecer proteção hospitalar para bebês, tendo um total controle de sua localização;
- localizar rapidamente leitos especiais desocupados, necessários para seus pacientes.

2.3.1 Funcionamento do RTLS

A tecnologia RTLS foi desenvolvida para determinar o posicionamento interno automático de uma pessoa ou ativo. Sua função é semelhante ao GPS, porém esse necessita do sinal dos satélites específicos para funcionar. Como o sinal de GPS não

ultrapassa as edificações é necessário utilizar outras técnicas, sendo uma delas o RTLS (MICLO et al., 2015).

O sistema RTLS é embasado em Serviço Baseado em Localização (*Location-Based Service* - LBS) eles podem prover gerenciamento de rotas, orientação, pontos de interesse, realidade aumentada, saúde entre outros. Esses serviços dependem de um sistema de posicionamento, normalmente baseado no GPS em ambientes externos. Para ambientes internos faz-se necessário implementar Rede de Sensor Sem Fio (*Wireless Sensor Networks* - WSN) através de UWB, Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, RFID e criar o Sistemas de Posicionamento Interno (*Indoor Positioning System* - IPS) (RODAS; BARRAL; ESCUDERO, 2013).

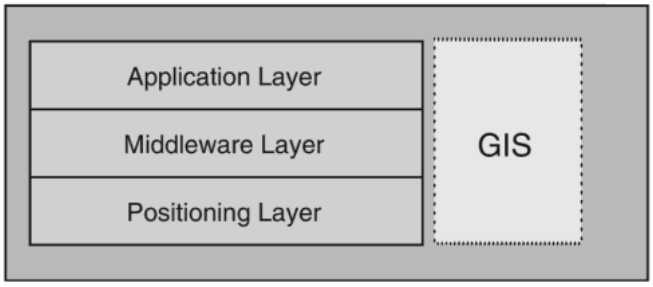
O sistema RTLS se baseia em sensores de localização que recebem os sinais das *tags* de pessoas e equipamentos. Cada *tag* possui um ID próprio que é transmitido pelo sinal de forma periódica e assim o sistema localiza a *tag* dentro do edifício. O funcionamento é o mesmo para pessoas ou ativos (BOULOS; BERRY, 2012).

Segundo Miclo et al., (2015), complementa que existem dois hardwares principais para essa tecnologia, sendo as *tags* e ao menos três receptores (também chamados de balizas ou leitores) que são instaladas em paredes e tetos. O RTLS apresenta algumas características distintas do RFID, como as etiquetas sempre ativas que transmitem continuamente seus dados aos receptores, e recebem os sinais de radiofrequência por meio de diversas tecnologias, como RFID, UWB, *Bluetooth*, ZigBee, Wi-Fi. As características de cada uma serão comentadas posteriormente.

2.3.1.1 Modelo de Arquitetura de um Sistema LBS

Para Schiller; Voisader (2004), um LBS de maneira geral prove um modelo com três camadas, conforme é observado na Figura 4:

Figura 4 - Modelo geral de comunicação LBS



Fonte: extraído de Schiller; Voisader (2004)

Sendo assim, Schiller; Voisader (2004) e Miclo et al. (2015) discorrem com as informações de cada camada:

- *Application Layer*: podem variar desde interfaces de usuário final simples, além de fornecer via APIs informações de localização para uma variedade outros *softwares* que utilizam tais dados para execução de suas tarefas e operações. Essas informações são extraídas com base dos dados do *middleware*;
- *Middleware Layer*: fornece as interfaces para a camada de aplicativo, também é um conversor entre as aplicações (*tags*, sensores de localização e *software* de mecanismo de localização) a vários aplicativos de *softwares* capazes de exibir e explorar a localização em tempo real e informações de status de entidades rastreadas, ou seja, conectar aplicações, dados e usuários. Além disso oculta detalhes técnicos da camada de posicionamento;
- *Positioning Layer*: recebe as informações dos sensores de localização, reúne dados brutos (ID de cada *tag,* sensores, força do sinal de rádio, hora de chegada, ângulo de chegada) para calcula os dados de localização usando algoritmos de localização, como proximidade, alcance, triangulação ou mapas de força do sinal e encaminha para o *middleware;*
- *Geographic Information System* (GIS): auxilia o *positioning layer* a calcular a posição da *tag*. O GIS fornece dados geoespaciais e opera junto com o equipamento de determinação de posição (*Position Determination Equipment* - PDE). O PDE calcula onde um dispositivo está em termos de rede e o GIS traduz essa informação em latitude e longitude. O resultado é transmitido pelo *middleware* ou um *gateway* de localização diretamente para um aplicativo.

As plataformas RTLS, apresentadas neste trabalho, cobrem as camadas de posicionamento e *middleware* de um LBS.

2.3.1.2 Requisitos para uma Plataforma RTLS

Uma plataforma pode funcionar com uma tecnologia específica ou com várias. Quando uma plataforma pode operar com diversas tecnologias torna-se possível a

utilização fabricante distintas. Para a plataforma que interage com diversos dispositivos, Rodas; Barral; Escudero (2013) propõem uma arquitetura com as seguintes condições:

- Funcionar com várias tecnologias: deve suportar dados genéricos de quaisquer sensores (acelerômetro, giroscópio, bússola digital, detector de movimento, quadros de imagem de uma câmera digital etc.) e quaisquer tipos de medições (RSSI, ToA, TDoA, AoA etc.);
- Multitecnologia: uma *tag* pode ser composta por diversas tecnologias e a plataforma deve suportar esses dados heterogêneos a fim de fornecer posições mais confiáveis e precisas;
- Sistema de coordenadas múltiplas e suporte a aplicativos com reconhecimento de mapa: suportar os aplicativos com reconhecimento de mapas internos, faz-se necessário que a arquitetura trabalhe com elementos e posições de coordenadas relativas a diferentes mapas, pois podem possuir sistemas diferentes coordenadas locais. Também deve suportar um sistema de coordenada global, como o GPS e possibilitar a união dos dois sistemas de forma transparente;
- Fusão de dados: deve fornecer mecanismos que possibilitam fusão de dados provenientes de diferentes medidas (tecnologias) ou também posições obtidas de diferentes algoritmos.
- Proteção e Segurança: os usuários externos devem ser suportados ao menos por um tipo de autenticação segura além de prover um meio de criptografia para os dados trocados com o sistema;
- API: é necessário que os métodos de acesso sejam descritos em uma API, com isso os aplicativos de clientes tenham permissão para fazer interface com o RTLS;
- Dados *off-line*: a plataforma deve trabalhar com medições *on-line* de tempo real e manter um histórico dos dados das últimas medições para o trabalho *off-line*.
- Fácil de usar: usuários com poucas habilidades devem ser capazes de realizar algumas tarefas mais básicas de pequenos ajustes e visualizar informações.

2.3.2 Tecnologias de Comunicação mais Utilizadas em RTLS

Em um sistema de RTLS é necessário que seja utilizada uma plataforma de tecnologia que pode ser o Wi-Fi, RFID, *Bluetooth Low Energy* (BLE), ZigBee, *Ultra Wideband* (UWB), infravermelho, e ultrassom, entre outros. Dependendo de cada cenário e do retorno da medição, será considerada uma tecnologia ou um conjunto delas. Este trabalho irá tratar das mais comuns, e seus detalhes técnicos foram abordados no capítulo anterior. Neste capítulo serão abordados os detalhes mais específicos para o RTLS (HID GLOBAL, 2020; SEWIO, 2020a).

2.3.2.1 O Wi-Fi

A localização através da rede Wi-Fi pode ser mais fácil de implantar, pois na maioria dos hospitais já existe uma rede desse tipo implantada.

Segundo a Infosoft (2020a), a maioria dos pontos Wi-Fi transmite dados específicos e através do RSSI e MAC de cada um o aplicativo calcula a localização do usuário. Mas para isso o aplicativo necessita de um banco de dados com as informações de cada ponto.

O Wi-Fi pode apresentar alcance de até 150 m, porém não apresenta grande precisão. Ela gira entre 5 a 15 m e consome uma grande quantidade de energia das *tags* e *smartphones* (INFOSOFT, 2019).

2.3.2.2 *Bluetooth Low Energy* (BLE)

A tecnologia é promissora para o RTLS, pois já foi desenvolvida para a IoT. Dessa forma percebe-se uma preocupação em relação ao consumo de bateria. Nela, existem os chamados *beacons*, dispositivos que podem ser encontrados em crachás, chaveiros, pulseiras, botões ou até mesmo um pequeno dispositivo que se fixa na parede ou teto, e nesse último caso, esse dispositivo envia informações para os *smartphones* ou outro dispositivo móvel para que a sua posição possa ser estimada.

Os dispositivos *beacons* podem fornecer uma variedade de informações de outra natureza, como movimento, temperatura, luz, vibração e campo magnético. Essas informações são captadas pelos *gateways* e encaminhadas para um servidor. Dessa forma, além de trazer a localização, outras medições podem ser implementadas com o sistema instalado (INFOSOFT, 2019).

Assim seu *hardware* é de baixo custo e de baixo consumo de energia, além de poder utilizar a infraestrutura existente para a sua implantação. Sua precisão é de até 1 m e o seu alcance de até 70 m. (INFOSOFT, 2020b).

2.3.2.3 *Ultra Wideband* (UWB)

Trata-se de uma tecnologia de curto alcance, mas de alta precisão, sendo possível medir distancias inferiores a 30 cm. Além disso, ela consegue informar a diferença de altura da *tag* com precisão. Outro ponto importante é que sua atualização pode ocorrer em até 100 vezes por segundo. Outra vantagem em relação as demais é que a UWB quase não sofre interferências, pois utiliza uma largura de banda de pelo menos 500 MHz, enviando apenas um pulso. Essa característica permite que seu sinal seja distinguido até em ambientes com ruídos (INFOSOFT, 2019).

Seu consumo de bateria é mais elevado que o BLE, pois envolve uma atualização de dados a uma taxa bem superior à do BLE. Contudo, em determinados casos, o consumo energético pode não ser o ponto mais importante da aplicação.

2.3.2.4 RFID

Essa tecnologia, embora mais antiga, é bem aceita pela sua funcionalidade e versatilidade, e pode ser usada em quase todos os ambientes. Ela é adequada para como uma solução de rastreamento de ativos.

Com o RFID tem-se um baixo custo de implantação quando *tags* passivas, que não possuem baterias, são utilizadas. Os sistemas mais simples, como os utilizados em crachás, possuem alcance abaixo de 1 m, o que de certo modo determina a sua precisão. Sistemas utilizados na indústria e logística podem localizar *tags* passivas acima de 10 m, mas exigem *tags*, antenas e leitores de maior custo. Um comparativo das tecnologias é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo de tecnologias

Sistema	Tecnologia	Método	Precisão	Calculado em:		Tipo de localização		Escalabilidade	Custo
				Disp. móvel	Sist. próprio	geométrico	simbólico		
Wi-Fi	Proximidade, Trilateração, Angulação, Análise de cena	Cell-ID, ToA, TDoA, AoA, RSSI	10 a 100 m (prox.) 1 a 10 m (demais)	Sim RSSI	Sim ToA TDoA AoA Prox.	Sim	Não	Alta	Baixa
UWB	Trilateração Angulação	RSSI ToA TDoA AoA	1 cm a 1 m	Não	Sim	Sim	Não	Baixa	Alta
BLE	Prox. Análise de cena Trilateração	Cell-ID RSSI ToA	1 a 5 m	Sim ToA RSSI	Sim prox.	Sim	Sim prox.	Alta	Baixa
RFID	Prox. Trilateração Análise de cena	Cell-ID RSSI	1 a 5 m	Sim	Sim	Não	Sim	Média	Baixa

Fonte: Extraído e traduzido de Stojanović; Stojanović (2014)

Em suma, as tecnologias apresentadas são empregáveis e atendem os requisitos mínimos que foram propostos para a aplicação em questão. A tecnologia a ser empregada deverá ser analisada a fim de garantir a melhor experiência para o propósito que o hospital espera.

No decorrer deste capítulo cada tecnologia citada será detalhada.

2.4 A Tecnologia *Radio-Frequency Identification* – RFID

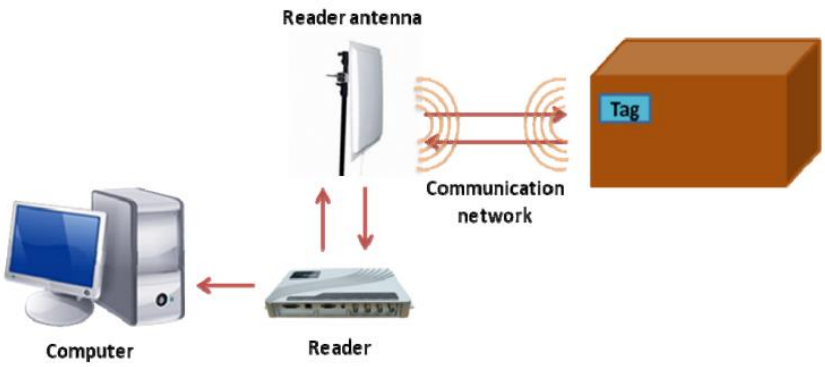
A tecnologia de Identificação por Radiofrequência, (ou *Radio-frequency Identification* - RFID), é utilizada já há algumas décadas, e pode contribuir na IoT como uma das formas de identificação precisa das “coisas”.

2.4.1 Origem da RFID

Miverna, Biru e Rotondi (2015) comentam que os a origem da RFID vem da Segunda Guerra Mundial para identificar se o avião captado por um radar é amigo ou inimigo. Embora os primeiros passos já tivessem sido dados nessa época, essa a tecnologia não avançou muito para utilização em grande escala por muitos anos. Somente no final dos anos de 1960, com o advento de novas pesquisas, e evolução de diversas tecnologias, o RFID pôde evoluir e ser utilizado de forma massiva e bem sucedida até hoje (LANDT, 2005).

De forma simplificada, um sistema RFID utiliza etiquetas (*tags*), antena, leitor (*reader*) e um sistema de captura de dados, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Sistema básico do RFID



Fonte: extraído de Faudzi et al. (2013)

2.4.2 *Tags* RFID

As *tags,* ou etiquetas RFID, são componentes importantes no sistema, pois enviam as suas informações para um sistema de computação decodificar. Elas são classificadas segundo a forma de alimentação elétrica (RODRIGUES et al., 2009). Os três tipos mais comuns de *tags* são:

- **Ativas:** as *tags* dessa categoria contêm uma fonte de energia interna (bateria) que pode durar alguns anos, e que permite o envio de seus dados a maiores distâncias. Também pode realizar monitoramento contínuo por possuir energia própria. Seu tamanho é maior se comparada com outros tipos de *tags* (RODRIGUES; CUGNASCA; FILHO, 2009; DUROC; KADDOUR, 2012);
- **Semi ativa ou semi passiva**: as etiquetas com essa tecnologia também possuem uma bateria pequena bateria interna para possibilitar a comunicação a distâncias um pouco maiores (RODRIGUES; CUGNASCA; FILHO, 2009);
- **Passiva**: não apresenta fonte de energia interna, obtém a energia do próprio sinal emitido pela leitora da etiqueta. Possui um alcance de leitura inferior quando comparado aos demais tipos, e é mais susceptível a interferências externas, além de apresentar tamanho reduzido. Permanecem desligadas quando estiverem fora do alcance do leitor (RODRIGUES; CUGNASCA; FILHO, 2009; DUROC; KADDOUR, 2012).

Outras características também podem ser utilizadas para classificar as *tags*, como tamanho do pacote pré-gravado de dados, possibilidade de receber novos

dados, faixa de frequência e protocolos (GS1, 2008). Todavia, essas características mais detalhadas fogem do escopo desse trabalho e não serão detalhadas. Na Figura 6 apresenta diferentes formas de *tags*.

Figura 6 – Exemplos de *Tags* RFID

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Com a finalidade de padronizar as frequências utilizadas no território nacional, a Anatel (2019) regulamentou algumas faixas que podem ser utilizadas para o RFID que são: 119 a 135 kHz, 13,11 a 13,36 MHz, 13,41 a 14,01 MHz, 433,5 a 434,5 MHz, 860 a 869 MHz, 894 a 898,5 MHz, 902 a 907,5 MHz, 915 a 928 MHz, 2.400 a 2.483,5 MHz e 5.725 a 5.850 MHz.

Cada faixa de frequência apresenta característica e aplicações típicas, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Frequências, características e aplicações típicas das *tags*

Banda de Frequência	Características	Aplicações Típicas
Banda Baixa: 100 a 500 kHz	- Alcance de leitura curta a média; - Baixo custo; - Baixa velocidade de leitura;	- Controle de acesso; - Identificação de animal; - Controle de inventário;
Banda Média (também denominada Alta): 10 a 15 MHz	- Alcance de leitura curta a média; - Potencialmente de baixo custo; - Média velocidade de leitura;	- Controle de acesso; - *Smart cards*;
Banda Alta (também denominada Ultra Alta): 850 a 950 MHz e 2,4 a 5,8 GHz	- Alcance de leitura longa; - Alta velocidade de leitura; - Alto custo; - Linha de visão requerida;	- Sistema de cobrança de pedágios; - Rastreamento de contêineres; - Rastreamento de veículos ferroviários;

Fonte: extraído e traduzido de Roberts (2006)

2.4.3 Aplicações do RFID

O RFID propicia muitas e variadas aplicações, e Roberts (2006) descreve algumas delas, juntamente com as suas particularidades:

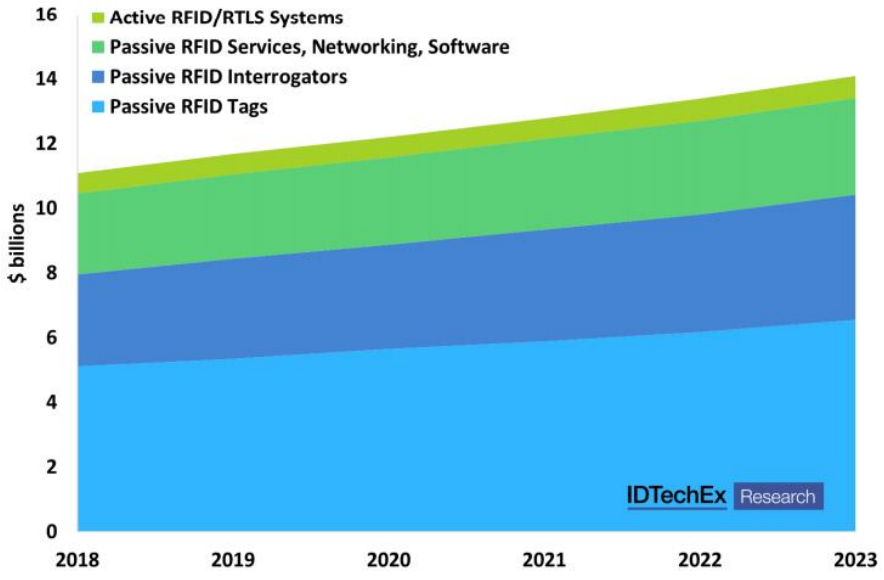
- leitura das *tags* sem linha de visão e sem contato físico;
- podem ser lidas em diversos tipos de ambientes;
- leitura de uma grande quantidade de *tags* simultaneamente;
- tempo de resposta inferior a 100 ms;
- etiquetas acopladas a sensores podem fornecer diversas informações adicionais que foram coletadas.

