

Comunicações Móveis Celulares e Sem Fios Aplicadas a e-Saúde em Ambientes Hospitalares

Óscar da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
2^o ciclo de estudos

Orientador: Prof. Doutor Fernando José da Silva Velez

Outubro de 2022

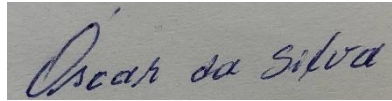
Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Óscar da Silva que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M11008 da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 10 /10 /22

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink that reads "Óscar da Silva".

(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)

Folha em branco

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, meus irmãos, e a toda minha família que, me apoiaram muito durante esta caminhada. A memória do professor Dr. João Batista e a toda a família do Engenheiro Jorge Ramos.

Folha em branco

Agradecimentos

Após terminar este trabalho, quero agradecer à Deus, pela vida e saúde. Agradecer a minha família, em especial a minha mãe e o meu pai. Agradeço ao Prof. Fernando José Velez por ter aceitado orientar-me na realização deste trabalho, dando sugestões e críticas necessárias, disponibilizando equipamentos e conhecimento científico ajudando na realização do trabalho. Ao Engenheiro Jorge Ramos e a sua família, pelo acolhimento e apoio prestado durante toda a minha estadia aqui em Portugal. Ao Doutor Tiago Lages e a CLARANET. A professora Lurdes. Ao Emanuel Teixeira pela ajuda na realização da parte prática do trabalho. Não podia deixar de agradecer aos meus colegas, que tanto me apoiaram nos momentos que eu estava a precisar, o Swellson, Amilton e Malam. Por fim e não menos importante, agradecer o frei Carlos Tambá e a E.U.D.A.F. por tudo que fizeram por mim.

Folha em branco

Resumo

As comunicações móveis celulares e sem fios, tem sido um grande avanço nas telecomunicações, possibilitando o surgimento de várias tecnologias que mudaram a nossa forma de comunicar. Graças ao avanço da comunicação sem fios na área de saúde, surgiram as redes sem fio de área corporal (WBAN), graças a esta tecnologia, é possível monitorizar um paciente a longa distância. Uma WBAN é constituída por um conjunto de dispositivos que são colocados ao redor ou dentro do corpo humano. Estes dispositivos são sensores, atuadores e controladores que coletam e enviam dados específicos para dispositivos médicos. O processo de envio de dados coletados por dispositivos médicos é composto por três camadas diferentes: a comunicação Intra-WBAN, Comunicação Inter-WBAN e Comunicação Além-WBAN. A camada física (PHY) e a subcamada MAC da rede WBAN foram especificada pela norma IEEE 802.15.6. Podem ser utilizadas em várias tecnologias nas redes WBAN como, por exemplo ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth/BLE. Na tecnologia 5G NR, em quase todos os pontos da medição, identificou-se as operadoras MEO e NOS, sendo o ponto inicial a exceção. Já na tecnologia LTE, embora tendo MEO e NOS quase presentes em todas as zonas, a melhor qualidade de sinal pertence a operadora NOS. Com base nestes resultados, para as tecnologias analisadas LTE, UMTS, 5G NR, e NB-IoT, as zonas que precisam da melhoria de cobertura, são nos pontos 17, 19, 21 e no primeiro ponto de medição (porta de entrada das consultas externas). Um dos maiores problemas com que as redes WBANs se deparam, é a vida útil dos nós, uma limitação causada pelo consumo energético. Por isso, nas comunicações fora do corpo humano, como no caso de rastreio e localização dos ativos num hospital, e não só, a implementação da tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE), pode ser uma solução energética eficiente o rastreio de ativos (dispositivos e pessoas) para dispositivos BLE que um oferece o serviço de rastreio e localização dos ativos. As tags depois de serem configurados com os APs que possuem a tecnologia, são capazes de fornecer trajeto e localização dos ativos. A plataforma Meridian Editor da Aruba, permite não só localizar os ativos, mas também permite ao usuário introduzir o mapa de um lugar específico, estabelecer limites para ativos no mapa, e receber notificações quando estes perímetros forem violados.

Palavras-chave

WBAN;BLE;WPAN;Wireless;tags;IEEE 802.15.6;IEEE 802.1;IEEE 802.15.4;redes sem fios;redes móveis;

Folha em branco

Abstract

Cellular and wireless mobile communications have been a major advance in telecommunications, enabling the emergence of various technologies that have changed the way we communicate. Thanks to the advancement of wireless communication in healthcare, wireless body area networks (WBAN) have emerged, thanks to this technology, it is possible to monitor a patient over long distance. A WBAN is made up of a set of devices that are placed around or inside the human body. These devices are sensors, actuators and controllers that collect and send specific data to medical devices. The process of sending data collected by medical devices comprises three different layers: Intra-WBAN communication, Inter-WBAN communication and Beyond-WBAN communication. The physical layer (PHY) and MAC sublayer of the WBAN network were specified by the IEEE 802.15.6 standard. They can be used in various technologies on WBAN networks such as ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth/BLE. In 5G NR technology, at almost all measurement points, MEO and NOS operators were identified, with the initial point being the exception. As for LTE technology, despite having MEO and NOS almost present in all areas, the best signal quality belongs to the NOS operator. Based on these results, for the analyzed technologies LTE, UMTS, 5G NR, and NB-IoT, the areas that need coverage improvement are at points 17, 19, 21 and at the first measurement point (entry port for queries external). One of the biggest problems that WBAN networks face is the useful life of the nodes, a limitation caused by energy consumption. Therefore, in communications outside the human body, as in the case of tracking and locating assets in a hospital, and not only, the implementation of Bluetooth Low Energy (BLE) technology, tracking assets (devices and people) for BLE devices that one offers the asset tracking and location service. The tags, after being configured with the APs that have the technology, are able to provide the path and location of the assets. Aruba's Meridian Editor platform not only allows locating assets, but also allows the user to enter the map of a specific place, set boundaries for assets on the map, and receive notifications when these perimeters are breached.

Keywords

WBAN, BLE, WPAN, Wireless, tags, IEEE 802.15.6, IEEE 802.1, IEEE 802.15.4, wireless networks, mobile networks.

Folha em branco

Índice

Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Contextualização e desenvolvimento.....	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Contribuições	2
1.4 Estrutura de trabalho	3
Capítulo 2.....	5
Estado de arte	5
2.1 Comunicações móveis celulares e sem fios	5
2.1.1 Comunicações sem fios.....	5
2.1.2 Comunicações móveis celulares	6
2.2. Wireless Body Area Networks	7
2.2.4 Arquitetura e Topologia das WBAN	9
2.2.5 Métricas de Avaliação para WBANs	10
2.3 Wireless Personal Area Network e Bluetooth.....	12
2.4 Sumário e Conclusões.....	13
Capítulo 3.....	15
IEEE 802.15.4 /Dispositivos Médicos de comunicações com mãos-livres e compartilhamento de voz/dados	15
3.1 Norma IEEE 802.15.4	15
3.1.1 Arquitetura da norma IEEE 802.15.4.....	16
3.1.2 Topologia do padrão IEEE 802.15.4	16
3.1.3 Camada Física (PHY)	17
3.1.4 A subcamada de Controle de acesso ao Meio (MAC).....	19
3.2 Requisitos de Comunicação	20
3.2.1 Taxa de dados e Qualidade de Serviço (QoS).....	20
3.2.2 Alcance.....	21
3.2.3 Segurança.....	21
3.2.4 Antena e canal de rádio	21
3.2.5 Consumo de energia.....	21
3.2.6 Coexistência	22
3.2.7 Projeto do Hardware.....	22
3.2.8 Processamento de sinais.....	22
3.3 Dispositivos de comunicação mãos-livres	22

3.4 Melhoria da eficiência de trabalho por meio da comunicação móvel de voz imagem e multimédia.....	24
3.4 Sumário e Conclusões	26
Capítulo 4	27
Principais Tecnologias de comunicação sem fios para WBANs	27
4.1 Padrão IEEE 802.15.6	27
4.1.1 Camada Física (PHY)	29
4.1.2 Camada MAC	30
4.2 Comunicação por Luz Visível	32
4.2.1 Arquitetura de Comunicação	33
4.2.2 Topologias de Rede	34
4.2.3 Padrão IEEE 802.15.7	36
4.3 Wi-Fi.....	38
4.4 ZigBee.....	39
4.5 IEEE 802.15.1 (Bluetooth)/Bluetooth Low Energy (BLE)/Aruba Meridian software	40
4.5.1 Bluetooth Low Energy (BLE).....	40
4.5.2.1 A Pilha Protocolar Bluetooth LE	42
4.5.2.2 A Camada Física	46
4.5.2.3 Camada de Ligação de Dados.....	49
4.5.2.4 Arquitetura de Transporte de Dados	53
4.5.3 Aruba Meridian Software	54
4.5.3.1 Recursos principais da plataforma Meridian	54
4.5.3.3 Rastreamento de ativos alimentado por BLE	55
4.5.3.4 Aruba Tags.....	55
4.5 Sumário e Conclusões	56
Capítulo 5	57
Medições da Qualidade Espetro Radioelétrico no CHUCB	57
5.1 Introdução	57
5.2 Materiais utilizados nas medições.....	58
5.2.1 Narda SRM-3006	58
5.2.2 Scanner R&S®TSME6	59
5.3 Resultado das medições	65
5.3.1 Resultados de medição com o Narda SRM-3006.....	66
5.3.2 Resultados de medição com Scanner R&S®TSME6	70
5.4 Sumário e Conclusões	99
Capítulo 6	101

Rastreio dos ativos no CHUCB	101
6.1 Procedimento	101
Capítulo 7.....	105
Conclusões e trabalho futuro	105