Além disso suas facilidades estimulam a implantação. Roberts (2006) informa que a autoidentificação amplia a variedade de aplicações, tornando-se um meio prático. É perceptível o crescimento das aplicações no mercado.

O uso de *tags* em diversas lojas de departamentos é cada vez mais comum, em particular para evitar furtos (barreiras de antenas nas saídas da loja podem soar alarme), e pode até passar despercebido quando o funcionário retira as etiquetas no caixa.

A quantidade de dispositivos RFID está aumentando a cada ano, e a IDTechEx (2019) estimou que em 2019 foram vendidas 20 bilhões de etiquetas, com um acréscimo de 2,5 bilhões comparados a 2018. Esse crescimento também reflete na estimativa de ganhos do mercado, apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Projeção do mercado RFID em bilhões de dólares



Fonte: extraído de IDTechEx (2019)

Um ponto positivo do RFID é a vasta possibilidade de tipos de utilização. Esse fator favorece sua implantação nos dias atuais e a torna uma tecnologia interessante a ser usada e sem a necessidade de se desenvolver outras técnicas mais modernas para substitui-la. Na Figura 8 é possível observar alguns exemplos de aplicações.

Figura 8 – Alguns exemplos de utilização do RFID

Fonte: extraído de Oliveira (2017)

2.5 Sistema de Posicionamento em Ambientes Fechados (*Indoor*)

O *Global Positioning System* (GPS) é uma tecnologia muito empregada na localização em ambientes externos.

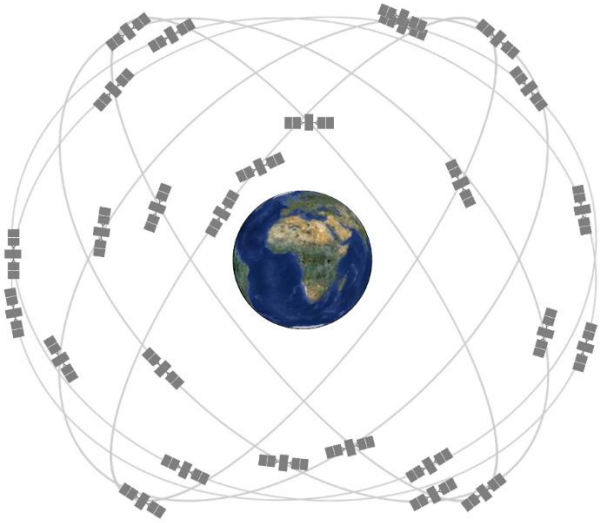
Ela é utilizada em vários aparelhos, como os que guiam o usuário pelas ruas e estradas, substituindo os mapas em papel; porém esses dispositivos estão caindo em desuso, pois as suas funcionalidades foram em *smartphones*

Por outro lado, em ambientes fechados, o sinal do GPS é obstruído e impossibilita seu funcionamento. Para isso, novas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas e serão apresentadas a seguir.

O GPS é um sistema de rádio navegação por satélite, desenvolvido e operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA), que permite aos usuários determinar sua localização na terra, mar ou ar, além da velocidade e o tempo (GENERAL, 2020). Seu funcionamento se baseia em 24 satélites que orbitam a Terra e eles transmitem sinais de rádio com informações da sua posição orbital, associado à um referencial geodésico, e o tempo marcado pelos seus relógios atômicos interno. Esses satélites estão em seis órbitas circulares a 20.200 km de altura e em um ângulo de inclinação de 55 graus. Com essa configuração é possível que, no mínimo, 6 satélites sejam visíveis em qualquer ponto do planeta (GENERAL, 2020; ZANOTTA; CAPPELLETTO; MATSUOKA, 2011).

A localização é feita com um receptor localizado na Terra que mede sua distância do grupo de satélites no espaço. Cada satélite informa sua posição precisa juntamente com um sinal de tempo. Já o receptor mede o atraso do tempo e esta é a medida direta do alcance do satélite. Com as informações simultâneas de quatro satélites, obtêm-se os dados calculados das três dimensões: posição, velocidade e tempo (GENERAL, 2020). Na Figura 10 tem-se a distribuição dos satélites do GPS em torno da Terra.

Figura 9 – Constelação de satélites para os 24 *slots*



Fonte: extraído de GPS.GOV (2020)

Em ambientes fechados um outro sistema deverá estar disponível para que um dado dispositivo móvel determine a sua posição, o IPS. Esse serviço permite a navegação, rastreamento e monitoramento. Algumas tecnologias para criar um IPS são: infravermelho (–*Infrared* - IR), ultrassom, RFID, Rede Local sem Fio (*WLAN*), *Bluetooth*, redes de sensores, banda ultra larga (UWB), sinais magnéticos, análise de visão e som audível.

A seguir são apresentadas quatro das principais técnicas de cálculo e estimativa de localização, que são: proximidade, triangulação, *fingerprinting* e análise de cena. Também serão apresentadas as técnicas de medição em ambientes fechados.

2.5.1 Proximidade

Esta técnica de identificação por meio de sinais de radiofrequência não fornece uma localização precisa, porque depende da quantidade de antenas instaladas, e cada uma tem que estar localizada em uma posição bem específica. Se o dispositivo for detectado por uma única antena, por exemplo, não será possível estimar sua localização. Os sistemas que mais utilizam essa técnica são os baseados em infravermelho e em RFID (LIU et al., 2007).

A técnica de proximidade é obtida a partir de três métodos (BARROSO, 2018):

- **Método de contato físico:** o toque físico do dispositivo com a referência identifica a localização;
- **Método de monitorização:** o dispositivo localiza os pontos de referência e utiliza o maior valor de *Received Signal Strength Indication* (RSSI) para determinar o ponto da localização;
- **Método de observação:** utiliza as ações do usuário para estimar sua localização (um exemplo seria passar pelas catracas em uma empresa).

Na Figura 11 apresenta a representação da técnica de proximidade.

Figura 10 – Técnica de proximidade

Fonte: extraído de Stojanović, Stojanović (2015)

2.5.2 Triangulação

Essa técnica emprega as propriedades geométricas dos triângulos para calcular a localização do dispositivo, utilizando os ângulos entre os pontos de referência e o aparelho. As técnicas trilateração e angulação são baseadas na triangulação.

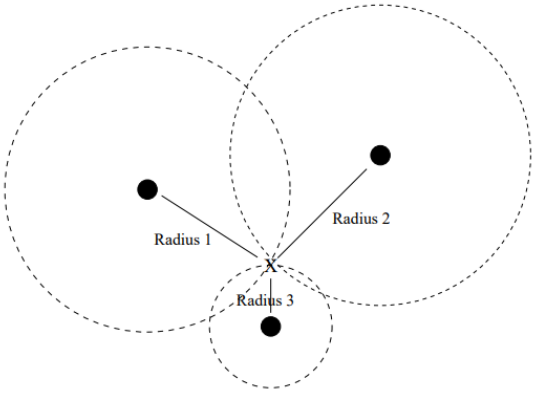
2.5.2.1 Trilateração

A trilateração calcula a posição do dispositivo com a medição da sua distância até múltiplos pontos de referência conhecidos (LIU et al., 2007; STOJANOVIĆ; STOJANOVIĆ, 2015).

Um círculo é criado em torno do ponto de referência e seu raio é a distância entre este ponto e o dispositivo. Esses cálculos devem ser repetidos para os outros dois pontos de referência e a interseção deles é a posição do dispositivo (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

A técnica de trilateração é representado na Figura 12.

Figura 11 – Técnica de trilateração

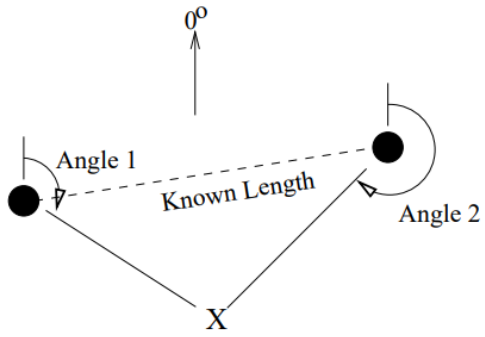


Fonte: extraído de Hightower; Borriello (2001)

2.5.2.2 Angulação

Essa técnica é semelhante à trilateração, porém calcula os ângulos relativos de vários pontos para determinar a posição do dispositivo. Normalmente a angulação bidimensional necessita de duas medições de ângulo e uma de comprimento entre os pontos conhecidos. A Figura 13 representa a angulação.

Figura 12 – Técnica de angulação



Fonte: extraído de Hightower; Borriello (2001)

2.5.3 Fingerprinting

Segundo Barroso (2018), essa técnica consiste em duas fases: calibração (*offline*) e comparação (*online*).

Na fase *offline* os dados da intensidade do *RSSI* são coletados em todo o ambiente *indoor* e cada ponto com os dados são armazenados em um banco de dados. Os locais com os pontos de acesso também são inseridos no sistema. Já na fase *online* as informações coletadas são comparadas com os dados armazenados anteriormente e faz-se uma estimativa da posição (BARROSO, 2018).

2.5.4 Análise de Cena

Essa técnica envolve a análise de um vídeo, imagem ou características eletromagnéticas de um objeto alvo.

Para a análise eletromagnética é detectado os sinais eletromagnéticos e suas intensidades de diferentes transmissores que fornecem os dados da localização usando uma técnica de mapa de rádio de correspondência de padrões.

Já no caso de vídeo, utilizam-se câmeras para que o sistema de posicionamento possa detectar padrões significativos em um fluxo de dados de vídeo

para determinar a localização do usuário. Com esta técnica é possível identificar, por exemplo, usuários com rótulos em seus crachás e, assim, rastreá-los no ambiente.

2.5.5 Técnicas de Medição em Ambientes Fechados

Em ambientes fechados, como mencionado no início do item 2.3, a referência a ser utilizada é uma rede de sensores sem fio do Wi-Fi, BLE ou outro. Através desse sinal, utiliza-se técnicas de localização em modelos desenvolvidos para ambientes fechados.

Atualmente não há nenhum modelo padrão de localização interna desenvolvido devido a complexibilidade de cenários. Alguns dos modelos mais comuns usados em sistemas de localização são: Ângulo de Chegada (*Angle of Arrival* - AoA), Tempo de Chegada (*Time of Arrival* - ToA), Diferença de Tempo de Chegada (*Time Difference of Arrival* - TDoA) e Indicador de Intensidade do Sinal Recebido (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI). As características de cada uma serão descritas nos próximos itens (SADOWSKI; SPACHOS, 2018; ANEE; KARMAKAR, 2013).

- ***Angle of Arrival* – AoA**: técnica que utiliza várias antenas para determinar o ângulo no qual o sinal está sendo captado. Geralmente necessita de *hardware* complexo, que deve ser calibrado para que uma medição precisa da posição seja obtida.
- ***Time of Arrival* – ToA**: é uma das técnicas mais precisas disponíveis; ela utiliza relógios sincronizados para calcular o tempo de propagação do sinal entre o transmissor e o receptor. O sistema utiliza carimbos de data/hora embutidos em pacotes de dados transmitidos para determinar a distância percorrida até o destino. No *ToA* todos os dispositivos precisam de relógios sincronizados, requerendo de hardware adicional.
- ***Time Difference of Arrival* – TDoA**: como o *ToA*, o *TDoA* também exige a utilização de relógios sincronizados, a diferença está no tempo da transmissão de vários receptores para calcular a distância de cada dispositivo.
- ***Received Signal Strength Indicator*** – RSSI: é o método mais popular e simples de localização porque não requer hardware adicional. Seu funcionamento se baseia em medir a força do sinal recebido no receptor. Esse método é mais impreciso devido aos sinais de propagação serem suscetíveis a ruídos do ambiente.

- ***Roundtrip Time of Flight* – RToF**: essa técnica calcula o tempo que o sinal leva para ir e voltar.

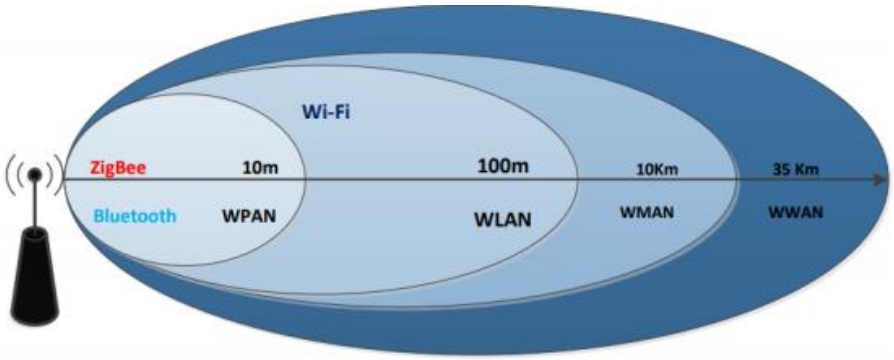
2.6 Redes de comunicação sem Fio para IoT

Todos os dispositivos utilizados em um sistema IoT necessitam da troca de informações nos dois sentidos (transmitir e receber). Normalmente esses dispositivos ficam distantes dos computadores e da rede cabeada de dados do estabelecimento. Dessa forma a comunicação deve ocorrer de outra forma.

A maneira mais comum de se utilizar a comunicação é sem fio são as ondas eletromagnéticas transmitidas pelo ar. De acordo com o BNDES (2017b, p. 111), existe uma heterogeneidade da rede de comunicação e com isso existem diferentes tecnologias para atender os requisitos específicos de comunicação, como: cobertura ampla ou reduzida, vazão de dados restrita ou larga, custo do terminal, consumo de energia, faixa de frequência de operação etc.

As redes sem fio apresentam 4 divisões: *Wireless Personal Area Network* (WPANs), *Wireless Local Area Network* (WLANs), *Wireless Metropolitan Area Network* (WMANs) e *Wireless Wide Area Network* (WWANs) conforme apresentadas na Figura 14.

Figura 13 – Classificação das redes sem fio



Fonte: extraído de Fernandes (2012)

Cada classificação irá variar de acordo com a área de cobertura e sua aplicação.

A seguir será tratado algumas das tecnologias mais utilizadas, de forma não exaustiva.

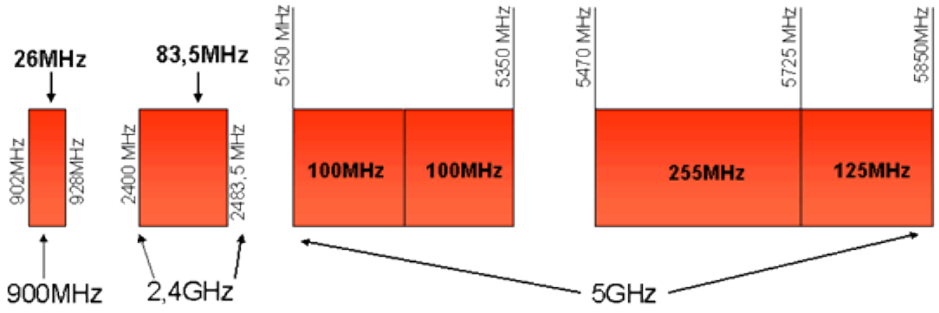
2.6.1 Redes WPAN e WLAN

As redes WPAN e WLAN são redes com cobertura reduzida, chegando a algumas centenas de metros. Tais redes são utilizadas em ambientes residenciais e comerciais, porém com um caráter particular.

Utilizam nas faixas não licenciada *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) nos seguintes intervalos de frequência: 902 MHz - 928MHz; 2,4 GHz - 2,485 GHz e 5,15 GHz - 5,825 GHz (SOARES, 2004). Essas bandas podem variar em cada país.

Na Figura 15 observa-se as faixas ISM no Brasil.

Figura 14 – Principais faixas ISM no Brasil



Fonte: extraído de Soares (2004)

Essas redes são mais utilizadas pelas tecnologias, ZigBee, Wi-Fi e Bluetooth. Elas seguem as normas do IEEE 802.15.4, 802.11 e 802.15.1, respectivamente.

2.6.1.1 ZigBee

O ZigBee é um padrão definido por um grupo de empresa que formaram o ZigBee Alliance. Ele estabelece uma comunicação sem fio confiável, de baixo consumo de bateria e baixas taxas de transmissão (FRIAS, 2004).

Já o ZigBee Alliance (2020) complementa que “é a única solução IoT completa - da rede *mesh* à linguagem universal - que permite que objetos inteligentes trabalhem juntos” (ZIGBEE ALLIANCE, 2020). Ainda por cima Ramya, Shanmugaraj e Prabakaran (2011) acrescentam que esse padrão é um dos mais amplamente utilizados, devido as suas características de baixa potência, baixa taxa de dados, baixo custo e baixa latência.

O ZigBee ainda oferece outras vantagens frente as demais tecnologias, tornando um atrativo para sua escolha. Algumas empresas grandes fazem parte do grupo de membros, como as gigantes Amazon, Apple, Google e entre outras (ZIGBEE

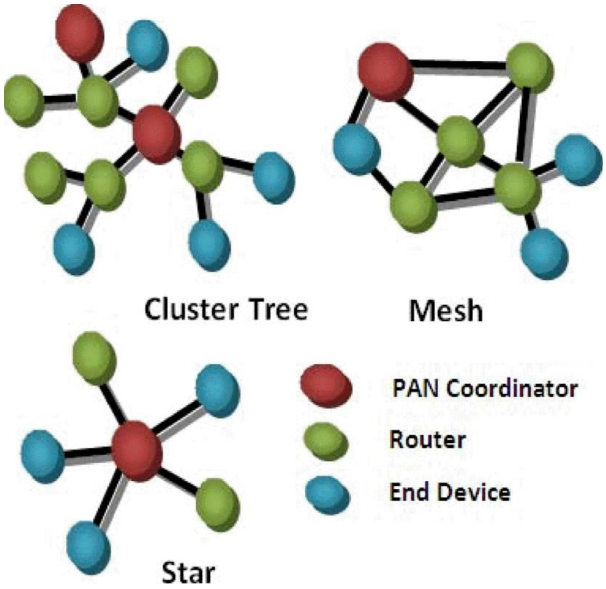
ALLIANCE, 2020). Com grandes membros a tecnologia torna-se mais robusta, e ainda pode-se destacar algumas vantagens (RAMYA**;** SHANMUGARAJ**;** PRABAKARAN, 2011):

- confiável;
- suporta grande número de nós;
- fácil de implantar;
- segurança baseada em padrões [AES 128];
- baixo custo.

Na frequência de 2,4 GHz o ZigBee apresenta uma boa cobertura. O ZigBee Alliance (2020) informa que em campo aberto pode chegar a 300 m e ambientes internos fica entre 75 a 100 m. Além disso pode alcançar uma taxa de até 250 Kbits/s.