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 2.1 Evolução das normas de telefonia celular [7].	7
Figura 2.2 Arquitetura WBAN constituídas pelas componentes IEEE 802.15.4/6, IEEE 802.11, a Internet e as comunicações móveis celulares digitais [11].	8
Figura 2.3 Faixas de frequências usadas pelas WBANs [21].	12
Figura 3.1 Arquitetura de um dispositivo LR-WPAN [16].	16
Figura 3.2 Topologias do padrão IEEE 802.15.4 [16].	16
Figura 3.3 Faixa de frequências com a respetiva atribuição de canais [16].	18
Figura 3.4 Campos que determinam a camada física [16].	18
Figura 4.1 Topologia das WBANs [30].	28
Figura 4.2 Modelo de Referência IEEE 802.15.6 [30].	28
Figura 4.3 Estrutura da unidade de dados da camada física do UWB [33].	30
Figura 4.4 Formato da trama MAC	31
Figura 4.5 Luz visível no contexto do espectro eletromagnético [50][52].	32
Figura 4.6 Arquitetura de um sistema VLC [58].	33
Figura 4.7 Topologias de rede de sistemas VLC de curto alcance [49].	34
Figura 4.8 Pilha Bluetooth LE [44].	42
Figura 4.9 O Modelo de Referência OSI [44].	44
Figura 4.10 A pilha de malha Bluetooth [44].	44
Figura 4.11 Key Shift de Frequência no Bluetooth LE [40][44].	47
Figura 4.12 Formato do pacote da camada de link para os PHYs não codificados LE [40].	50
Figura 4.13 Pacote de camada de link para o PHY codificado em LE [40].	50
Figura 4.14 Máquina de Estados da Camada de ligação de dados [40].	52
Figura 4.15 Comunicação ponto a ponto confiável e bidirecional no Bluetooth LE [40].	53
Figura 4.16 Comunicação unidirecional não confiável no Bluetooth LE [40].	54
Figura 5.1 Mapa dos pontos de medição.	58
Figura 5.2 Analisador de espectro Narda SRM-3006	59
Figura 5.3 Scanner de <i>drive test</i> R&S®TSME6	60
Figura 5.4 Janela como gráfico de linha de tempo	61
Figura 5.5 Vista do menu ACD	61
Figura 5.6 Mapa de navegação durante as medições	62
Figura 5.7 Vista do menu 5G NR Scanner	63
Figura 5.8 Vista do menu LTE Scanner	64

Figura 5.9 Vista do menu NB-IoT Scanner	64
Figura 5.10 Vista do menu UMTS Scanner	65
Figura 5.11 Gráfico da medição feita no ponto 13 (da carta da Figura 5.1)	66
Figura 5.12 Gráfico de medição na <i>porta de entrada das consultas externas</i>	68
Figura 5.13 Gráfico de Medição no ponto 17 (da carta da Figura 5.1)	68
Figura 5.14 Gráfico de Medição no ponto 19 (da carta da Figura 5.1)	68
Figura 5.15 Gráfico de Medição no ponto 21 (da carta da Figura 5.1)	69
Figura 5.16 Gráfico de Medição no ponto 23 (da carta da Figura 5.1)	69
Figura 5.17 ACD na porta de entrada (a)	70
Figura 5.18 ACD na porta de entrada (b)	71
Figura 5.19 ACD na porta de entrada (c)	71
Figura 5.20 ACD na porta de entrada (d)	72
Figura 5.21 Gráfico da tecnologia 5G NR	73
Figura 5.22 Gráfico da tecnologia LTE	73
Figura 5.23 Gráfico da tecnologia NB-IoT	73
Figura 5.24 Gráfico da tecnologia UMTS	74
Figura 5.25 ACD de medição no ponto 13 (a)	75
Figura 5.26 ACD de medição no ponto 13 (b)	75
Figura 5.27 ACD de medição no ponto 13 (c)	76
Figura 5.28 ACD de medição no ponto 13 (d)	76
Figura 5.29 Gráfico da tecnologia 5G NR	78
Figura 5.30 Gráfico da tecnologia LTE	78
Figura 5.31 Gráfico da tecnologia NB-IoT	78
Figura 5.32 Gráfico da tecnologia UMTS	79
Figura 5.33 ACD de medição no ponto 17 (a)	80
Figura 5.34 ACD de medição no ponto 17 (b)	80
Figura 5.35 ACD de medição no ponto 17 (c)	81
Figura 5.36 ACD de medição no ponto 17 (d)	81
Figura 5.37 Gráfico da tecnologia 5G NR	83
Figura 5.38 Gráfico da tecnologia LTE	83
Figura 5.39 Gráfico da tecnologia NB-IoT	83
Figura 5.40 Gráfico da tecnologia UMTS	84
Figura 5.41 ACD de medição no ponto 19 (a)	85
Figura 5.42 ACD de medição no ponto 19 (b)	85
Figura 5.43 ACD de medição no ponto 19 (c)	86
Figura 5.44 ACD de medição no ponto 19 (d)	86
Figura 5.45 Gráfico da tecnologia 5G NR	88

Figura 5.46 Gráfico da tecnologia LTE	88
Figura 5.47 Gráfico da tecnologia NB-IoT	88
Figura 5.48 Gráfico da tecnologia UMTS	89
Figura 5.49 ACD da medição no ponto 21 (a).....	90
Figura 5.50 ACD da medição no ponto 21 (b)	90
Figura 5.51 ACD da medição no ponto 21 (c)	91
Figura 5.52 ACD de medição no ponto 21 (d).....	91
Figura 5.53 Gráfico da tecnologia 5G NR	93
Figura 5.54 Gráfico da tecnologia LTE	93
Figura 5.55 Gráfico da tecnologia NB-IoT	93
Figura 5.56 Gráfico da tecnologia UMTS	94
Figura 5.57 ACD de medição no ponto 23 (a).....	95
Figura 5.58 ACD de medição no ponto 23 (b)	95
Figura 5.59 ACD de medição no ponto 23 (c).....	96
Figura 5.60 ACD de medição no ponto 23 (d).....	96
Figura 5.61 Gráfico da tecnologia 5G NR	98
Figura 5.62 Gráfico da tecnologia LTE	98
Figura 5.63 Gráfico da tecnologia NB-IoT.....	98
Figura 5.64 Gráfico da tecnologia UMTS	99
Figura 6.1 Tabela 6.1 Aruba tags.....	102