Essa cobertura pode ser expandida através da rede *mesh* que o ZigBee utiliza, na qual todos os nós se comunicam, fazendo com que a informação possa percorrer diferentes caminhos. De acordo com Ramya, Shanmugaraj e Prabakaran (2011), a tecnologia do *ZigBee* também permite as configurações de estrela e árvore, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 15 – Exemplos das possíveis topologias de rede ZigBee



Fonte: extraído de Ramya, Shanmugaraj e Prabakaran (2011)

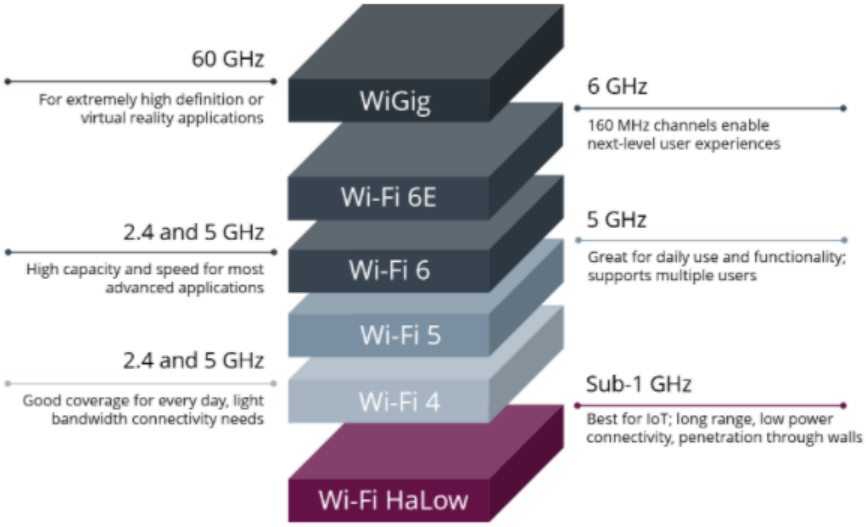
Dessa forma, o ZigBee oferece uma opção favorável em aplicações de baixa cobertura, desde indústrias até residências.

2.6.1.2 Wi-Fi

A *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) da Wi-Fi Alliance é uma das tecnologias de comunicação mais valiosas do mundo (WI-FI ALLIANCE, 2020). A Wi-Fi está presente em grande parte das residências e centro comerciais para distribuição da rede local e Internet. Vários dispositivos oferecem essa conectividade tornando um padrão bem aceito.

Essa tecnologia utiliza várias frequências do ISM, contudo a mais utilizada é a 2,4 GHz. Com o avanço de novas técnica de modulação, maior utilização de banda e utilizando mais de uma frequência ao mesmo tempo foi possível ultrapassar a barreira de *gigabit* de *throughput*. Esse incremento nas taxas necessitou de novas frequências e na Figura 17 pode-se observar a evolução da tecnologia e a inserção de novas bandas (WI-FI ALLIANCE, 2020).

Figura 16 – Frequências e versões do Wi-Fi



Fonte: extraído de Wi-Fi Alliance (2020)

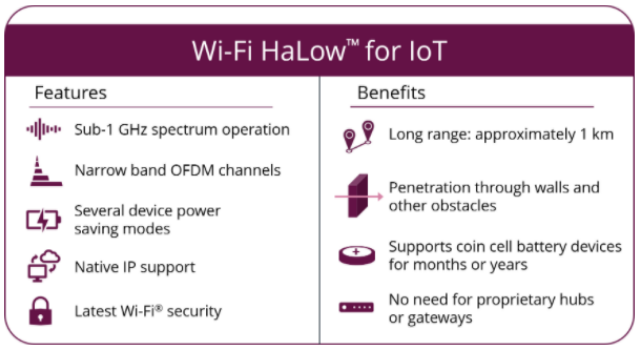
Dessa forma é possível acompanhar o avanço das redes cabeadas e as redes móveis (4G e 5G). Assim a Wi-Fi torna-se uma tecnologia interessante para ser utilizada para altas taxas de transferência de dados sem fio e sem grandes investimentos.

Ainda que a Wi-Fi tradicional não tenha sido desenvolvida levando em consideração os requisitos da IoT, como baixo consumo de bateria, a Wi-Fi Alliance trabalhou para desenvolver a Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah). Essa nova tecnologia pode ser implantada em ambientes industriais, agrícolas, hospitais e edifícios

inteligentes. Possui um alcance maior, mais robusta e consegue ultrapassar mais barreira, pois utiliza a faixa ISM de 915 MHz (WI-FI ALLIANCE, 2020).

De forma sucinta, a Figura 18 resume essas informações.

Figura 17 – funcionalidades e benefícios do Wi-Fi HaLow



Fonte: extraído de Wi-Fi Alliance (2020)

O Wi-Fi HaLow permite a conectividade de baixa energia necessária para aplicações, incluindo redes de sensores e vestíveis. Seu alcance é maior do que muitas outras opções de tecnologia IoT e fornece uma conexão mais robusta em ambientes desafiadores, nos quais a capacidade de penetrar paredes ou outras barreiras é uma consideração importante.

A cobertura Wi-Fi HaLow pode chegar a 1 km, bem superior ao Wi-Fi tradicional. Esse raio superior possibilita a instalação de uma quantidade menor de roteadores para cobrir a mesma localidade, reduzindo o custo de instalação (WI-FI ALLIANCE, 2020).

No quesito segurança, essa nova tecnologia vem equipada com novos protocolos de segurança e com autenticação mais robusta, além de uma maior força de criptográfica, chamada de WPA3 (WI-FI ALLIANCE, 2020**).** Dessa forma essa nova tecnologia oferece uma segurança superior a encontrada no mercado.

2.6.1.3 Bluetooth

O Bluetooth também é um sistema de comunicação sem fio para troca de informações a curtas distancias. É comum encontrar-se em *mouse* e teclados sem fio, *smartphones*, computadores, rádios etc. Com o advento do *smartphone* observa-se um aumento de dispositivos, principalmente relacionados a áudio.

A ideia original veio em 1994, quando a Ericsson Mobile Communications iniciou estudos para um sistema de comunicação de baixo consumo de energia para

substituir os cabos. Com o passar dos anos outras empresas se juntaram para fortalecer os estudos (FERRO; POTORTI, 2005). Dessa forma foi possível criar um sistema eficiente e que sobreviveu por anos e que possa ter um futuro mais promissor.

Para atender aos requisitos da IoT o *Special Interest Group* propôs uma nova especificação a partir da versão 4.0 para atender um sistema de baixo consumo de energia. Com isso foi desenvolvido *o Bluetooth Low Energy* (BLE) que atende os requisitos necessário, cobrindo pequenas distancias de até 50 m, utilizando a banda 2,4 GHz no ISM (PALATTELLA et al., 2016). Dessa forma o BLE pode concorrer com as demais tecnologias para a IoT.

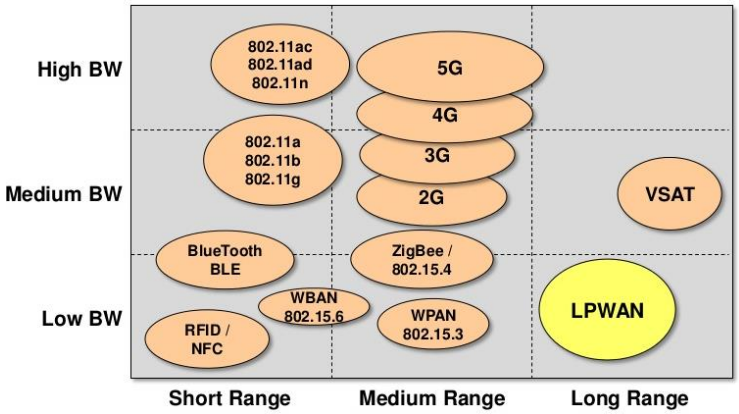
Hoje o Bluetooth se encontra na versão 5.2 e novos benefícios foram implementados, um ponto positivo é que as novas versões podem se comunicar com a versão 4.0 nas funcionalidades básicas. Um outro ponto importante é que na versão 5.0 os dispositivos BLE podem se comunicar a distantes superiores a 1,5 km em campo aberto e pode ter taxas de transferência de até 1,4 Ms. Também oferece suporte as topologias estrela, ponto a ponto e *mesh* (AFANEH, 2020).

Portando o BLE nas suas versões mais recentes, apresenta recursos interessantes, devendo fazer parte dos estudos para escolher a melhor tecnologia a ser implementada no projeto.

2.6.2 Redes WAN

O termo *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) designa um tipo de rede que é mais utilizada em IoT, em virtude de suas características de transmitir poucos dados a uma distância relativamente grande utilizando pouca bateria. Um comparativo entre algumas tecnologias pode ser observado na Figura 19.

Figura 18 – Banda de transmissão x cobertura



Fonte: extraído de Egli, Peter R. (2015)

Nesse trabalho será abordado duas tecnologias de LPWAN, o LoRa e o SigFox que já estão amplamente implementadas, com seus sistemas consolidados e em expansão mundial.

2.6.2.1 LoRa

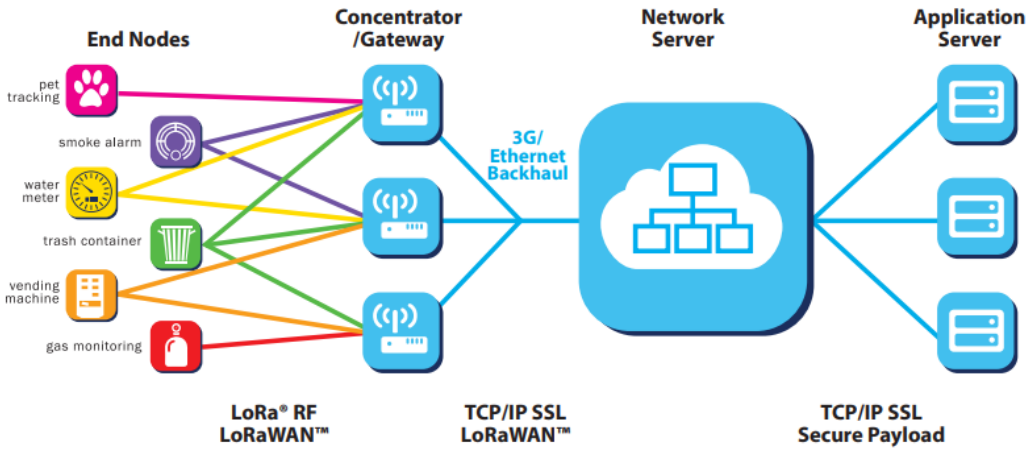
A tecnologia *Long Range* (LoRa) utilizada a técnica de espalhamento espectral *Chirp Spread Spectrum Modulation* (*CSS*) e refere-se apenas a camada física, para as demais foi criado pela LoRA Alliance a LoRaWAN que também define a arquitetura do sistema e os parâmetros de comunicação (BNDES, 2017b, p. 119). Dessa forma tem-se uma tecnologia bem estruturada e com colaboração a nível mundial.

O LoRa faz uso das faixas ISM em sub GHz, que no Brasil corresponde a faixa de 915 MHz, já na Europa é 433 MHz e 868 MHz e na Ásia 915 MHz (GARCIA; KLEINSCHMIDT, 2017). Essa banda oferece menores atenuações e menor desvanecimento de múltiplos caminhos causados por obstáculos e superfícies densas, porém pode sofrer interferências (DELLALIBERA, 2018).

Como resultado dessa banda é possível obter uma razoável cobertura externa e interna. O raio da cobertura pode chegar a 5 km em áreas urbanas e 15 km em áreas rurais com baixo consumo de bateria (GARCIA; KLEINSCHMIDT, 2017). Esses valores fazem com que o LoRa atenda aos requisitos da LPWAN.

A LoRaWAN apresenta uma arquitetura que utiliza a topologia estrela entre os dispositivos finais e o *gateway,* e desse para o servidor é através da rede IP. A arquitetura em estrela ajuda a preservar a vida útil da bateria, de modo que os dispositivos só transmitam seus arquivos (LORA ALLIANCE, 2015, 2020). A arquitetura pode ser observada na Figura 20.

Figura 19 – Arquitetura de rede *LoRaWAN*



Fonte: extraído de LoRa Alliance (2015)

O LoRa foi desenvolvido também para ser seguro, mas a LoRa Alliance (2020) informa que para "[...] mantê-la segura e protegida não é apenas uma questão de escolher o protocolo certo, mas depende do processo de implementação e adotar as práticas recomendadas e os padrões do setor". Não basta apenas o sistema ser criado com técnicas de segurança, mas a sua correta configuração irá melhor proteger.

O sistema foi criado para ser seguro, com autenticação e criptografia sendo definidas duas camadas para essa última, conforme afirma a LoRa Alliance (2020):

- uma chave de sessão de rede exclusiva de 128 bits compartilhada entre o dispositivo final e o servidor de rede;
- uma chave de sessão de aplicativo (AppSKey) exclusiva de 128 bits compartilhada de ponta a ponta no nível do aplicativo.

Dessa forma, foi possível observar que o LoRa apresenta bons benefícios para atender uma rede de IoT. Existe uma aliança mundial no trabalho de garantir as melhores técnicas e soluções. Isso reforça que a tecnologia poderá ter anos de vida pela frente.

2.6.2.2 Sigfox

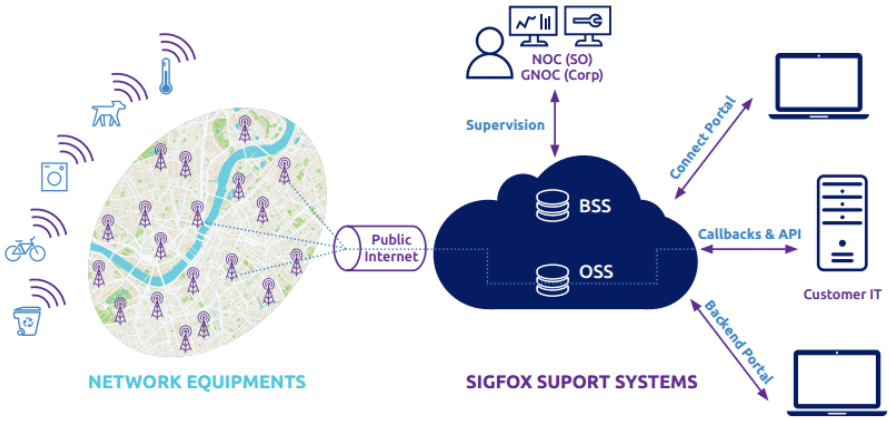
O Sigfox é uma empresa Francesa que teve início em 2010 a fim de criar uma rede para dispositivos que utilizam pouca energia e transmitem pequena quantidade de dados. Essa característica é desejada na maioria das redes para IoT. Porém, a Sigfox opera semelhante a uma empresa de telefonia móvel e no Brasil a empresa WND é a operadora da rede.

O sistema foi criado para utilizar uma tecnologia de rádio baseado em *Ultra Narrowband* (UNB), sendo essa fundamental para fornece escalabilidade de alta capacidade, baixo consumo de energia com uma infraestrutura em estrela simples (CHUNG; AHN; DU HUH, 2018). Essa modulação opera em 200 kHz da banda ISM, sendo que cada mensagem tem 100 Hz de largura de banda e a taxa de transferência varia entre 100 ou 600 bits/s. Com isso, pode-se alcançar longas distâncias e apresenta robustez contra ruídos (SIGFOX, 2020).

Sua cobertura em campo aberto é superior ao LoRa, chegando a 30 km, com uma potência de transmissão de apenas 22,5 dBm (0,1778 W) (WANG; CHENG; TARNG, 2018). Essa diferença diminui a quantidade de *gateways* a serem instalados, reduzindo seu custo de implementação.

Assim como o LoRaWAN, o Sigfox também utiliza uma arquitetura de rede em estrela e é fornecido pela operadora. O cliente necessita apenas criar uma aplicação na nuvem, e todo o restante é por conta da operadora, até mesmo o recebimento de mensagens em tempo real (WND BRASIL, 2017) (Figura 21).

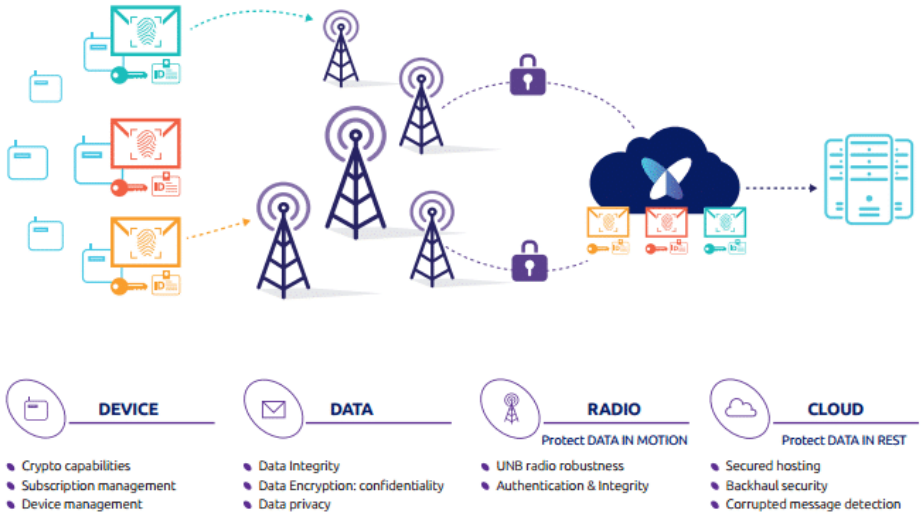
Figura 20 – Arquitetura da rede *Sigfox*



Fonte: extraído de WND Brasil (2017)

Segundo o desenvolvedor do Sigfox, foram implementados sistemas de segurança do início ao final da cadeia (SIGFOX, 2020a). Porém, um estudo realizado por Coman et al. (2019) diz que “o Sigfox em seu estado atual não deve ser usado para aplicativos críticos (a menos que uma melhor proteção contra reprodução seja construída em uma camada superior pelos usuários finais)”. Uma melhor visualização da camada de segurança é vista na Figura 22.

Figura 21 – Segurança padrão do *Sigfox*



Fonte: extraída de WND Brasil (2017)

2.6.3 Redes de Telefonia Móvel

Para a internet das coisas a telefonia celular também evoluiu e busca atender essa área adicionando novas funcionalidades e opções. A IoT é um mercado muito importante e promissor, dessa forma as operadoras também querem fazer parte e aumentar suas receitas aproveitando o legado existente. Com isso a diversidade entre as diversas redes incentiva o desenvolvimento de novas funcionalidades, contribuindo para redes mais eficientes.

Atualmente no Brasil as redes 2G *Global System for Mobile* (GSM), 3G *(Universal Mobile Terrestrial System* - UMTS*)* e 4G (*Long Term Evolution* - LTE*)* são comerciais. Para o 5G (*New Radio - NR*) ainda não se tem redes comerciais com frequências próprias no Brasil, pois é necessário o leilão do espectro que ainda será realizado pela ANATEL. O que está disponível em algumas localidades é o compartilhamento de frequência do 4G com o 5G, sendo que as duas tecnologias utilizam a mesma faixa ao mesmo tempo.

Para este trabalho será abordado os padrões 2G, 4G e 5G. Como o 3G não obteve inovações para a IoT, ele não será tratado, pois apenas utiliza a rede de dados para trafegar IoT como qualquer outro dispositivo.

2.6.3.1 2G – GSM

O GSM teve seu início no começo da década de 1990, quando foi introduzido pela primeira vez na Europa em 1991 (GU; PENG, 2010). Seu desenvolvimento foi motivado pela necessidade de melhor a qualidade da comunicação da rede analógica e aumentar sua capacidade (ETSI, 2020a).