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Requisitos de taxa de dados para aplicações WBAN [10]	11
Tabela 3.1 Tipos de sensores e dados medidos por sensores biológicos para vários sensores biológicos [22].....	23
Tabela 4.1 Estruturas propostas no IEEE 802.15.7 [49].	34
Tabela 4.2 Modo de operação PHY I [49].	35
Tabela 4.3 Modo de operação PHY II [49].	35
Tabela 4.4 Modo de operação PHY III [49].....	36
Tabela 4.5 Principais responsabilidades e recursos de cada camada da pilha Bluetooth LE [44].	45
Tabela 4.6 Comparação dos três PHYs [40][44].	47
Tabela 5.1 Tabela com nome das medições em cada ponto.....	65
Tabela 5.2 Pontos escolhidos e seus números de medições	66
Tabela 5.3 Faixas de frequências das operadoras, com base na informação disponibilizada pela ANACOM	67
Tabela 5.4 Os pontos medidos em instante de tempo em que foram realizadas as medições	70
Tabela 5.5 Tecnologias encontradas na porta de entrada das consultas externas	72
Tabela 5.6 Resumo com a identificação das operadoras com a melhor cobertura no ponto de medição para cada tecnologia detetada 1 (Porta de entrada das consultas externas)	74
Tabela 5.7 Tecnologias encontradas no ponto 13 de medição.....	77
Tabela 5.8 Resumo das melhores coberturas no ponto 13 de medição para cada tecnologia detetada.....	79
Tabela 5.9 As tecnologias encontradas na medição do ponto 17.....	82
Tabela 5.10 Resumo das melhores coberturas no ponto 17 de medição para cada tecnologia detetada.....	84
Tabela 5.11 Várias tecnologias encontradas na medição do ponto 19	87
Tabela 5.12 Resumo das melhores coberturas no ponto 19 de medição para cada tecnologia detetada.....	89
Tabela 5.13 As tecnologias encontradas na medição do ponto 21	92
Tabela 5.14 Resumo das melhores coberturas no ponto 21 de medição para cada tecnologia detetada.....	94
Tabela 5.15 Tecnologias encontradas na medição do ponto 23.....	97

Tabela 5.16 Resumo das melhores coberturas no ponto 23 de medição para cada tecnologia detetada99

Folha em branco

Lista de Acrónimos

AP	<i>Access Point</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CCA	<i>Clear Channel Assessment</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CS	<i>Compressed Sensing</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CTE	<i>Constant Tone Extension</i>
DICOM	<i>Digital Imaging and Communication in Medicine</i>
ECG	<i>Electrocardiogram</i>
ED	<i>Energy Detection</i>
EEG	<i>Electroencephalogram</i>
EMG	<i>Electromyography</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FSK	<i>Frequency shift-keying</i>
GFSK	<i>Gaussian shaped frequency shift keying</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GTS	<i>Global Trusted Sign</i>
HCI	<i>Host Controller Interface</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
LPU	<i>Unidade de Processamento Local</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Camada de Acesso ao Meio</i>
MICS	<i>Medical Implant Communications Service</i>
MICS	<i>Medical Implant Communication Service</i>
NB	<i>Narrow Band</i>
PACS	<i>Picture Archiving and Communication</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PEP	<i>Prontuário Eletrônico do Paciente</i>
PET	<i>Positron Emission Tomography</i>
PET	<i>Positron Emission Tomography</i>

PHY	<i>Camada Física</i>
PIB	<i>PAN Information Base</i>
PLME	<i>Physical Layer Management Entity</i>
PPDU	<i>PHY Protocol Data Unit</i>
PSDU	<i>PHY Service Data Unit</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RF	<i>Radiofrequency</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSSF	<i>Rede de Sensores Sem Fio</i>
SAR	<i>Taxa de Absorção Específica</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TG6	<i>Task Group 6</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
UUID	<i>Universally Unique Identifier</i>
UWB	<i>Ultra-Wide Band</i>
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WMTS	<i>Wireless Medical Telemetry System</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
ZDO	<i>ZigBee Device Object</i>
ACD	<i>Automatic Channel Detection</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
LTE	<i>Long Term Evolutio</i>
GSM	<i>Global System Mobile</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunicatio System</i>
5G RN	<i>5G New Radio</i>
NB-IoT	<i>Narrow Band – of THINGS</i>

Folha em branco

Capítulo 1

Introdução

Vivemos uma época na qual é percebido um avanço tecnológico ímpar nas telecomunicações [1]. Hoje, é mais que necessário o acesso a comunicação em qualquer lugar, sendo a comunicação atualmente é algo indispensável na nossa vida e na vida das empresas nacionais e multinacionais. Isso faz com que a comunicação passa a ser uma necessidade cotidiana, porque estamos a comunicar o tempo todo e de vários lugares diferentes. De igual modo as empresas tanto nacionais e multinacionais, têm necessidade de manter conectividade para suas evoluções. Isso porque, vivemos nos tempos em que as tecnologias estão a ser utilizadas para otimizar e simplificar vários serviços. A pandemia de COVID-19 é um dos fatores que contribuiu muito para o avanço nas telecomunicações, e estes avanços já têm um impacto na nossa vida, o surgimento da tecnologia 5G é um destes avanços, uma tecnologia muito importante, principalmente na internet das coisas IoT.

1.1 Contextualização e desenvolvimento

O nosso foco principal desta dissertação é na aplicação da comunicação móveis celular e sem fios na área de saúde em Hospitais, para isso daremos uma atenção especial para assuntos como, Redes sem fios de área corporal (WBAN). Estas redes são compostas por pequenos dispositivos com capacidade de comunicar nos arredores ou dentro do corpo. A característica principal destes dispositivos, é baixo consumo energético e capacidade para comunicar sem fios. Os dispositivos usados nas WBAN geralmente são sensores e atuadores, que têm como função coletar dados do corpo e transmiti-las para serem processados. As WBANs surgiram principalmente para motivar o desenvolvimento das aplicações na área de saúde e não só. Este tipo de rede também atua nos sectores como, militares, desporto, etc. O surgimento destas aplicações também trouxe alguns desafios técnicos e sociais que devem ser superadas. Um destes desafios é um sistema flexível para cobrir as necessidades exigidas nas aplicações, como por exemplo o consumo energético, um dos principais problemas das aplicações WBANs, e outros problemas como vazão, vida útil da rede, atraso etc. Nos desafios sociais tem a questão de segurança e privacidade, custo, etc. A aplicação das comunicações móveis celular e sem fios na saúde, não se resume somente nas redes WBAN. Estas comunicações também melhoram a

eficiência de trabalhos nos hospitais, por isso, a cobertura das redes móveis celulares nos ambientes hospitalares é uma coisa indispensável para uma comunicação eficiente. A aplicar a tecnologia de Bluetooth Low Energy (BLE) para melhorar o trabalho num hospital nomeadamente no rastreio dos ativos no hospital, usando as tags, que são recursos de rastreamento da aruba. Usando este recurso, combinado com as APs da aruba que usam BLE, pode fornecer localização, e trajeto dos ativos na área de cobertura dos APs.

1.2 Objetivo

Objetivo principal desta dissertação, para além de realizar uma revisão da literatura:

- Descrever e avaliar a aplicação das comunicações móveis celulares e sem fios na e-Saúde em ambientes Hospitalares.
- Fazer uma revisão e descrição das normas utilizados nas comunicações sem fios, nomeadamente nas Redes de Áreas Corporais sem Fio (WBAN), analisar as redes WBANs para sua interação com outras redes sem fio.
- Descrever as principais tecnologias implementadas nas redes de área corporais sem fios com o foco na utilização da tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE).
- Abordar o impacto e importância da comunicação sem fios nos ambientes de trabalho nos hospitais.
- Analisar a cobertura das redes móveis celulares no Centro Hospitalar Universitária Cova da Beira (CHUCB), fazendo a medição do espectro radioelétrico, e tratando de lições para explorar possibilidades de disponibilização de cobertura celular ubíqua no contexto Hospitalar e (circundante).
- Contribuindo para implementação da tecnologia Bluetooth Low Energy, para oferecer serviços de localização e de rastreamento através dos Access Point da Aruba no (CHUCB).

1.3 Contribuições

A dissertação tem como trabalho associado explorar a aplicação das comunicações móveis celulares e sem fios na e-Saúde em ambientes Hospitalares. A principal contribuição desta dissertação foi medir o espectro radioelétrico, no Centro Hospitalar Universitária Cova da Beira (CHUCB), e descobrir algumas zonas para melhorar a cobertura das redes móveis celulares. Dão-se uma contribuição para no futuro explorar das possibilidades de disponibilização cobertura celular ubíqua no contexto hospitalar.

1.4 Estrutura de trabalho

Este trabalho está organizado em 6 capítulos.

- ✓ No capítulo 1 é feita a introdução, e explicado os objetivos e a estruturação do trabalho.
- ✓ O capítulo 2 começa por descrever as comunicações sem fios, com o foco nas Comunicações móveis celulares. De seguida desenvolveu-se as redes de área corporal sem fios (WBANs), tratando de conceito como: tipos de nós sensores, arquitetura, topologia e por fim falar das métricas principais para avaliar as WBANs.
- ✓ O capítulo 3 desenvolveu-se a norma IEEE 802.15.4 e dos dispositivos Médicos de comunicação mãos-livres e compartilhamento de voz dados, falando em detalhes da norma IEEE 802.15.4, descrevendo assuntos como arquitetura, topologia, camada física (PHY) e por fim, a subcamada de controlo de acesso ao meio (MAC). De seguida, descreveu-se os três principais tipos de comunicações utilizadas nas WBANs nomeadamente: Comunicação intra-WBAN, Comunicação entre-WBANs e Comunicação além-WBAN. Depois abordou-se os dispositivos de comunicação mãos-livres e os principais requisitos de comunicação em redes WBANs que são esses: Taxa de dados e Qualidade de Serviço (QoS), Alcance, Segurança, Antena e canal de rádio, Consumo de energia, Coexistência, Projeto do Hardware, Processamento de sinais.
- ✓ O capítulo 4 tratou-se das principais tecnologias utilizadas nas comunicações sem fios, explorando as seguintes tecnologias: WiFi, Bluetooth/BLE/Aruba Meridian software, IEEE 802.15.6, ZigBee, VLC. O capítulo 4 focou-se mais na tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE), e o seu uso na tecnologia da Aruba Meridian para rastreio de ativos, com o seu uso especificamente nos hospitais.
- ✓ O capítulo 5 apresenta os resultados das medições do espectro radioelétrico no Centro Hospital Universitária Cova da Beira (CHUCB), e de seguida fez-se análise destes resultados.
- ✓ No capítulo 6, tratou-se de forma a poder alargar a implementação de um sistema de rastreamento dos ativos, usando a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) em combinação com as tags da Aruba Meridian no Centro Hospitalar Universitária Cova da Beira (CHUCB).
- ✓ O capítulo 7 apresentou análise e conclusão dos resultados, indicando depois alguns trabalhos futuros.