Ele utiliza bandas licenciadas e é padronizado para operar apenas nas frequências 800, 900, 1800 e 1900 MHz. No início foi desenvolvido apenas para voz, mas com o passar do tempo foram adicionando serviços digitais de rede fixa e foi possível trafegar voz a taxas de 9600 bits/s. A necessidade de maiores taxas fez com que se desenvolvessem novas técnicas, chamadas de (*High Speed Circuit Switched Data* - HSCSD), (*General Packet Radio Service* - GPRS) e *EDGE* (*Enhanced Data rates for Global Evolution* - EDGE), chegando a taxas máximas teóricas de 57,6 kbit/s, 171 *kbit/s* e 384 kbit/s, respectivamente (ETSI, 2020a). Atualmente o HSCSD não é mais utilizado.

Rede de dados 2G ainda é bem utilizada para *Machine to Machine* (M2M), na qual alguns bytes de informações são trocados com a rede e uma latência moderada (PAULS et al., 2013). Vários equipamentos utilizam essa técnica no 2G para várias áreas, como saúde, agropecuária, transporte, telemetria etc. O mais comum no dia a dia são os terminais para pagamento com cartão.

Por outro lado, com a chegada da IoT novas técnicas foram introduzidas no GSM, a fim de garantir que os dispositivos possam utilizar essa rede e atender aos requisitos. Essa nova técnica é chamada de *EC*-GSM-IOT *Extended Coverage* (EC) GSM IoT) e foi projetado para alta capacidade, longo alcance, baixa energia e baixa complexidade (GSMA, 2020).

Já a Nokia (2017) complementa que o GSM pode ser a chave para abrir o caminho para a IoT em grandes áreas, e dessa forma, as operadoras podem usar sua rede para IoT. Essa nova tecnologia aumenta a cobertura em 20 dB (aproximadamente sete vezes) e como atende os requisitos da IoT, a vida útil da bateria pode ultrapassar dez anos. A taxa de *throughput* fica próxima ao (*Narrowband* IoT - NB IoT) do LTE, que será estudado mais adiante, e superior ao LoRa e ZigBee, podendo chegar a 140 kbit/s de *downlink* e *uplink*.

2.6.3.2 4G – LTE

O *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), organização que padroniza as funcionalidades das redes de celular, lançou o projeto do LTE em dezembro de 2004 (ETSI, 2020b). Porém, quatro anos mais tarde, o *release* 8, que é a base dos primeiros equipamentos foram finalizados. Seu desenvolvimento foi motivado para dar continuidade a competitividade do 3G, demanda de mais usuários com maiores taxas de dados e qualidade, baixa complexidade, alta eficiência espectral, baixa latência, flexibilidade de largura de banda, entre outros (3GPP, 2020).

Assim como o GSM, o *LTE* utiliza as bandas licenciadas, 450, 700, 850, 900, 1800, 1900, 2100, 2600 e 3500 MHz e permite seis larguras de banda 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz (ETSI, 2020b). Nos *releases* mais atuais e com a configuração máxima permitida para um móvel, o *throughput* ultrapassa o 1 Gbit/s no *downlink*.

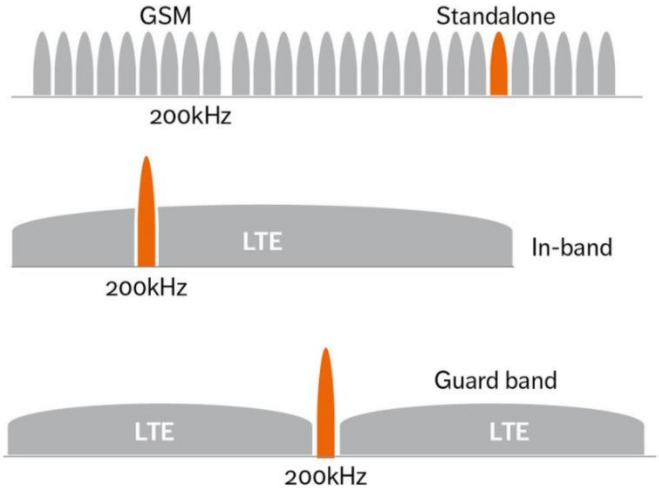
Para atender ao IoT o 3GPP desenvolveu duas novas tecnologias para o LTE, o *NB*-IoT ou *(LTE Narrowband 1* – LTE-NB1*)* com largura de banda baixa, e o (*LTE-Machine* - LTE-M), LTE-M1 ou (*Enhanced Machine Type Communication* - eMTC) para média largura de banda. Com isso foi possível estender a vida útil da bateria, ampliar a área de cobertura e aumentar a capacidade de mais terminais conectados (NOKIA, 2017).

O NB-IoT foi desenvolvido para utilizar uma banda estreita de 200 kHz, a mesma de um canal GSM. Dessa forma uma série de opções de implantação para o espectro GSM, WCDMA ou LTE com três possibilidades informadas pela Ericsson (2016):

- *standalone* - substitui uma operadora GSM por uma operadora NB-IoT;
- *in-band* - por meio do uso flexível de parte de uma operadora LTE;
- *guard band* - em WCDMA ou LTE

Essas três possibilidades são ilustradas na Figura 23.

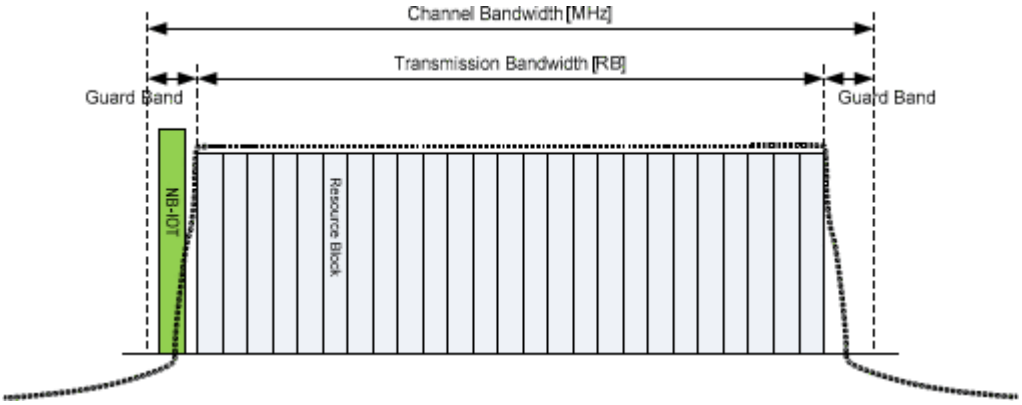
Figura 22 – Opções de implantação do *NB*-IoT



Fonte: extraído de Ericsson (2016)

Para o *guard band* também é possível utilizar a banda de guarda que de uma única portadora, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 23 – Banda de guarda de uma portadora LTE para utilizar o *NB*-IoT



Fonte: extraído de Ratasuk et al. (2016)

Com essa tecnologia é possível atingir taxas de pico de até 200 kbit/s (RATASUK et al., 2014). Essa velocidade é bem superior as alcançadas pelo LoRa e ZigBee. Dessa forma, isso pode ser um fator relevante na escolha, caso a rede necessite de taxas superiores.

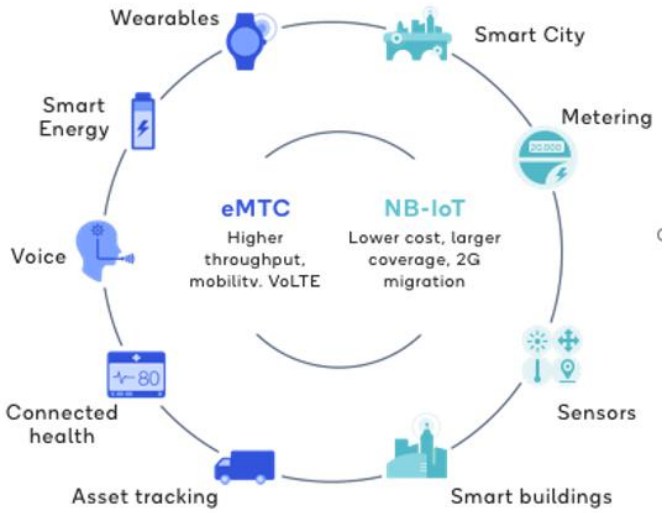
Como comentado anteriormente, o 3GPP também desenvolveu o eMTC. Nessa tecnologia é possível conseguir taxas de até 1 Mbits/s utilizando uma largura de banda de 1,4 MHz. Para um melhor aproveitamento da banda é possível utilizar de dois modos, *Frequency Division Duplex* (FDD) e *Time Division Duplex* (TDD) (QUALCOMM, 2017; NOKIA, 2016). Essas duas técnicas vêm do legado LTE,

possibilitando mais uma configuração de rede a fim de aproveitar melhor o espectro limitado.

Em comparação com o *LTE* convencional, a Nokia (2016) informa que a complexidade do dispositivo eMTC pode chegar a 80% menor, que permite conectividade econômica em sensores que precisam de taxas de dados mais alta. A Qualcomm (2017) complementa que no eMTC há suporte ao *Voice over Long-Term Evolution* (VoLTE) mobilidade total com o *handover* entre setores do sistema além de poder fornecer 15 dB a mais de potência, garantindo uma melhor cobertura *indoor* e *outdoor*.

Dessa forma o NB-IoT e o eMTC são duas tecnologias que podem ser oferecidas pelas operadoras. Essas tecnologias estão sendo implantadas e espera-se uma evolução para os próximos anos, alavancando a escala, longevidade e cobertura global (QUALCOMM, 2017). A Figura 25 mostra algumas das possíveis aplicações para cada uma.

Figura 24 – Algumas aplicações do *NB*-IoT e *eMTC*



Fonte: extraído de Qualcomm (2020a)

2.6.3.3 5G – NR

O 5G ou *New Radio* (NR) é a mais nova tecnologia de telefonia celular, uma rede para conectar praticamente tudo e todos ao mesmo tempo, desde máquinas, objetos e dispositivos. Desenvolvida para oferecer velocidades de pico de dados multi-Gbits/s, sendo mais altas que o 4G, latência ultrabaixa, mais confiabilidade, capacidade de rede massiva, maior disponibilidade e uma experiência de usuário mais

uniforme para mais usuários (QUALCOMM, 2020b). Ele é uma coleção de tecnologias para atender os requisitos (NOKIA, 2017).

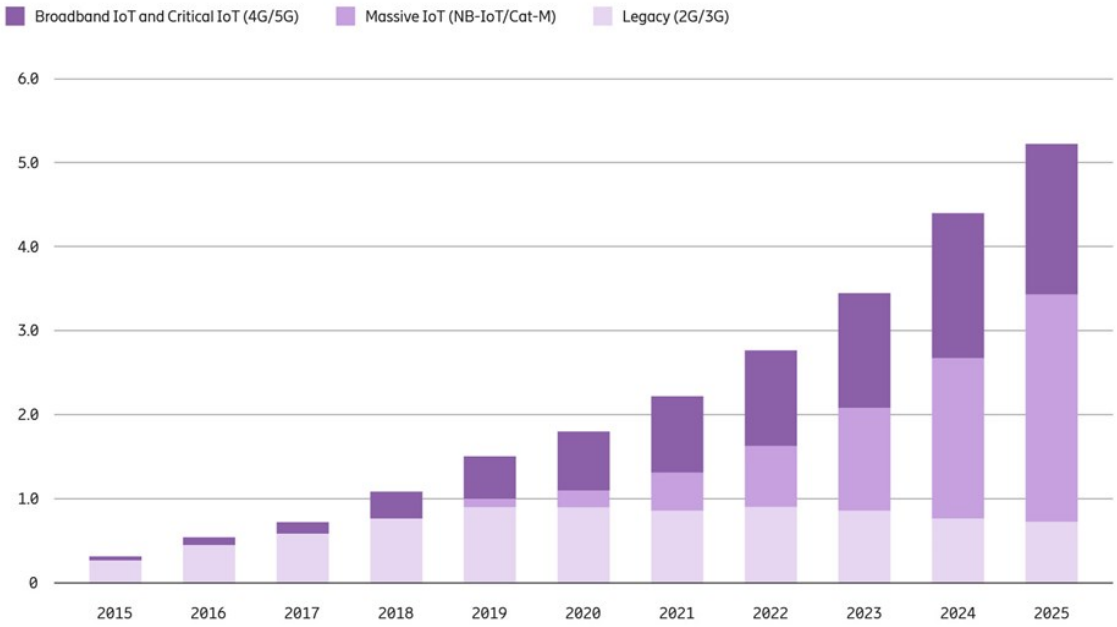
No 5G será possível utilizar todas as bandas já disponíveis no 2G, 3G e 4G licenciadas e outras novas que estão em processo de liberação dos órgãos regulamentadores de cada país. No Brasil umas das bandas será o 3,5 GHz. Para facilitar, o espectro foi dividido em sub-6 GHz comentadas anteriormente e as mmWave com 24 GHz e superior (QUALCOMM, 2020b).

Para IoT o 5G representará um salto com seus requisitos de velocidade e latência que foram tratados anteriormente. Trará novas experiências como controlar um robô em uma linha de produção. Para isso esse novo cenário pode ser dividido em quatro segmentos (ERICSSON, 2019):

- ***Massive* IoT:** segmento no qual os dispositivos são em grande número, porém de baixa complexidade, custo e com bateria de longa duração. Hoje o 4G fornece essa rede com o NB-IoT e eMTC.
- ***Broadband* IoT:** esse segmento inclui dispositivos que necessitam de maior rendimento, menor latência e maiores volumes de dados. Hoje é possível utilizar a rede 4G para isso, porém a experiência será superior no 5G.
- ***Critical* IoT:** segmento com requisitos de latência extremamente baixa e confiabilidade ultra alta. Apenas o 5G poderá suportar esses dispositivos e serão voltados para sistemas de transporte interativo, controle em tempo real de robôs etc. Apenas uma fração dos dispositivos estarão nesse segmento.
- ***Industrial automation* IoT:** segmento muito específico, com requisitos bem mais exigentes. Serão redes sensíveis ao tempo, protocolos industriais rodando em *ethernet* e um posicionamento muito preciso. Essas funcionalidades estão sendo definidas pelo 3GPP impulsionado pela Industria 4.0. será um segmento bem específico do 5G voltado para casos de uso de área local e implantações de rede privada.

Com isso pode-se ter uma melhor ideia dos números de desportivos IoT a partir do gráfico na Figura 26 que a Ericsson (2019) elaborou.

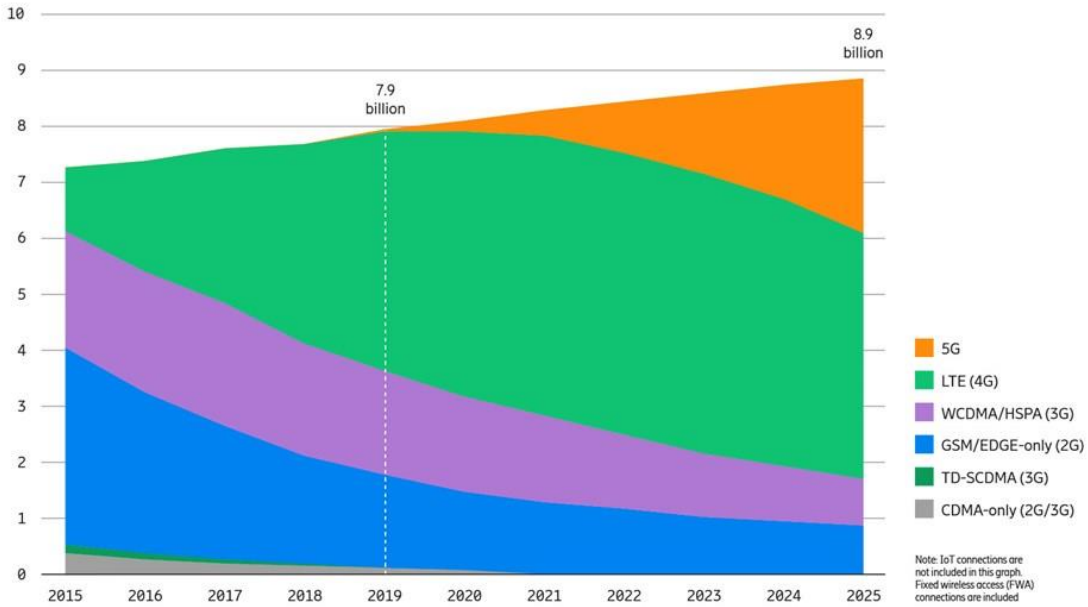
Figura 25 – Conexões IoT (bilhões)



Fonte: extraído de Ericsson (2020)

Vale ressaltar ainda que toda essa evolução nas redes de telefonia, também estão atreladas ao crescente número de dispositivos conectado na rede. A Figura 27 mostra a quantidade de terminais, com exceção de IoT.

Figura 26 – Dispositivos conectados excluindo dispositivos IoT (em bilhões)



Fonte: extraído de Ericsson (2020)

Naturalmente, para toda tecnologia antes de ser implantada é aconselhável estudar os prós e contras, com a possibilidade de obter uma rede robusta, que atenda

às necessidades do negócio sem aumentar os custos com equipamentos desnecessários. Foi apresentado uma boa gama de tecnologias desenvolvidas para suportar a IoT nas comunicações de dados. Novas funcionalidades estão por vir.

Também existem outras tecnologias que estão em desenvolvimento que não foram apresentadas, pois não faz parte do escopo da pesquisa.

2.7 Considerações do Capítulo

Esse capítulo apresentou o conceito da IoT para um melhor entendimento do trabalho, com suas definições e funcionamento. Também contemplou os desafios que a IoT tem em sua implementação.

Além disso, foi discorrido sobre a tecnologia RTLS, seu funciona, suas características, arquitetura e requisitos, a fim obter uma melhor compreensão, visto que ela utiliza diversas outras tecnologias para funcionar, que também foram apresentadas.

3. A IOT EM UM HOSPITAL

Este capítulo apresenta o conceito de hospital inteligente, sua adequação e funcionalidades. Também discute a tecnologia de localização em tempo real (RTLS), utilizada nos hospitais, e como ela possibilita que a IoT faça parte do dia a dia das pessoas.

3.1 O Conceito de Hospital Inteligente

Nos dias atuais recebe-se vários anúncios nos mais variados meios de *marketing* informando que determinado produto é inteligente, desde lâmpadas, televisores, geladeiras, carros, cidades e até mesmo hospitais. Mas essa inteligência torna-se confusa quando se buscam maiores detalhes. Utilizando uma lâmpada conectada à rede Wi-Fi como exemplo, pode-se dizer que suas funcionalidades são: programar para ligar e desligar, controlar intensidade da iluminação e em alguns casos as cores. Essas funções são controladas por aplicativos no *smartphone* e em qualquer lugar do mundo, desde que esteja conectado na Internet. Entretanto, quando se pensa em hospital inteligente o assunto fica mais complexo. A comunidade digital para a indústria global de saúde traz uma explicação para o conceito de Hospitais Inteligentes (SHOOTER, 2017):

> "[...] hospitais inteligentes são hospitais que otimizam, redesenham e/ou constroem novos processos clínicos, sistemas de gestão e talvez até mesmo infraestrutura, todos habilitados por infraestrutura de rede digitalizada subjacente de ativos interconectados, para fornecer um serviço valioso ou conhecimento que não era possível ou disponível anteriormente, para obter melhor atendimento ao paciente, experiência e eficiência operacional."