Capítulo 2

Estado de arte

2.1 Comunicações móveis celulares e sem fios

Vivemos uma época na qual é percebido um avanço tecnológico ímpar nas telecomunicações. Nos últimos anos o avanço nas telecomunicações ganhou mais atenção. A comunicação atualmente é algo indispensável na nossa vida e na vida das empresas nacionais e multinacionais. Isso faz com que a comunicação passa a ser uma necessidade cotidiana, porque estamos a comunicar o tempo todo e de vários lugares diferentes. De igual modo as empresas tanto nacionais e multinacionais, têm necessidade de manter conectividade para suas evoluções. Isso porque, vivemos nos tempos em que as tecnologias estão a ser utilizadas para otimizar e simplificar vários serviços.

Para esse efeito, o acesso à Internet possibilita uma comunicação eficiente [2]. Já que o mundo hoje está mais ligado a tecnologia, as empresas precisam de conectividade para o seu avanço e sucesso dos seu negócios [3]. Uma das tecnologias muito importante hoje é a tecnologia 5G, que trouxe vários avanços na telecomunicação, principalmente na comunicação em Internet das Coisas IoT. Além disso, a pandemia da COVID-19 também catalisou o avanço no setor das telecomunicações.

2.1.1 Comunicações sem fios

A tentativa de atender as necessidades dos utilizadores de tecnologia e sistemas de comunicação possibilitou um grande avanço nas telecomunicações, a fim de poder melhorar qualidade de serviço [3], [4]. Uma destas tecnologias, que cresceu bastante nos tempos recentes, é a de comunicações sem fios, que permite transmitir dados em ambientes locais [5].

Uma rede sem fios é composta de vários equipamentos ou dispositivos, fixos ou móveis, que transmitem os dados sem fios, isto é, por meio do ar. Nas redes sem fios de área local (WPAN), que é o modelo genérico das redes de comunicação sem fios, estas redes são normalmente constituídas por um ou mais pontos de acesso (AP) ligado a equipamentos ativos. Estes APs estabelecem a comunicação sem fios entre os diversos dispositivos que fazem parte da rede [6].

2.1.2 Comunicações móveis celulares

Em ambientes de exterior, um dos sistemas que mais cresceu nos últimos tempos (e com previsão de continuar a crescer), a par de muitas tecnologias de comunicações sem fios, são as redes Móveis Celulares.

Os primeiros sistemas de celulares tinham como a função principal transmissão da voz por modulação analógica (FM) e digital (FSK) [7], [8]. As primeiras comunicações móveis surgiram nos anos setenta, estas redes eram compostos por sistemas analógicos, e era apenas possível a comunicações de voz. Passando duas décadas, isto é, no início dos anos noventa, os sistemas analógicos foram substituídos por redes compostos por sistemas digitais, conhecidos como redes de 2^a geração (2G). Este sistema foi desenvolvido por um acordo europeu, tendo como o representante o GSM. A segunda geração das redes móveis, não só suportava a comunicação por voz, também permitia o envio das mensagens curtas [7].

Com o surgimento da Internet, a comunicação movel deu um salto muito grande, é neste momento que surgiu a terceira geração das redes de comunicação sem fios. O objetivo era, fazer a ponte com a Internet, e foi desenvolvido o UMTS (3G). A 3G tem como o objetivo de suportar a transmissão de dados, tendo a capacidade para suportar serviços como, áudio, vídeo, email, transferência de ficheiros, streaming e web browsing [9].

Na tentativa de resolver o problema das comunicações e transmissão de dados de elevado débito como, vídeo e outros, e na necessidade de melhorar a velocidade com que estes dados são transmitidos, surgiu a 4^a geração das redes de comunicações móveis em 2010. O LTE (4G), foi desenvolvido com uma arquitetura rede que suportava a transmissão de dados com taxas elevadas [9]. Para suportar o aumento da demanda por tráfego de dados, e para melhorar as redes moveis, surgiu a 5^a geração das redes moveis (5G). O foco da 5G é nas aplicações da Internet das Coisas (IoT - Internet of Things) [7].

As principais características das comunicações 5G são as seguintes:

- 1) Atraso extremo-a-extremo reduzido: a baixa latência faz com que a rede seja mais confiável com tempos de resposta rápidos para aplicações que exigem esta urgência, podemos mencionar os robôs que precisam que este tempo de resposta seja mais rápido possível, de igual modo podemos falar dos veículos autónomos.

2) Ritmo de transmissão elevado: as velocidades de transmissão elevadas têm uma grande importância no envio de dados em grande quantidade nas aplicações que trabalham com envio de grande quantidade de dados.

3) *Network slicing*: com aplicações únicas, que possuem diversas necessidades diferentes, esta funcionalidade permite que se possam adaptar serviços específicos, para cada necessidade, através de sub-redes virtuais.

4) Redes em malha 5G: as redes em malha irão permitir que maior conexão entre dispositivos de uma rede, criando aplicações para melhorar a redes.

A Figura 2.1 apresenta uma visão atualizada sobre a evolução das comunicações móveis e celulares ao longo do tempo.