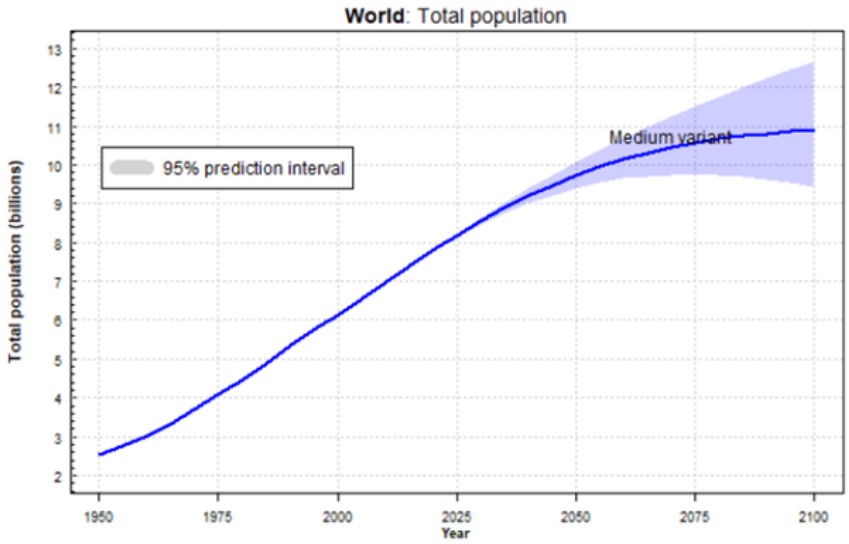
Já a Johnson Controls (2020) complementa que "pode ser uma integração complexa de sistemas clínicos, de tecnologia da informação e de edifícios. Uma infraestrutura otimizada e integrada simplifica as comunicações e os fluxos de trabalho."

3.2 Justificativas para um Hospital Inteligente

Um hospital inteligente torna-se interessante para todos, com um foco maior nas informações citadas anteriormente. Por outro lado, toda transformação gera trabalhos e que vem vinculado a custos elevados, principalmente relacionados às novas tecnologias. Esses investimentos poderão ser bem aceitos se considerar alguns dados quando se olha para o futuro.

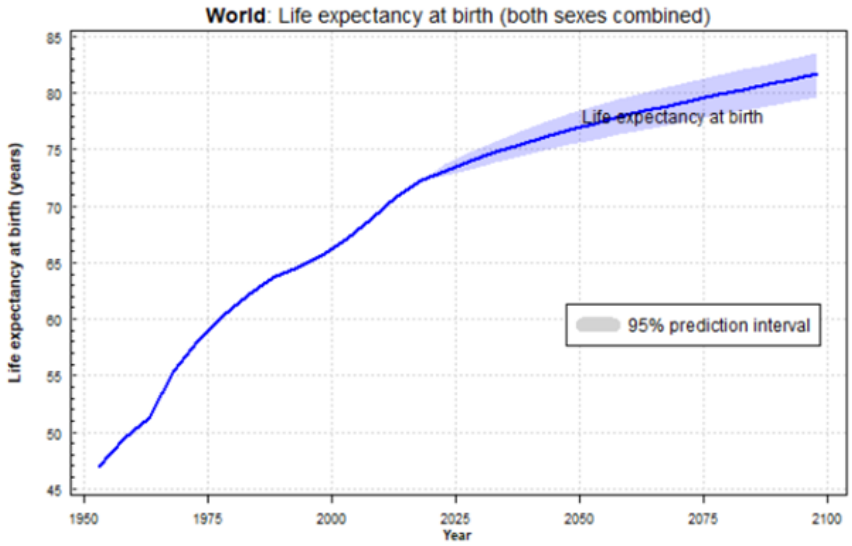
Existe um rápido crescimento da população e aumento da perspectiva de vida, os cuidados tradicionais de saúde estão no limite de atendimento, em várias localidades a quantidade de médicos não são suficientes para atender a população (MOHANTY; CHOPPALI; KOUGIANOS, 2016; MOHANTY; CHOPPALI; KOUGIANOS, 2020). Esses dados podem ser observados nos estudos realizados pela Organização das Nações Unidas (ONU), conforme as Figuras 28 e 29.

Figura 27 – Estimativa do crescimento populacional



Fonte: extraído de ONU (2019)

Figura 28 – Expectativa de vida

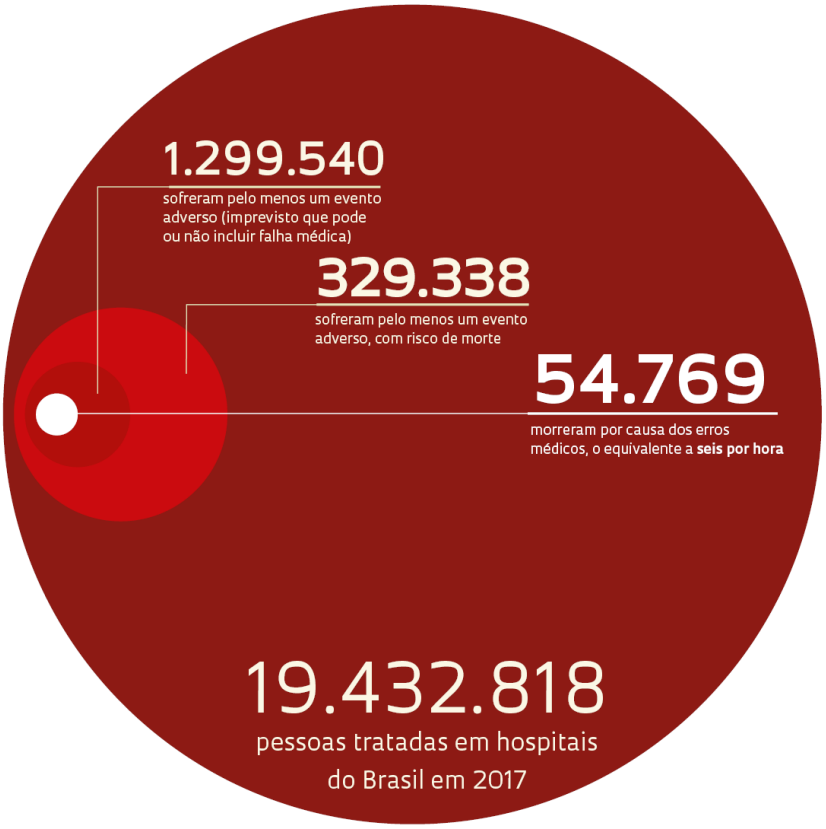


Fonte: extraído de ONU (2019)

Outro ponto a se levar em consideração são os erros cometidos em hospitais, dos mais variados tipos, desde a não higienização das mãos adequadamente até a prescrição de medicamentos.

Uma reportagem de Fioravanti (2020) informa que 19,4 milhões de pessoas são tratadas em hospitais no Brasil todo ano e que 1,3 milhão apresentam efeitos colaterais causados por negligência ou imprudência durante o período que ficaram internados. Esses fatos são preocupantes e a Figura 30 apresenta dados mais detalhados.

Figura 29 – Números relacionados a erros em hospitais



Fonte: extraído de Fioravanti (2020)

Um dos pontos mais importantes que os administradores levam em consideração para a implementar uma nova tecnologia, como a IoT, é o Retorno do Investimento (ROI). Para uma melhor compreensão, ROI “é uma medida financeira de desempenho que demonstra o quanto um investidor ou uma empresa ganhou, ou perdeu, com um investimento.” (DICIONÁRIO FINANCEIRO, 2021).

A Arruba Networks (2020) comenta que há previsões de ROI superiores a 40% na saúde e, que no futuro, com o advento da IoT, será possível uma redução de 57% nos custos e o mesmo valor para aumento da produtividade. Tais informações agregam as vantagens de sua implantação e quão importante é sua implantação.

A Health IT Outcomes (2019) complementa que há uma tendência para os hospitais se tornarem inteligentes com a implantação da IoT. Os motivos são:

- o aumento da utilização de dispositivos vestíveis (*wearable*) como relógios, com coleta de dados permanente;
- com o aumento dos gastos na saúde, tem-se buscado a utilização da IoT para implementar programas preventivos de saúde, a fim de evitar o desenvolvimento de doenças crônicas;
- a necessidade de que os médicos tenham acesso a dados precisos e atualizados dos pacientes de forma rápida, com o auxílio da inteligência artificial para minimizar erros;
- o foco no monitoramento de pacientes com doenças crônicas, por exemplo, diabetes, pressão alta e doenças cardíacas, a fim de utilizar os dispositivos vestíveis e monitorar se o tratamento está surtindo efeito e se é realizado corretamente;
- a evolução das ferramentas de *Business Intelligence* (BI) com suas análises;
- o armazenamento virtual praticamente ilimitado com o poder de computação a um custo muito baixo incentiva sua implantação.

3.3 Características dos Hospitais Inteligentes

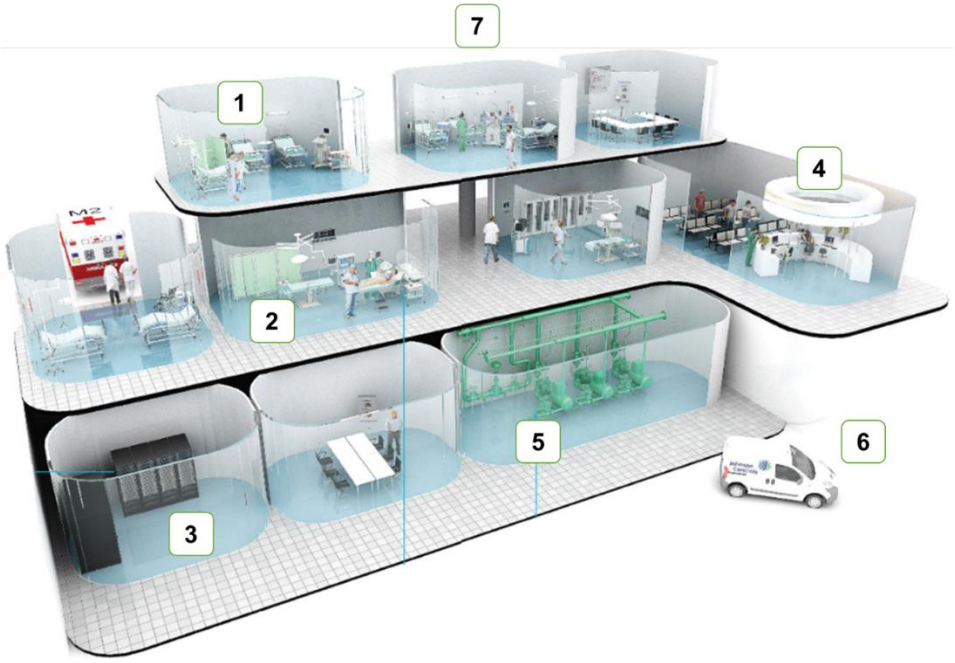
Não existe um consenso sobre que mudanças devem ocorrer e quais tecnologias precisam ser empregadas para que um hospital seja considerado inteligente. Várias empresas de soluções abordam o tema, e alguns artigos, porém na literatura cientifica o tema ainda se encontra em amadurecimento. Para um melhor entendimento, será discorrido algumas propostas.

3.3.1 Sugestão de uma Estrutura Básica para um Hospital Inteligente

Todo local onde se deseja construir ou implantar uma tecnologia nova ou fazer um *upgrade* da existente necessita de estruturas comuns básicas que possam servir de base para as novas, e atender toda a nova infraestrutura. Para um hospital inteligente não é diferente e seus sistemas básicos necessitam ser bem dimensionados para atender diversas áreas e tecnologias futuras.

As principais mudanças para adaptação de um hospital comum para um inteligente serão abordadas na sequência e, tomando como referência as informações da Johnson Controls (2019). Essas informações foram disponibilizadas para o mercado como modelo de requisito para a transformação. Para facilitar a compreensão, será utilizada a Figura 31 com as alas de um hospital inteligente típico.

Figura 30 – Hospital inteligente com a IoT implantada



Fonte: extraído de Johnson Controls (2019) adaptado

Nessa figura são identificados os principais locais e respectivas funções obtidas com os sistemas IoT, sendo realizadas de forma automática:

1) **Enfermaria:**
   - monitoramento e controle do ambiente;
   - integração de gerenciamento de cama inteligente;
   - gestão de queda de pacientes;
   - chamada de enfermagem e integração de comunicação unificada;
   - unidades de tratamento de ar inteligentes.
2) **Sala de Cirurgia:**
   - controle de fluxo de ar precisos;
   - aparelhos de ar-condicionado para sala cirúrgica;
   - otimização do ambiente de saúde;
   - integração de chamada de enfermagem;

- integração de comunicações unificadas.

3) ***Data Center*:**
   - sistema de gestão ambiental;
   - aparelhos de ar-condicionado para salas de computadores;
   - sistema de detecção e supressão de fogo
   - sistema de gestão de segurança
   - solução de gerenciamento de fluxo de ar;
   - gerenciamento de informações das instalações do centro de dados.
4) **Recepção:**
   - integração do sistema de transferência, alta e admissão/entrada (*Admission-Discharge-Transfer* - ADT);
   - controle ambiental para sala;
   - integração de serviços de localização em tempo real;
   - implantação do sistema de fila única para o atendimento na recepção.
5) **Planta de Resfriamento:**
   - resfriador centrífugo refrigerados a água;
   - otimização e controle da planta de refrigeração;
   - sistema de gestão de energia;
   - monitoramento remoto.
6) **Área Externa:**
   - monitoramento e controle de vigilância;
   - controle de acesso;
   - detecção e proteção de incêndio;
   - rastreamento e integração de gerenciamento de ativos;
   - monitoramento e controle do meio ambiente;
   - repórter do incidente;
   - controles de iluminação;
   - operações e manutenção.
7) **Energia e Sustentabilidade:**
   - auditoria e gestão energética;
   - consultoria de marca verde para hospitais;
   - qualidade do ar interno.

Hospitais inteligentes necessitam de softwares hospitalares específicos para gerenciar dados e informações que provêm das mais variadas fontes como: sensores, plataformas de integração, *wearables*, computadores, dispositivos móveis etc. Dessa forma os *tablets*, *smartphones*, dispositivos médicos, computadores recebem as funcionalidades inteligentes dos sistemas. Todo esse ecossistema poderá aproveitar o poder de *big data*, inteligência artificial e nuvem de dados, garantindo a implementação da IoT (ARCHER SOFTWARE, 2020).

Esses requisitos também consideram as estruturas de funcionamento de um hospital e não só a tecnologia mais próxima do paciente. Existe uma gama extensa de soluções a serem implementadas que estão relacionadas a TI, controle de medicação, localização de equipamentos e materiais, localização de pessoas, dispositivos para monitoramento pessoal de pacientes etc. A solução final será baseada no interesse de cada hospital.

3.4 A Tecnologia RTLS em Hospitais Inteligentes

A tecnologia RTLS pode trazer ganhos consideráveis quando comparados aos meios tradicionais que normalmente são implementados nos hospitais. Além disso, essa tecnologia está atrelada a IoT, que possibilita a implementação de novos benefícios, como já citados no Capítulo 2.

O sistema de localização em tempo real pode ajudar durante catástrofes e pandemias, de tal forma que os hospitais consigam melhorar a administração de leitos, equipes de saúde, equipamentos etc. Além disso, os hospitais de uma região podem estabelecer parcerias para obter uma melhor resposta aos surtos e conseguir explorar pontos fortes de cada um (D'SOUZA; MA; NOTOBARTOLO, 2011). Ademais, os pacientes podem ser encaminhados de forma mais controlada, evitando filas desnecessárias.

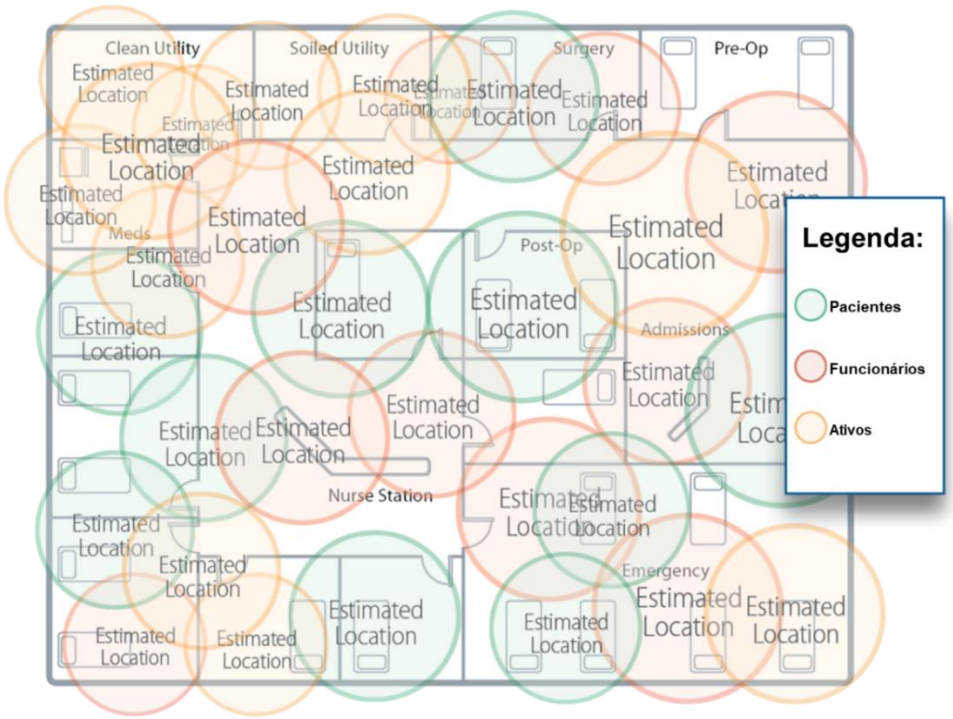
3.4.1 A Precisão da Tecnologia no Benefício de Todos

Uma das premissas de um novo projeto de RTLS é definir o nível de exatidão que o sistema deverá entregar. Esse requisito irá direcionar quais equipamentos serão utilizados, quantidade de receptores, locais de instalação etc. Para isso são necessários ao menos cinco níveis de precisão do sistema (CENTRAK, 2020a):

- Localização em pontos de entrada ou saída: são utilizados dispositivos nas entradas e saídas dos departamentos e, dessa forma, identificar por onde a *tag* passou;
- Localização baseada em presença: o sistema consegue informar se a *tag* está ou não dentro de uma determinada área pré-definida;
- Localização no nível da sala: é possível identificar em qual a sala que a *tag* se encontra, facilitando a localização;
- Localização no nível de sub-sala: é possível determinar a localização da *tag* dentro de um ambiente, e saber, por exemplo, quanto tempo um enfermeiro esteve com determinado paciente em um local com vários pacientes;
- Localização precisa: é possível encontrar a localização mais exata da *tag*, por exemplo, para descobrir a prateleira na qual o dispositivo se encontra e a qual altura está do chão. A atualização da informação no sistema ocorre em segundos.

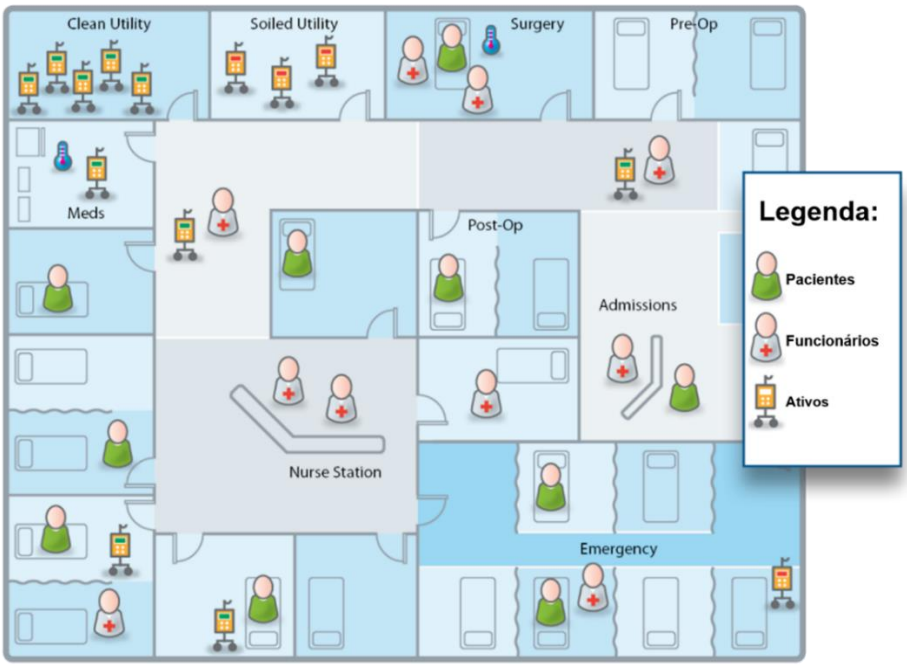
A Figura 32 representa a técnica de localização estimada, sem uma grande precisão. Já na Figura 33 tem-se uma técnica precisa com a qual é possível saber de forma quase precisa cada local.

Figura 31 – Exemplo da localização estimada



Fonte: extraído de Centrak (2020a)

Figura 32 – Exemplo de localização precisa



Fonte: extraído de Centrak (2020a)

Outros pontos também devem ser considerados no momento da decisão da empresa que implantará o sistema. O RTLS demandará tempo de implementação, custo, treinamento, entre outros. A empresa Centrak (2020a) considera mais alguns pontos que são importantes nas decisões:

- Avaliar se o fornecedor é financeiramente estável para garantir suporte, como substituição de peças, *upgrade* de softwares e hardwares, entre outros, uma vez que todo este sistema permanecerá por anos no estabelecimento;
- Ter bem definidos os objetivos do sistema, pois a partir disso é que se alcançará os resultados desejados, e objetivos diferentes exigem outras soluções;
- Ter mapeado os objetivos a longo prazo para poder utilizar equipamentos escalonáveis e garantir a satisfação;
- Verificar a compatibilidade entre os sistemas atuais com os novos, a fim de evitar problemas com os funcionários e sistemas distintos para cada atividades. O novo sistema deve se integrar ao atual ou substitui-lo;

- Levar em conta que a tecnologia empregada seja atual e que a empresa consiga se adaptar as novas mudanças, e assim evitar implantar um novo sistema, porém já defasado tecnologicamente;
- Considerar os custos dos equipamentos e das instalações. Adaptações nas instalações e infraestrutura podem sem mais complexas e custosas do que o inicialmente estimado.

3.5 A Tecnologia RTLS e seus Resultados

Através das possibilidades que a tecnologia RTLS pode propiciar com seu monitoramento constante, precisão nos resultados e alertas automáticos, será apresentado alguns ganhos alcançados com a utilização desse sistema.

3.5.1 O Auxílio do RTLS na Higienização

Estudos mostram que existe um aumento nas taxas de infecção na área da saúde, trazendo complicações para o paciente, (podendo levá-lo à morte), aumento no tempo de internação, dificuldades financeiras, além do aumento dos gastos das unidades. Um dos fatores fundamentais para diminuir as infecções é o aumento da higienização das mãos (BASLYMAN et al., 2014).

A questão da melhor e mais constante higiene das mãos tomou maior importância devido a pandemia do *Covid*-19, na qual essa realização reduz o contágio pelo contado das mãos. O Ministério da Saúde (2020) orienta que “lave com frequência as mãos até a altura dos punhos, com água e sabão, ou então higienize com álcool em gel 70%”. Nesse contexto a tecnologia pode ajudar essa prática nos centros hospitalares que implementaram o RTLS.

Um estudo realizado em hospitais acadêmicos de duas unidades de transplante de múltiplos órgãos mostrou que após a implantação do sistema RTLS para monitorar os funcionários, e a utilização de dispensadores de álcool e sabão para higiene das mãos, foram obtidos aumento na sua utilização. Essa mesma pesquisa informa que o efeito *Hawthorne* (mudança de comportamento devido à consciência de estar sendo observado) apresentou essa diferença nos resultados. O fato é que se tem um resultado positivo para o paciente (SRIGLEY; FURNESS; BAKER; GARDAM, 2014).

Outro estudo que monitorava todas as entradas e saídas das pessoas nos quartos com internações e que possuíam dispensadores de álcool gel 70% mostrou

um aumento de 41% na higienização das mãos. Desse modo a taxa de infecções hospitalares chegaram a uma redução de 48%. Esses números mostram a importância de aliar a tecnologia com a saúde (SWOBODA et al., 2004).

O funcionamento do sistema dá-se com a utilização de sensores para cada profissional, paciente, nos ativos e nos dispensadores de álcool e utilizará a tecnologia RTLS. Todos esses dispositivos se comunicam com um *software* de mecanismo de posicionamento instalado no servidor (BASLYMAN et al., 2015). Com isso são criadas regras especificas para cada cenário e o sistema detectará a aproximação do funcionário ao *dispenser* e se esse foi acionado. Um exemplo para essa situação é na entrada e saída do quarto dos pacientes, o profissional deve higienizar as mãos.

Dessa forma, uma tecnologia que a princípio foi desenvolvida para outro fim possibilita bons hábitos a todos, garantindo uma melhor qualidade aos pacientes, menores riscos de infecções e reduções de custos para o hospital.

3.5.2 RTLS no auxílio de Pessoas com Dificuldades na Comunicação

Os centros hospitalares podem receber pessoas das mais variadas idades, desde os recém-nascidos até os mais idosos. Os bebês são pacientes vulneráveis que podem estar em um hospital, e uma melhor segurança é importante para a o bem estar da mãe e do recém-nascido.

Para prover essa segurança os bebês, ao nascerem, recebem uma *tag* em forma de pulseira, que é associada à *tag* da mãe. Um sistema extra de segurança é adicionado ao RTLS, no qual se cria camadas invisíveis de proteção ao redor de cada área do hospital, como o quarto da mãe, o berçário, a maternidade e pontos de entrada/saída, criando-se cercas virtuais. Se uma das *tags* deixar essas áreas sem autorização, alertas automáticos são enviados aos membros da equipe (LITUM TECHNOLOGIES, 2020).

No *software* é configurado que apenas a mãe e enfermeiros autorizados podem transportar o bebê para fora de uma cerca virtual. Com essas configurações, caso um bebê seja levado sem autorização, as travas das portas são acionadas e os elevadores paralisados de forma automática, alarmes são disparados e as câmeras do determinado ambiente serão acionadas para localizar a pessoa com o bebê. O sistema também pode identificar se há uma tentativa de troca de *tag* ou se o contato com a pele foi interrompido (LITUM TECHNOLOGIES, 2020; CENTRAK, 2020b).

Esse sistema também pode ser adaptado para outras situações, como hospitais que cuidam de pacientes que apresentam algum tipo de deficiência cognitiva e tem boa mobilidade. Sendo assim, o sistema de segurança impedirá que o paciente saia das cerca virtual.

3.5.3 Quedas de Pacientes Monitoradas por Dispositivos

Um fato que pode ocorrer em qualquer lugar e em um hospital não é diferente, são as quedas de pessoas. Em hospitais existem alguns agravantes relacionados a pacientes debilitados, que costumam cair de sanitários sozinhos ou das suas camas. Esse é um ponto a mais de atenção que uma equipe precisa lidar, principalmente com pacientes sem acompanhantes nos quartos.

Nos EUA um terço da população acima dos 65 anos cai todo ano e 30% deles tem lesões moderadas a graves que necessitam de internação. Os pacientes residentes em hospitais de longa duração têm duas vezes mais chances de caírem dos que estão vivendo na comunidade. Em hospitais de tratamentos gerais as quedas acontecem durante a mudança de turno dos enfermeiros e quando o paciente tenta sair da cama para a cadeira de rodas ou vice-versa (BOWEN; CRAIGHEAD; WINGRAVE; KEARNS, 2010). Dessa forma, um maior controle desses acidentes garante uma melhor segurança do paciente e que ele não estenda seu tempo de internação por outros motivos.

Para identificar as quedas de pacientes é necessário *tags* especificas que consigam identificar as alterações de altura e movimento brusco. No mercado são poucos modelos disponíveis, porém Sewio (2020b) apresenta uma *tag* UWB com uma unidade inercial de nove eixos para detecção que consegue perceber impacto, quedas, saltos, orientação 3D etc., contendo giroscópio, magnetômetro e acelerômetro.

Já Bowen; Craighead; Wingrave; Kearns (2010) informam em seu estudo que foi possível identificar quedas com o uso da tecnologia UWB com precisão. Dessa forma um hospital que implementar o RTLS baseado no UWB é possível criar regras no software para identificar as quedas.

3.5.4 RTLS no Auxílio do Tratamento da Covid-19 em Hospitais

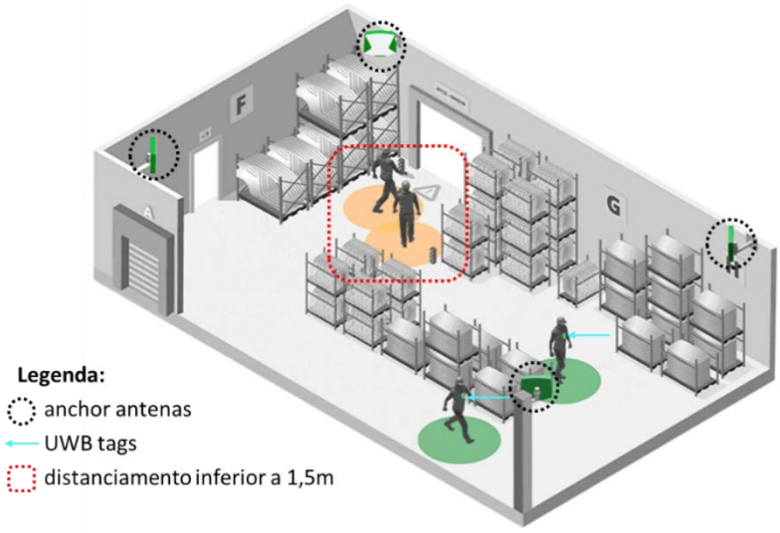
No início de 2020 o mundo foi surpreendido com uma pandemia na qual as pessoas da geração atual nunca haviam passado. O Covid-19 trouxe novas formas de viver, distanciamento social é uma realidade na maioria dos países e uma das áreas com maiores probabilidades de contágio é a saúde.

Umas das técnicas também utilizadas para reduzir o risco de contágio é a correta higienização das mãos de forma recorrente. Essa simples ação tem um papel significativo para conter a disseminação da doença, além das infecções comentadas anteriormente.

Dessa forma a tecnologia RTLS pode ajudar na prevenção da Covid-19, pois essa tecnologia se mostra promissora em relação aos métodos convencionais de rastreamento, e durante a pandemia foi possível avaliar a eficácia do RTLS (HO et al. 2020). Esse estudo incentiva a implantação de tecnologias IoT nos hospitais e mostrar que os gastos podem ser considerados como investimentos para todos.

Para a aplicação do RTLS no distanciamento social e higienização das mãos não é necessário um hardware específico, sendo que o sistema implementado para outras finalidades podem ser adequado para essas funcionalidades, desde que os dispositivos instalados atendam às necessidades para o que se espera (BARABAS; ZALMAN; KOCHLAN, 2020). Assim, para conseguir monitorar a higienização das mãos é necessário que o dispenser de álcool ou sabão tenha sensores que sinalizem a utilização, e para que seja emitido um sinal de *bip* na *tag*, ele deverá incorporar essa funcionalidade. Na Figura 34 tem-se um exemplo do funcionamento do distanciamento social.

Figura 33 – Distanciamento social monitorado pelo RTLS



Fonte: extraído de Sewio (2020c) e adaptado pelo autor

Além do distanciamento social e higienização das mãos a tecnologia RTLS pode prover outros benefícios durante a pandemia, principalmente nos momentos mais críticos com a alta ocupação dos leitos. Um hospital do Texas (EUA) conseguiu economizar duas horas e quarenta minutos na alta de cada paciente, através de uma plataforma inteligente que dispara avisos para as áreas de limpeza no momento que o paciente deixa o hospital (retirada da pulseira com *tag*) e dessa forma a entrada do próximo paciente é antecipada (HEALTHCARE IT NEWS, 2020a). Essa técnica pode ser implementada para adiantar as internações com pacientes com Covid-19 e ainda a salvar vidas.

Já o hospital Wake Forest Baptist Health nos EUA utilizou a sua rede existente do RTLS para identificar se funcionários e pacientes passaram por regiões com risco de contágio por doenças transmissíveis pelo ar de forma rápida. Dessa forma foi possível isolar essas pessoas e monitorá-las e, diariamente, é gerado um relatório automático com essas informações. Essa implementação foi motivada pelo surto de Ebola em 2014, mas mostra a possibilidade de novas funcionalidades para cuidados com a pandemia (HEALTHCARE IT NEWS, 2020b).

Apesar de o RTLS trazer benefícios a todos durante a pandemia, uma realidade está prestes a acontecer em vários hospitais. Devido aos aumentos de gastos em consequência da pandemia, as organizações de saúde estão dedicando uma parte considerável de seus fundos para a compra de equipamentos e materiais para combater o Covid-19, e o RTLS normalmente não se enquadra na categoria de

recursos essenciais (MARKETS AND MARKETS, 2020). Dessa forma, é possível que alguns projetos só sejam implementados após o término da pandemia do Covid-19.

3.6 RTLS e a Redução de Custos

Em grande parte das empresas os investimentos em novas tecnologias têm uma ligação com o retorno financeiro. Na área da saúde não é diferente, os hospitais buscam reduzir seus custos com a implementação de novas tecnologias. Nesse sentido é considerado se o projeto é viável ou não.

Alguns hospitais já começaram a divulgar seus resultados após a implementações de novas soluções. Um hospital do Texas, EUA, implementou um sistema RTLS para aumentar a eficiência no momento da alta dos pacientes, informando diversas áreas para realizarem suas atividades. Após 12 meses o resultado foi o aumento de US$ 351.000,00 em receita com uma melhor utilização dos seus leitos, pois foi reduzido o tempo que o leito ficava aguardando o próximo paciente (HEALTHCARE IT NEWS, 2020a).

Outro caso de sucesso ocorreu em um hospital da Califórnia, EUA, no qual foram instalados em dois campis o sistema RTLS para gerenciamento de ativos. Após o primeiro ano houve um aumento na utilização dos equipamentos e gerou uma economia de US$ 32.594,00 em aluguéis, e ocorreu uma redução em equipamentos perdidos ou roubados, que gerou US$ 150.000,00 a menos nos gastos. Além disso, ocorreu uma redução na compra de materiais no valor de US$ 128.000,00 (CENTRAK, 2021).

O hospital Stamford nos EUA, implementou um sistema de RTLS a fim de fornecer a localização dos pacientes, monitorar a interação entre equipe de saúde e pacientes e oferecer uma notificação de alta hospitalar em tempo real. O sistema implementado informa os responsáveis pela limpeza e organização do quarto no momento da alta do paciente e iniciam os trabalhos. Dessa forma, o hospital conseguiu economizar US$ 627.412,00 em sete meses com uma ocupação mais rápida dos leitos (HEALTH FACILITIES MANAGEMENT, 2021).

Sendo assim, um sistema precisa ser viável para a instituição e deve haver um ROI para ser aceito pelos dirigentes.

Para (AIRFINDER, 2017), a tecnologia RTLS pode trazer ROI nos seguintes aspectos:

- evitar despesas com compras desnecessárias, pois todos os equipamentos são monitorados a fim de saber a utilização;
- aumentar a utilização do ativo sabendo onde ele está, além de saber se está fora de serviço e quanto tempo está em manutenção;
- melhorar o fluxo de paciente para que os equipamentos fiquem menos tempo parado e assim aumentar a receita;
- com um paciente utilizando um crachá fica fácil localizá-lo para incrementar a agilidade e eficiência em seu atendimento;
- facilidade de rastrear o funcionário mais próximo para executar a tarefa, evitando chamar um que esteja muito distante;
- reduz os gastos com aluguéis desnecessários.

Em suma, é possível considerar que o RTLS consiga trazer retornos financeiros para as instituições. O retorno do sistema apresenta várias variáveis, pois depende das funcionalidades que o hospital pretende implementar, além do grau de eficiência que a unidade tem antes da implementação. O fato é que existem margens financeiras a serem exploradas.

3.7 A IoT e as Novas Experiências

A cada dia os pacientes desejam experiências mais agradáveis e tranquilas nos hospitais. Com as novas tecnologias inteligentes é possível conseguir orientações automáticas nos estacionamentos e dentro dos edifícios, todo histórico do paciente digitalizado e atualizado em tempo real e todas as partes interessadas envolvidas podem acessar esses registros. Com isso, o paciente pode resolver seu problema em um menor tempo (SD GLOBAL, 2018). Ainda por cima, paciente pode experimentar situações em que não estejam relacionadas com segurança, agilidade e organização das instituições.

Foi realizado um estudo em um hospital dos EUA a fim de descobrir o que os pacientes gostariam que estivessem em seus quartos. O resultado foi que a maioria tinha interesse em saber quem eram os membros da equipe, o que precisavam para receber alta, em resumo gostariam de orientações personalizadas para cada paciente e familiares (PATIENT ENGAGEMENT HIT, 2020a).

Com essas informações o hospital construiu um novo prédio, e nos quartos oferecem sistema de entretenimento e um sistema para aprender mais sobre seus

próprios prontuários. Além disso, os quartos apresentam mais dispositivos de monitoramento, por meio dos quais a família e a equipe médica obtêm mais informações sobre a saúde em tempo real (PATIENT ENGAGEMENT HIT, 2020a).

Em setembro de 2020 foi inaugurado um hospital nos EUA que foi todo planejado no conceito de hospital inteligente. As tecnologias foram incorporadas na maioria das etapas para que ocorra uma maior experiência e facilidade para o paciente. Em sua maior parte, a tecnologia foca em capacitar pacientes a participarem de seus cuidados e que eles recebam informações das equipes sobre seus cuidados. Nesse sistema o paciente pode solicitar refeições *online*, agradecer as equipes de forma eletrônica e até assistir a uma missa da capela do hospital (PATIENT ENGAGEMENT HIT, 2020b).

Segundo o SD Global, 2019, os hospitais precisam envolver melhor os pacientes em uma nova experiência, a fim de ajudar no bem estar e uma melhor recuperação. Sensores e softwares monitoram pacientes e locais, alertas podem ser enviados caso ultrapassem os limites através de aplicativos, gerenciamento de todas as instalações e monitoramento remoto estão a trabalhar em prol do paciente.