1G 1981	Início da telefonia móvel pessoal -Telefonia móvel analógica	2G 1991	Telefonia móvel para as massas -Telefonia móvel digital - Mensagem de texto	3G 2001	Wireless Internet -Telefonia móvel digital - Mensagem de texto - Internet	4G 2008	Banda larga móvel -Telefonia móvel digital - Mensagem de texto - Internet - video - Iot	5G 2019	Wireless Edge -Telefonia móvel digital - Mensagem de texto - Internet - HD video 4kb/8kb - Iot em massa - Automação etc...
			50kbit/s		4Mbit/s		1 Gbit/s		20 Gbit/s

Figura 2.1 Evolução das normas de telefonia celular [7].

2.2. Wireless Body Area Networks

As Wireless Body Area Networks, ou Redes sem Fios de Áreas Corporal (WBANs), são uma tecnologia de monitoramento e registo permanente de sinais vitais para supervisão do estado de saúde dos pacientes, por diversas doenças crônicas com os sensores no corpo humano [10][11].

As WBANs consistem de um conjunto de dispositivos ao redor ou dentro do corpo conectados e se comunicam entre si através de uma rede sem fio [11].

As WBANs são compostas de vários dispositivos de baixo consumo energético com capacidade para comunicar sem fio [11]. Os dispositivos que constituem WBANs, geralmente são sensores e atuadores que são posicionados na parte interna ou externa do corpo humano. Estes dispositivos possuem tecnologias que lhes possibilitem a comunicação sem fios [11]. A principal função destes dispositivos é monitorar, coletar e enviar dados específicos para as aplicações médicas, para serem processados e diagnosticados por profissionais de saúde [12].

Como na área de saúde os dados precisam ser mais completos possível, estes dispositivos fazem coleta de dados de forma continua para que as informações sejam mais completas possível. [13].

Nas redes sem fios de área corporal (WBAN), quando os dados são coletados e processados, precisam ser enviados até centro medico onde vão ser diagnosticados. Para isso os dados vão passar em camadas até o destino final. O numero das camadas vai depender do tipo de arquitetura implementado, e a mais comum é composta por três camadas principais que facilitam a comunicação entre os dispositivos [10][11][14][15].

Camada 1 - Comunicação Intra-WBAN

Camada 2 - Comunicação Inter-WBAN

Camada 3 - Comunicação Além-WBAN

A Figura 2.2 apresenta a arquitetura das redes WBAN, com as diversas componentes envolvidas.

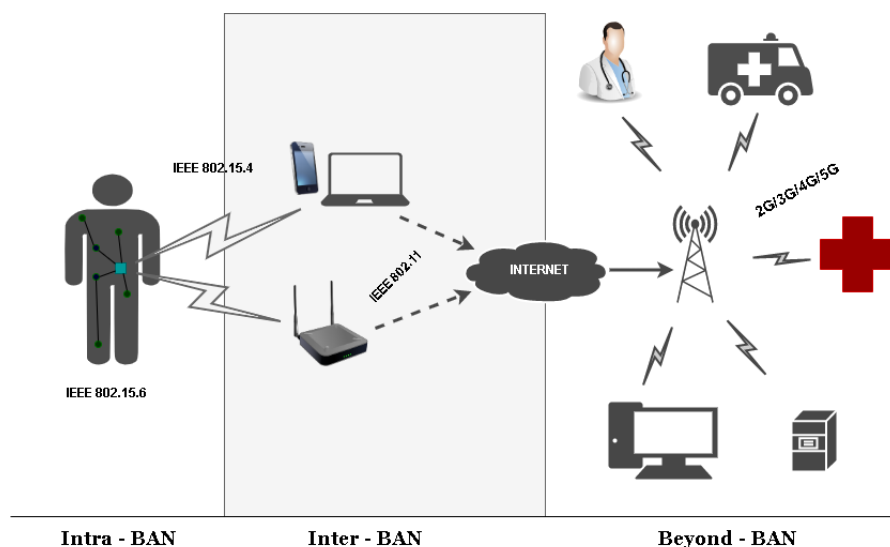


Figura 2.2 Arquitetura WBAN constituídas pelas componentes IEEE 802.15.4/6, IEEE 802.11, a Internet e as comunicações móveis celulares digitais [11].

As **Comunicação Intra-WBAN** são comunicações onde os sensores distribuídos no corpo do paciente recolhem informações e enviam estas informações para o nó central [15]. O nó central não pode ficar longe do paciente, alguns dos nós centrais possuem capacidade para ficar no máximo 2 metros de distância em relação ao paciente [19].

O sinal coletado pelo sensor antes de ser enviado para o nó central é modulado, convertido para sinal digital e processado, e depois transmitido. [14][15][19].

A **Comunicação Inter-WBAN** recorre à IEEE 802.11. Depois dos dados terem sido enviados para o nó central, este por sua vez envia-os para um ponto de acesso (Access Point), que as encaminha para a base de dados de um centro médico ou para a própria nuvem [14][15][19].

A **Comunicação além-WBAN** recorre às redes móveis celulares digitais. No momento que as informações chegarem a um ponto de acesso, estas informações tratam de ser enviados para o destino final, este que pode ser base de dados num centro medico ou diretamente para o medico e na nuvem com finalidade de serem acessível de qualquer ponto. Esta comunicação para uma rede fora é chamada de Beyond-BAN [10][15].

Os dispositivos de comunicação WBANs podem ser:

Nós sensores sem fios - Esses tipos de dispositivos coletam os dados, processam e enviam essas informações através da comunicação sem fios [13].

Nós atuadores sem fios - São dispositivos que trabalham em função dos dados recebidos de nós controladores, que pode vir de comandos externos [13].

Nós controladores - Os nós controladores recebem as informações coletadas pelos nós sensores, também são responsáveis por enviar comandos aos nós atuadores[13].