Com relação ao bem estar o SD Global, 2019 cita alguns benefícios de um quarto inteligente:

- dispositivos médicos ao lado do paciente para que médicos possam acessar todo o histórico;
- através das câmeras e sensores a equipe de enfermagem consegue monitorar remotamente e atuar mais rápido caso algo seja identificado;
- videoconferência entre médicos e pacientes nos leitos;
- dados sendo transmitidos em tempo real para avaliar constantemente as estatísticas vitais;
- pacientes podem ajustar iluminação, temperatura, cortinas através de *tablets*;
- sistema de entretenimento com TV, rádio e Internet;
- avarias são identificadas automaticamente e equipes são acionadas para tratá-las.

Nesse sentido, a implementação de soluções proveniente da IoT traz inteligência na área da saúde com possibilidades de ganhos para todos. Já os

pacientes são beneficiados com uma possibilidade maior de recuperação e um tempo menor, além de um maior conforto na internação.

3.8 Considerações do Capítulo

O conceito do emprega da IoT em um hospital inteligente pode ser melhor compreendido após a leitura deste capítulo, pois o seu conceito e justificativas associadas foram detalhados,

Além disso, foi explanado como a tecnologia RTLS é empregada nos hospitais inteligentes e como ela pode auxiliar no dia a dia da unidade. Outras técnicas que podem ser utilizadas através da RTLS, além da localização em tempo real, foram apresentadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Conclusões

Como principal conclusão deste trabalho tem-se que a IoT é uma grande aliada à área de saúde, podendo ter um foco maior nos centros hospitalares. Os benefícios; podem ser percebidos tanto por pacientes e equipe médica, como por administradores e governos.

Os pacientes contam com uma medicina mais ágil, segura e preventiva, minimizando as chances de tratamentos mais complexos e custosos. Ainda por cima, existe a possibilidade de acompanhamento a distância e de forma *online*, que contribui para recuperações mais rápidas e precisas, sem o risco de contaminação hospitalar.

Também se demonstrou que dentro dos hospitais acontecem importantes modificações no momento que a tecnologia é implementada. Métodos de trabalho de forma manual são substituídos por tecnologia inteligentes, possibilitando que os profissionais foquem em suas atividades especificas. Além disso, a eficiência é elevada a um novo patamar e os desperdícios são reduzidos.

Destacou-se também que o advento da IoT trouxe a tecnologia RTLS aos centros hospitalares, a qual possibilita a localização de pessoas, equipamentos, insumos, entre outros, dentro das dependências dos hospitais. Tal tecnologia propicia introduzir novas funcionalidades atreladas a localização em tempo real, como controle de quedas, cercas virtuais para controlar passagens de pessoas e controlar utilização de *dispensers*.

Isso provém da IoT, cujos sensores coletam e enviam dados a todo momento. Tais informações são processadas, armazenadas e analisadas de forma automática. Quando uma informação coletada não condiz com os valores aceitáveis, o sistema envia uma notificação ou aciona outros sistemas para advertir determinados grupos de pessoas.

Foram trazidas algumas oportunidades que foram introduzidos com o advento do RTLS. Uma delas tem destaque para o momento em que a humanidade está a passar, a pandemia do Covid-19. A higienização das mãos é uma das maneiras a se prevenir o contágio, além do distanciamento social. Tendo em vista essa necessidade, o hospital pode monitorar se as pessoas estão utilizando os *dispensers* de sabão e álcool na entrada e saída de cada ambientes e a distância segura entre cada um.

Inclusive monitorar pessoas não autorizadas estão em áreas destinadas ao tratamento do Covid-19.

Embora a prevenção da disseminação seja importante, mostrou-se também a importância que o sistema oferece a pessoas com deficiência de comunicação. Pode-se citar a importância de que um bebê não possa se locomover se estiver com os pais ou o enfermeiro que está autorizado a conduzi-lo. E para protegê-los são criadas cercas virtuais na enfermaria e alarmes são acionados automaticamente caso as regras sejam violadas.

Do mesmo modo, levantou-se a possibilidade para monitoramento de quedas de pacientes. Tal procedimento envia uma mensagem para o sistema quando a *tag* (do paciente) identifica uma mudança brusca em seus sensores. Dessa forma, evita-se que o paciente fique por muito tempo aguardando o socorro.

Não só apenas benefícios para o paciente o RTLS traz, foram trazidas também informações sobre a redução de custo que a tecnologia propiciou em alguns hospitais. Sendo assim, o gasto para implementar será retornado juntamente com os benefícios da agilidade, diminuição de desperdício, melhor higienização, entre outros.

Portanto, o RTLS possibilita que os centros hospitalares se estabeleçam em um novo paradigma, que pode se tornar referência para os demais, para a sociedade e governo.

4.2 Contribuições do Trabalho

O debate sobre assuntos relacionados a novas tecnologias para a saúde, vindo do advento da IoT e do RTLS foram apresentados a fim de ilustrar seus benefícios. Para isso, foi fundamental reunir diversas fontes qualificadas para cada assunto.

Dessa forma, o resultado foi reunir em um único trabalho diversas informações que permite uma melhor análise um que possa produzir uma solução viável para a implantação, possibilitando que a tecnologia beneficie mais a população.

4.3 Trabalhos Futuros

Como perspectivas para futuros trabalhos, sugere-se alguns temas que fizeram parte do escopo deste trabalho.

Um destes temas é o atendimento à Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD - 13.709/2018) que regula as atividades de tratamento de dados pessoais. Ao

vazamento dos dados dos pacientes pode trazê-lo prejuízos e aborrecimentos e originar processos contra os hospitais.

Também se sugere um estudo relacionado a segurança das tecnologias empregadas nos sistemas hospitalares, pois se está cuidando de vidas.

Outra sugestão que se propõe é um estudo mais aprofundado sobre as tecnologias que pode ser utilizada para implantar o RTLS (Wi-Fi*, Bluetooth Low Energy, Ultra Wideband* e RFID). Com isso, auxiliará no estudo de futuras implementações de projetos RTLS, contribuindo para uma possível disseminação da tecnologia.

REFERÊNCIAS

3GPP. **LTE**. 2020. Disponível em: https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte . Acesso em: 11 out. 2020.

AFANEH, M. **How Bluetooth Low Energy Works**: 21 interesting facts. Novel Bits. 2020. Disponível em: https://www.novelbits.io/how-bluetooth-low-energy-works-21-interesting-facts/ . Acesso em: 28 abr. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Ato n. 1379**, de 28 de fevereiro de 2019. Alterar os itens 6.2.5, 13.1 e 13.1.1 do Anexo I ao Ato Nº 14.448, de 04 de dezembro de 2017, que aprovou os Requisitos Técnicos para a Avaliação da Conformidade de Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.anatel.gov.br/legislacao/index.php/component/content/article?id=1244 . Acesso em: 07 out. 2020.

AIRFINDER. **Calculating the ROI of RTLS In Healthcare**. Estados Unidos da América, 2017. Disponível em: https://www.airfinder.com/blog/calculating-return-on-investment-rtls-healthcare . Acesso em: 08 jan. 2021.

ALVES, L. Y. M. **Explorando Internet das Coisas e Inteligência Artificial no contexto de Saúde em Casas Inteligentes: uma abordagem física e emocional.** 2019. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. DOI: https://doi.org/10.11606/T.55.2019.tde-07102019-102944 . Acesso em: 2020-09-14.

ANEE, R.; KARMAKAR, N. C. Chipless RFID Tag Localization. **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.** v. 61, n. 11, p. 4008-4017, 2013. DOI: https://doi.org/10.1109/TMTT.2013.2282280

ARCHER SOFTWARE. **What is a Smart Hospital and how to build your own solution?** 2020. Disponível em: https://archer-soft.com/blog/what-smart-hospital-and-how-build-your-own-solution . Acesso em: 19 out. 2020

ARUBA NETWORKS. **A IoT relacionada à assistência à saúde está melhorando o cuidado ao paciente e o ROI dos provedores de saúde.** 2020. Disponível em: https://www.arubanetworks.com/br/resource/a-iot-relacionada-a-assistencia-a-saude-esta-melhorando-o-cuidado-ao-paciente-e-o-roi-dos-provedores-de-saude/ . Acesso em: 18 out. 2020.

ATRIA. **Sistemas de localización en interiores.** Espanha, 2020. Disponível em: https://www.atriainnovation.com/sistemas-localizacion-interiores/ . Acesso em: 13 out. 2020.

ATZORI, L; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks.** v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO (Brasil); MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (Brasil). **Produto 1: benchmark de iniciativas e políticas públicas.** Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2017a. 227 p. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/7690 . Acesso em: 10 set. 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO (Brasil); MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (Brasil). **Produto 2: Roadmap tecnológico.** Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2017b. 286 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/458b7552-b119-4c5b-9374-9556355fcc76/Produto-2B-relatorio-roadmap-tecnologico-completo.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m4uYurA . Acesso em: 09 out. 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO (Brasil); MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (Brasil). **Produto 7B: Aprofundamento de Verticais – Saúde.** Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2017c. 64 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/9e481a5b-a851-4895-ba7f-aa960f0b69a6/relatorio-aprofundamento-das-verticais-saude-produto-7B.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m3mTltg . Acesso em: 09 out 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO (Brasil); MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (Brasil). **Produto 9a: Relatório Final do Estudo.** Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2018. 95 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/d22e7598-55f5-4ed5-b9e5-543d1e5c6dec/produto-9A-relatorio-final-estudo-de-iot.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m5WVIld . Acesso em: 10 set. 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO (Brasil); MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (Brasil). **Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil.** Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2020. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil . Acesso em: 09 out.2020.

BARABAS, J.; ZALMAN, R.; KOCHLAN, M. Automated evaluation of COVID-19 risk factors coupled with real-time, indoor, personal localization data for potential disease identification, prevention and smart quarantining. 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). **Proceedings ...** p. 645-648, 2020. DOI: 10.1109/TSP49548.2020.9163461

BARROSO, V. P. B. **Posicionamento colaborativo em redes Wi-Fi: Where@UM2.** 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2018. Disponível em: http://hdl.handle.net/1822/42024 . Acesso em: 13 out. 2020.

BASLYMAN, M.; REZAEE, R.; AMYOT, D.; MOUTTHAM, A.; CHREYH, R.; GEIGER, G. Towards an rtls-based hand hygiene notification system. **Procedia Computer Science.** v. 37, p. 261-265, 2014.

BASLYMAN, M.; REZAEE, R.; AMYOT, D.; STEWART, A.; SADER, S. Real-time and location-based hand hygiene monitoring and notification: proof-of-concept system and experimentation. **Pers Ubiquit Comput.** v. 19, n. 3-4, p. 667-688, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s00779-015-0855-y

BAXTER C.; CARROLL JA.; KEOGH B.; VANDELANOTTE C. Assessment of Mobile Health Apps Using Built-In Smartphone Sensors for Diagnosis and Treatment: Systematic Survey of Apps Listed in International Curated Health App Libraries. **JMIR Mhealth Uhealth**, v. 8, n. 2, e. 16741, 2020, DOI: https://doi.org/10.2196/16741

BOULOS, K. M.,N.; BERRY, G. Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: a condensed primer. **International Journal of Health Geographics**, London, v. 11, p. 25, 2012. DOI: https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-25

BOWEN, M. E.; CRAIGHEAD, J.; WINGRAVE, C. A.; KEARNS, W. D. Real-Time Locating Systems (RTLS) to Improve Fall Detection. Rehabilitation and Mental Health Counseling Faculty Publications. **Gerontechnology.** v. 9, n. 4, p. 464-471, 2010.

BURMAOGLU, S.; SARITAS, O.; KIDAK, L.B.; BERBER, İ. C. Evolution of connected health: a network perspective. **Scientometrics,** v. 112, n. 3, p. 1419-1438, 2017, DOI: https://doi.org/10.1007/s11192-017-2431-x

CENTRAK. **Now that's a fast ROI!** 2021. Disponível em: https://centrak.com/now-thats-fast-roi/ . Acesso em: 06 jan. 2021.

CENTRAK. Real Time Location Services. **Most Accurate Hospital Infant Security System.** 2020b. Disponível em: https://centrak.com/solutions/newbaby-infant-protection/ . acesso em: 20 out. 2020.

CENTRAK. Real Time Location Services. **Real-time location system for hospitals: improving facilities for patients and staff.** 2020a. Disponível em: https://centrak.com/products/real-time-location-services/#rtls1 . acesso em: 20 out. 2020.

CHUNG, Y.; AHN, J. Y.; DU HUH, J. Experiments of A LPWAN Tracking (TR) Platform Based on Sigfox Test Network. 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). **Proceedings ...** p. 1373-1376, 2018. DOI: https://doi.org/10.1109/ICTC.2018.8539697

COMAN, F. L.; MALARSKI, K. M.; PETERSEN, M. N.; RUEPP, S. Security Issues in Internet of Things: Vulnerability Analysis of LoRaWAN, Sigfox and NB-IoT. Global IoT Summit (GIoTS). **Proceedings ...** p. 1-6, 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/GIOTS.2019.8766430

DAI, H.; ZHENG, Z.; ZHANG, Y. Blockchain for Internet of Things: A Survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 5, p. 8076-8094, Oct. 2019. DOI: 10.1109 / JIOT.2019.2920987

DELLALIBERA, L. A. **Técnicas de múltiplo acesso para redes LORAWAN**. 2018. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Câmpus Experimental de São João da Boa Vista, 2018. Disponível em: http://hdl.handle.net/11449/156791 . Acesso em: 11 out. 2020.

DHAR, S. K.; BHUNIA, S. S.; MUKHERJEE, N. Interference Aware Scheduling of Sensors in IoT Enabled Health-Care Monitoring System. 2014 Fourth International Conference of Emerging Applications of Information Technology, **Proceedings ...** p. 152-157, 2014, DOI: https://doi.org/10.1109/EAIT.2014.50

DHARIWAL, K.; MEHTA, A. Architecture and Plan of Smart hospital based on Internet of Things (IOT**). International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 4, n. 4, p. 1976-1980, 2017.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **Retorno sobre investimento – ROI. O que é ROI?** Brasil, 2021. Disponível em: https://www.dicionariofinanceiro.com/retorno-sobre-investimento/ . Acesso em: 08 jan. 2021.

D'SOUZA, I.; MA, W.; NOTOBARTOLO, C. Real-Time Location Systems for Hospital Emergency Response. **IT Professional**, v. 13, n. 2, p. 37-43, 2011, DOI: https://doi.org/10.1109/MITP.2011.31

DUROC, Y., KADDOUR, D. RFID Potential Impacts and Future Evolution for Green Projects. **Energy Procedia**. v. 18, p. 91-98, 2012.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report junho 2020.** Suécia. 2020. Disponível em:https://www.ericsson.com/pt/mobility-report/reports/june-2020 . Acesso em 15 out. 2020.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report.** Suécia. 2019. Disponível em: https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf . Acesso em: 12 out. 2020.

ERICSSON. **NB-IoT: a sustainable technology for connecting billions of devices.** Suécia. 2016. Disponível em: https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/nb-iot-a-sustainable-technology-for-connecting-billions-of-devices . Acesso em: 12 out. 2020.

ETSI (França). **2nd Generation (GERAN).** 2020a. Disponível em: https://www.etsi.org/technologies/mobile/2g?jjj=1602440963144 . Acesso em: 11 out. 2020.

ETSI (França). **4th Generation (LTE).** 2020b. Disponível em: https://www.etsi.org/technologies/mobile/4g . Acesso em: 11 out. 2020.

FAUDZI, N.; ALI, M. T; ISMAIL, I.; JUMAAT, H.; SUKAIMI, N. A compact dipole UHF-RFID tag antenna. IEEE International RF and Microwave Conference (RFM). Penang, **Proceedings ...** p. 314-317. 2013. DOI: https://doi.org/10.1109/RFM.2013.6757274

FERNANDES, A. S. L. **Comunicação Ad Hoc em Equipas de Robôs Móveis Utilizando a Tecnologia ZigBee.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2012. Disponível em: https://home.isr.uc.pt/~davidbsp/publications/supervision/2012_09_Tese_Mestrado_AFernandes.pdf . Acesso em: 10 out. 2020.

FERRO, E.; POTORTI, F. Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: a survey and a comparison. **IEEE Wireless Communications**. v. 12, n. 1, p. 12-26, 2005. DOI: https://doi.org/10.1109/MWC.2005.1404569

FIORAVANTI, C. Um diagnóstico do erro médico. **Pesquisa FAPESP,** São Paulo, n. 287, jan.2020. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/um-diagnostico-do-erro-medico/ . acesso em: 17 out. 2020.

FRIAS, R. N. **ZigBee**. Teleco, 2004. 5 p. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/default.asp . Acesso em: 10 out. 2020.

GARCIA, P. S. R.; KLEINSCHMIDT, J. H. Tecnologias emergentes de conectividade na IoT: Estudo de redes lpwan. XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais. **Proceedings ...** p. 1009-1013, 2017. DOI: 10.14209/SBRT.2017.141

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p. Disponível em: http://www.uece.br/nucleodelinguasitaperi/dmdocuments/gil_como_elaborar_projeto_de_pesquisa.pdf. Acesso em: 23 nov. 2020

GPS.GOV. **Constellation Arrangement.** Estados Unidos da America. 2020. Disponível em: https://www.gps.gov/systems/gps/space/ . Acesso em: 13 out. 2020.

GS1. **EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz**. 2008. Disponível em: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhfc1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf . Acesso em: 07 out. 2020

GS1. **Internet of Things (IoT).** 2020. Disponível em https://www.gs1.org/standards/internet-of-things . Acesso em: 25 set. 2020.

GSMA. **Extended Coverage – GSM – Internet of Things (EC-GSM-IoT).** 2020. Disponível em: https://www.gsma.com/iot/extended-coverage-gsm-internet-of-things-ec-gsm-iot/ . Acesso em: 11 out. 2020.

GU, G.; PENG, G. The survey of GSM wireless communication system. **2010** International Conference on Computer and Information Application. Tianjin, **Proceedings ...** p. 121-124, 2010. DOI: https://doi.org/10.1109/ICCIA.2010.6141552

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S., PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems.** v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

GUPTA, P.; AGRAWAL, D.; CHHABRA, J.; DHIR, P. K. IoT based smart healthcare kit. **International Conference on Computational Techniques in Information and Communication Technologies**, p. 237-242, 2016, DOI: https://doi.org/10.1109/ICCTICT.2016.7514585

HEALTH FACILITIES MANAGEMENT. **RTLS provides efficiency, cost-cutting benefits to hospital and staff**. 2017. Disponível em: https://www.hfmmagazine.com/articles/3049-rtls-provides-efficiency-cost-cutting-benefits-to-hospital-and-staff . Acesso em: 07 jan. 2021.

HEALTH IT OUTCOMES. **Roadmap to smart hospital:** step-by-step guide to the future of care. 2019. Disponível em: https://www.healthitoutcomes.com/doc/roadmap-to-smart-hospital-step-by-step-guide-to-the-future-of-care-0001 . Acesso em: 18 out. 2020.

HEALTHCARE IT NEWS**. How Wake Forest Baptist Health uses RTLS to protect against communicable disease**. 2020b. Disponível em: https://www.healthcareitnews.com/blog/how-wake-forest-baptist-health-uses-rtls-protect-against-communicable-disease . Acesso em 25 out. 2020.

HEALTHCARE IT NEWS. **RTLS helps Texas hospital save big time – and money – on patient discharge.** 2020a. Disponível em: https://www.healthcareitnews.com/news/rtls-helps-texas-hospital-save-big-time-and-money-patient-discharge . Acesso em 25 out. 2020.

HID GLOBAL. **Beacons e gateways BLE da HID.** 2020. Disponível em: https://www.hidglobal.com.br/products/rfid-tags/identification-technologies/ble-beacons-gateways . Acesso em: 21 out. 2020.

HIGHTOWER, J.; BORRIELLO, G. **Location Sensing Techniques.** 2001. Computer Science and Engineering - University of Washington. Seattle, 2001. Disponível em: http://www.hightowerweb.org/pubs/hightower2001techniques/hightower2001techniques.pdf . Acesso em: 13 out. 2020.

HO, H.J.; ZHANG, Z.X.; HUANG, Z.; AUNG, A.H.; LIM, W.Y.; CHOW, A. Use of a real-time locating system for contact tracing of health care workers during the covid-19 pandemic at an infectious disease center in singapore: validation study. **Journal of Medical Internet Research.** v. 22, n. 5, e19437, 2020. DOI: 10.2196/19437

IDTECHEX. **RFID Forecasts, Players and Opportunities 2019-2029.** Disponível em: https://www.idtechex.com/en/research-report/rfid-forecasts-players-and-opportunities-2019-2029/700 . Acesso em: 25 Set 2020.

Ilin, I.; Iliyaschenko, O.; Konradi, A. Business model for Smart Hospital health organization. SHS Web of Conferences, **Proceedings ...** v. 44, 2018. DOI: https://doi.org/10.1051/shsconf/20184400041.

INFOSOFT. **Indoor Positioning, Tracking and Indoor Navigation with Wi-Fi.** Alemanha, 2020a. Disponível em: https://www.infsoft.com/technology/positioning-technologies/wi-fi . Acesso em: 12 nov. 2020.

INFOSOFT. **Indoor Positioning, Tracking and Indoor Navigation with Beacons.** Alemanha, 2020b. Disponível em: https://www.infsoft.com/technology/positioning-technologies/bluetooth-low-energy-beacons . Acesso em: 13 nov. 2020.

INFOSOFT. **White Paper: Indoor Positioning & Services.** Alemanha, 2019. Disponível em: https://www.infsoft.com/Portals/0/Images/solutions/basics/whitepaper/infsoft-Whitepaper-EN-Indoor-Positioning_download.pdf . Acesso em: 13 nov. 2020.

ISLAM, N; WANT, R. Smartphones: Past, Present, and Future. **IEEE Pervasive Computing**, v. 13, n. 4, p. 89-92, 2014. DOI: https://doi.org/10.1109/MPRV.2014.74

JALOUN, M; GUENNOUN, Z. Wireless Mobile Evolution to 4G Network. **Wireless Sensor Network**, v. 2 n. 4, p. 309-317, 2010. DOI: https://doi.org/10.4236/wsn.2010.24042

JOHNSON CONTROLS. **Healthcare: Smart Hospitals and Smart Healthcare Facilities.** 2020. Disponível em: https://www.johnsoncontrols.com/en_sg/solutions-by-industry/healthcare . Acesso em: 22 out. 2020.

JOHNSON CONTROLS. **Smart Hospital Whitepaper**: Your Building: An Instrument of Care. 2019. Disponível em: https://www.johnsoncontrols.com/en_sg/solutions-by-industry/healthcare/whitepaper . Acesso em: 22 out. 2020.

KENNEDY, H. L. The Evolution of Ambulatory ECG Monitoring. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 56, n. 2, p. 127-132, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pcad.2013.08.005

LANDT, J. The history of RFID. **IEEE Potentials**, v. 24, n. 4, p. 8-11, Out./Nov. 2005, DOI: 10.1109/MP.2005.1549751

LI, S.; XU, L. D.; ZHAO, S. 5G Internet of Things: A survey. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 10, p. 1-9, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.01.005.

LI, S.; XU, L. D.; ZHAO, S. The internet of things: a survey. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 243-259, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7.

LI, X.; ORTIZ, P. J.; BROWNE, J.; FRANKLIN, D.; OLIVER, J. Y.; GEYER, R.; ZHOU, Y.; CHONG, F. T. Smartphone Evolution and Reuse: Establishing a More Sustainable Model. 39th International Conference on Parallel Processing Workshops, **Proceedings ...** p. 476-484, 2010. DOI: https://doi.org/10.1109/ICPPW.2010.70

LITUM TECHNOLOGIES**. Infant tracking & protection**. Turquia. 2020. Disponível em: https://litum.com/our-solutions/infant-tracking-protection-rtls . Acesso em: 20 out. 2020.

LIU, H.; DARABI, H.; BANERJEE, P.; LIU, J. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews),** v. 37, n. 6, p. 1067-1080, Nov. 2007. DOI: 10.1109/TSMCC.2007.905750

LORA ALLIANCE**. LoRaWAN What is it?** A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™, 2015. 20 p. Disponível em: https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf . Acesso em: 08 out. 2020

LORA ALLIANCE. What is the LoRaWAN® **Specification? Topology**. 2020. Disponível em: https://lora-alliance.org/about-lorawan . Acesso em: 08 out. 2020

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of Things (IoT): A Literature Review. **Journal of Computer and Communications**, v. 03, n. 5, p. 164-173, 2015. DOI: 10.4236 / jcc.2015.35021.

MAGRINI, E. **A internet das coisas.** 1. ed. Rio de Janeiro: FGV EDITORA, 2018, 192 p. ISBN: 978-85-225-2005-3. Disponível em: http://hdl.handle.net/10438/23898 . Acesso em: 16 set. 2020.

MARKETS AND MARKETS**. Real-time location systems market (RTLS) for healthcare with COVID-19 impact analysis by offering (hardware, software, services), technology (RFID, Wi-Fi, UWB, BLE, IR, Ultrasound, others), facility type, application, geography - global forecast to 2025.** 2020. Disponível em: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/rtls-healthcare-market-19089515.html . Acesso em: 26 out. 2020.

MDHAFFAR, A.; CHAARI, T.; LARBI, K.; JMAIEL, M.; FREISLEBEN, B. IoT-based health monitoring via LoRaWAN. IEEE EUROCON 2017 -17th International Conference on Smart Technologies, **Proceedings ...** p. 519-524, 2017, DOI: https://doi.org/10.1109/EUROCON.2017.8011165

MICLO, R.; FONTANILI, F.; MARQUÈS, G.; BOMERT, P.; LAURAS, M. RTLS-based Process Mining: Towards an automatic process diagnosis in healthcare. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Gothenburg. **Proceedings ...** 2015. 1397-1402 p. Disponível em: https://doi.org/10.1109/CoASE.2015.7294294 . Acesso em: 21 out. 2020.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a Definition of the Internet of Things (IoT). IEEE Internet Initiative – Telecom, Italia. **Proceedings ...** 27 maio 2015. Disponível em: https://pt.scribd.com/doc/306069323/IEEE-IoT-Towards-Definition-Internet-of-Things-Revision1-27MAY15 . Acesso em: 07 out. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **O que é COVID-19:** Como se proteger. Brasília. 2020. Disponível em: https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#como-se-proteger . Acesso em: 23 out. 2020.

MIORANDI, D.; SICARI S.; De PELLEGRINI, F.; CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, v. 10, n. 7, p. 1497-1516, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016

MOHANTY, S. P.; CHOPPALI, U.; KOUGIANOS, E. Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, v. 5, n. 3, p. 60-70, 2016, DOI: https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2556879

NAVIGATION CENTER, **General information on gps.** Estados Unidos da America. 2020. Disponível em: https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPSmain . Acesso em: 13 out 2020

NOKIA. **IoT connectivity – understanding the options and choices.** 2017. Disponível em: https://onestore.nokia.com/asset/201050 . Acesso em: 11 out. 2020.

NOKIA. **KT, Nokia conduct world's first eMTC field trial on LTE network.** 2016. Disponível em: https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2016/01/26/kt-nokia-conduct-worlds-first-emtc-field-trial-on-lte-network/ . Acesso em: 12 out. 2020.

OLIVEIRA, V. N. P. **Processo interativo com RFID para a administração de medicamentos aos pacientes.** 2017. Tese (Doutorado) - Centro de Comunicação e Expressão, Programa de Pós-Graduação em Design - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/181589 . Acesso em: 09 out. 2020.

OPITZ, S. P. **Sistema de medicação: análise dos erros nos processos de preparo e administração de medicamentos em um hospital de ensino.** 2006. Tese (Doutorado em Enfermagem Fundamental) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006. doi:10.11606/T.22.2006.tde-11092008-163213. Disponível em: https://doi.org/10.11606/T.22.2006.tde-11092008-163213 . Acesso em: 09 out 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Departamento of Economic and Social Affair. Population Dynamics. **Word Population Prospects 2019.** 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Graphs/ . Acesso em: 18 out. 2020.

PALATTELLA, M. R.; DOHLER, M.; GRIECO, A.; RIZZO, G.; TORSNER, J.; ENGEL, T.; LADID, L. Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 34, n. 3, p. 510-527, Mar. 2016. DOI: 10.1109/JSAC.2016.2525418

PATIENT ENGAGEMENT HIT. **Building Smart Hospitals to Fulfill Patient Experience Needs**. 2020b. Disponível em: https://patientengagementhit.com/news/building-smart-hospitals-to-fulfill-patient-experience-needs . Acesso em: 06 jan. 2021.

PATIENT ENGAGEMENT HIT. **Smart Hospitals Making the Future of Patient Experience a Reality**. 2020a. Disponível em: https://patientengagementhit.com/features/smart-hospitals-making-the-future-of-patient-experience-a-reality . Acesso em: 05 jan. 2021.

PAULS, F.; KRONE, S.; NITZOLD, W.; FETTWEIS, G.; FLORES, C. Evaluation of Efficient Modes of Operation of GSM/GPRS Modules for M2M Communications.

2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Las Vegas, **Proceedings ...** p. 1-6, 2013. DOI: 10.1109/VTCFall.2013.6692200

QUALCOMM. **5G: Internet of things.** Estados Unidos da América, 2020a. Disponível em: https://www.qualcomm.com/invention/5g/internet-of-things . Acesso em: 12 out. 2020.

QUALCOMM. **5G: What is 5g.** Estados Unidos da América, 2020b. Disponível em: https://www.qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g . Acesso em: 12 out. 2020.

QUALCOMM. **Leading the lte iot evolution to connect the massive internet of things.** Estados Unidos da América, 2017. 17 p. Disponível em: https://www.qualcomm.com/media/documents/files/whitepaper-leading-the-lte-iot-evolution-to-connect-the-massive-internet-of-things.pdf . Acesso em: 12 out. 2020.

RAMYA, C. M.; SHANMUGARAJ, M.; PRABAKARAN, R. Study on ZigBee technology. 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology, Kanyakumari, **Proceedings ...** p. 297-301, abr. 2011. DOI: 10.1109/ICECTECH.2011.5942102

RATASUK, R.; MANGALVEDHE, N.; GHOSH, A.; VEJLGAARD, B. Narrowband LTE-M System for M2M Communication. 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall), Vancouver, **Proceedings ...** p. 1-5, 2014. DOI: 10.1109/VTCFall.2014.6966070

RATASUK, R.; VEJLGAARD, B.; MANGALVEDHE, N.; GHOSH, A. NB-IoT system for M2M communication. 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Doha, **Proceedings ...** p. 1-5, 2016. DOI: 10.1109/WCNC.2016.7564708

RAY, P.P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. 30, n. 3, p. 291-319, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003.

REIS, C. IoT na Saúde: o futuro já chegou. A tecnologia permite a comunicação entre equipamentos e melhora o atendimento médico, o diagnóstico preventivo de doenças e as cirurgias**. Revista Apólice**. 2018. Disponível em: https://www.revistaapolice.com.br/2018/12/iot-na-saude-o-futuro-ja-chegou/ . Acesso em: 09 out. 2020.

ROBERTS, C. M. Radio frequency identification (RFID). **Computers & Security**, v. 25, n. 1, p. 18-26, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cose.2005.12.003

RODAS, J.; BARRAL, V.; ESCUDERO, C. J. Architecture for multi-technology real-time location systems. **Sensors (Basel)**, v. 13, p. 2220–2253, 2013. DOI: https://dx.doi.org/10.3390%2Fs130202220

RODRIGUES, M.; CUGNASCA, C. E.; FILHO, A. P. Q. **Rastreamento de Veículos.** 1ª. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 124 p.

ROSE, K.; ELDRIDGE, S.; CHAPIN, L. **The internet of things: an overview** - understanding the issues and challenges of a more connected world. The Internet

Society. Suíça, p. 80, 2015. Disponível em: https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf . Acesso em: 09 out. 2020.

SADOWSKI, S.; and SPACHOS, P**.** RSSI-Based Indoor Localization With the Internet of Things. **IEEE Access**, v. 6, p. 30149-30161, 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2843325

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A.; CELES, C. S.; BORGES, J. B.; NETO, B. S. P.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática.** Belo Horizonte, MG, 2016. 60 p. Disponível em: https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf . Acesso em: 21 set. 2020.

SATIJA, U.; RAMKUMAR, B.; MANIKANDAN, M. S. Real-Time Signal Quality-Aware ECG Telemetry System for IoT-Based Health Care Monitoring. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 4, n. 3, p. 815-823, 2017, DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2670022

SCHILLER, J.; VOISARD, A. **Location-Based Services**. 1. ed. Estados Unidos da América, 2004, 255 p. ISBN: 9781558609297. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=wj19b5wVfXAC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false . Acesso em 24 jan. 2021

SD GLOBAL. **Smart Healthcare – The Many Benefits for Patients**. Malásia, 2018. Disponível em: https://www.sdglobaltech.com/blog/smart-healthcare-the-many-benefits-for-patients . Acesso em: 05 jan. 2021.

SD GLOBAL. **The Many Benefits of Integrated Patient Rooms in Smart Hospitals**. Malásia, 2019. Disponível em: https://www.sdglobaltech.com/blog/the-many-benefits-of-integrated-patient-rooms-in-smart-hospitals . Acesso em: 04 jan. 2021.

SEWIO. **RTLS UWD.** 2020a. Disponível em: https://rtlsuwb.com/ . acesso em: 21 out. 2020.

SEWIO. **Sewio offers free software and consultancy to introduce smart quarantining, help save lives and protect industry.** 2020c. Disponível em: https://www.sewio.net/sewio-offers-free-software-and-consultancy-to-introduce-smart-quarantining-help-save-lives-and-protect-industry/ . acesso em: 25 out. 2020.

SEWIO. **UWB tags for indoor location tracking.** 2020b. Disponível em https://www.sewio.net/uwb-tags/ . acesso em: 21 out. 2020.

SHOOTER, K. **What is a smart hospital?** 2017. Disponível em: https://www.healthcareglobal.com/hospitals/what-smart-hospital . Acesso em: 22 out. 2020.

SIEMENS. **The age of the smart hospital.** Suíça. 2020. Disponível em: https://new.siemens.com/global/en/products/buildings/contact/smart-hospitals-whitepaper.html . Acesso em: 21 out. 2020.

SIGFOX. **Sigfox Technology: Security**. 2020a. Disponível em: https://www.sigfox.com/en/what-sigfox/technology#id_security . Acesso em: 11 out. 2020.

SIGFOX. **SigFox**. 2020. Disponível em: https://www.sigfox.com . Acesso em: 11 out. 2020.

SOARES, M. D. **WLAN X Sistemas Móveis Celulares**. Teleco, 2004. 6 p. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/default.asp . Acesso em: 10 out. 2020.

SOARES, M. D. **WLAN X Sistemas Móveis Celulares.** Teleco. 2004. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina_3.asp . Acesso em: 10 out. 2020.

SOOD, A.; TELLIS, G. J. Technological Evolution and Radical Innovation. **Journal of Marketing**, v. 69, n. 3, p. 152-168, 2005, DOI: https://doi.org/10.1509/jmkg.69.3.152.66361

SRIGLEY, J. A.; FURNESS, C. D.; BAKER, G. R.; GARDAM, M. **Quantification of the Hawthorne effect in hand hygiene compliance monitoring using an electronic monitoring system: a retrospective cohort study.** BMJ Quality & Safety. 2014. 974-980 p. Disponível em: https://qualitysafety.bmj.com/content/23/12/974 . Acesso em: 22 out. 2020.

STANLEY HEALTHCARE. **Building the smart hospital with IoT-powered visibility & analytics.** 2016. Disponível em: http://www.stanleyhealthcare.com/resources/building-smart-hospital#gated . Acesso em: 18 out. 2020.

STOJANOVIĆ, D. H.; STOJANOVIĆ, N. M. **Indoor localization and tracking: methods, technologies and research challenges.** Facta Universitatis: Automatic Control and Robotics, Sérvia, v. 13, n. 1, p. 57-72, 07 jun. 2015. Disponível em: http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUAutContRob/article/view/208 . Acesso em: 21 out. 2020.

SWOBODA, S. M.; EARSING, K.; STRAUSS, K.; LANE, S.; LIPSETT, P. A. Electronic monitoring and voice prompts improve hand hygiene and decrease nosocomial infections in an intermediate care unit. **Critical Care Medicine.** v. 32, n. 2, p. 358 – 363. 2004.

THANGARAJ, M.; PONMALAR, P. P.; ANURADHA, S. Internet Of Things (IOT) enabled smart autonomous hospital management system - A real world health care use case with the technology drivers**.** 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), **Proceedings ...** p, 1-8, 2015. DOI: 10.1109/ICCIC.2015.7435678.

USLU, B.Ç.; OKAY, E.; DURSUN, E. Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design. **Journal of Cloud Computing**, v. 9, 2020, DOI: https://doi.org/10.1186/s13677-020-00215-5

WANG, B.; TOOBAEI, M.; DANSKIN, R.; NGARMNIL, T.; PHAM, L.; PHAM, H. Evaluation of RFID and Wi-Fi technologies for RTLS applications in healthcare centers. 2013 Proceedings of PICMET '13: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET), San Jose, **Proceedings ...** p. 2690-2703, 2013.

WANG, S.; CHENG, Y.; TARNG, J. Improving the Localization Accuracy for Sigfox Low-Power Wide Area Networks. 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Barcelona, **Proceedings ...** p. 1-6, 2019. DOI: 10.1109/ISCC47284.2019.8969734

WENTZEL, M. **Quarta revolução industrial: como o Brasil pode se preparar para a economia do futuro.** BBC Brasil. Basileia, Suíça. 2016. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/01/160122_quarta_revolucao_industrial_mw_ab . Acesso em: 09 out. 2020.

WI-FI ALLIANCE. **Wi-Fi.** 2020. Disponível em: https://www.wi-fi.org/ . Acesso em 11 out. 2020.

WND BRASIL. **Uma visão técnica da Rede Sigfox**. 2017. Disponível em: https://www.embarcados.com.br/uma-visao-tecnica-da-rede-sigfox . Acesso em: 11 out. 2020.

ZANOTTA, D.C.; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M. T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 33, n. 2, abr./jun. 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172011000200014

ZHANG, H.; LI, J.; WEN, B.; XUN, Y.; LIU, J. Connecting Intelligent Things in Smart Hospitals Using NB-IoT. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 3, p. 1550-1560, 2018, DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2792423

ZIGBEE ALLIANCE. **ZigBee**. 2020. Disponível em: https://zigbeealliance.org/ . Acesso em 10 out. 2020.