2.2.4 Arquitetura e Topologia das WBAN

A topologia que as redes WBANs seguem para enviar dados coletados sobre sinais vitais, baseia-se na topologia em estrela de um ou dois nós [14], [15]. Como a principal função dos dispositivos WBANs é coletar dados convertê-los e transmitir estes dados para centros médicos, a forma como estes dispositivos (sensores) estão distribuídos ao longo do corpo, influencia e define a topologia que em geral é usado, que é a topologia em estrela [16]. Nesta topologia, geralmente existe um nó central que coordena a comunicação entre os restantes nós, este que é chamado nó central. [12].

Alem dos nós sensores que têm capacidades para transmitir informações, as WBANs também possuem um tipo de nó chamado de atuadores. Estes além de poderem comunicar e transmitir informações, também têm capacidades para administrar medicamentos baseando nos dados coletados.

O motivo pelo qual na topologia em estrela de um salto todos os nós se conectam com o nó coordenador, é por essa possuir mais energia e maior poder de transmissão [14].

O nó coordenador é responsável pela transmissão dos dados para centro de monitorização através da comunicação com o Access Point – AP (Ponto de Acesso) [15]. Esse tipo de topologia tem mais vantagem em relação a topologia de múltiplo-salto, a última tem mais atraso no envio de dados, porque, a informação antes de chegar ao nó coordenador, passa por muitos nós ainda [14], [15]. Para conseguir a baixa latência que é um dos recursos muito importante para as aplicações WBANs, a última versão da norma IEEE 802.15.6, definiu que a WBAN suporta uma topologia de até dois saltos em uma comunicação [17].

A norma IEEE 802.15.6 define a arquitetura típica de uma WBAN que segue uma topologia em estrela de um salto, permitindo com que diferentes nós sensores colem dados do paciente e enviem esses dados para o nó coordenador, que por sua vez faz a comunicação com Access-Point para o envio de dados a centro de monitorização.

2.2.5 Métricas de Avaliação para WBANs

Os WBANs como qualquer outra tecnologia, antes e depois da sua implementação, é avaliado baseando nas soluções que estas redes propõem para resolução de alguns desafios que as WBANs enfrentam [10]. E para avaliar as soluções apresentadas nas WBANs, tem um conjunto de métricas diferentes que são analisadas [11], [18].

As principais métricas usadas para avaliar WBANs são as seguintes:

- ❖ **Vida útil da rede** - Trata-se do tempo total de operação da rede até o último nó ficar inativo [10].
- ❖ **Energia residual** - É a diferença entre a energia inicial e a energia utilizada durante a operação da rede [10].
- ❖ **Número de nós ativos e inativos** - É o número de nós que têm energia ainda depois de um tempo, e nós que estão inativos porque consumiram a sua energia toda [10].
- ❖ **Período de estabilidade** - É o período antes de o primeiro nó ficar inativo [10].
- ❖ **Perda de caminho** - É a diferença entre a potência do sinal transmitido e a potência recebida [10].
- ❖ **Atraso fim-a-fim (latência)** - É o tempo gasto por um pacote de dados desde nó origem para alcançar o nó concentrador [10].
- ❖ **Taxa de entrega de pacotes** - Esta taxa é determinada pelo número de pacotes recebidos no nó concentrador, divididos pelo número de pacotes enviados [10].

- ❖ **Taxa de perda de pacotes** - Esta taxa é o número de pacotes perdidos ao longo da transmissão divididos pelo número de pacotes enviados inicialmente [10].
- ❖ **Aumento da temperatura** - É a medida de quanto um nó esquentar enquanto estiver a trabalhar [10].
- ❖ **Débito binário (throughput)** - É a verdadeira taxa de transmissão de dados [10].
- ❖ **Pacotes reenviados** - É o número de pacotes que são reenviados por terem falhado o envio na primeira vez [10].

A tabela 2.1 apresenta a caracterização das aplicações WBAN através de um conjunto de métricas relevantes.

Tabela 2.1 Requisitos de taxa de dados para aplicações WBAN [10]

Aplicação	Taxa de dados	Atraso	Probabilidade de erro de bit (BER)
Monitor de nível de Glicose	< 1 kb/s	< 250 ms	< 10 ⁻¹⁰
Voz	50 – 100 kb/s	< 100 ms	< 10 ⁻³
EEG	86,4 kb/s	< 250 ms	< 10 ⁻¹⁰
ECG	192 kb/s	< 250 ms	< 10 ⁻¹⁰
Estimulação cerebral profunda	< 320 kb/s	< 250 ms	< 10 ⁻¹⁰
Endoscopia através da cápsula	1 Mb/s	< 250 ms	< 10 ⁻¹⁰
Fluxo de áudio	1 Mb/s	< 20 ms	< 10 ⁻⁵
Fluxo de vídeo	< 10 Mb/s	< 100 ms	< 10 ⁻³

MICS (Medical Implant Communications Service)

Este é um sistema que usa dispositivos implantáveis e aplicativos que exigem uma grande taxa de bits. Uma destas aplicações é vídeo gerado por uma câmara ingerível [20].

WMTS (Wireless Medical Telemetry System)

Trata de dispositivos de Telemetria Médica Sem Fio, que serve para monitorar e enviar sinais vitais através de um link de rádio para profissionais de saúde a taxa média de bits que fornece é de 400 Kbps [21].

A Figura 2.3 apresenta as faixas de frequências utilizadas pelas WBANs nas diversas regiões do globo.

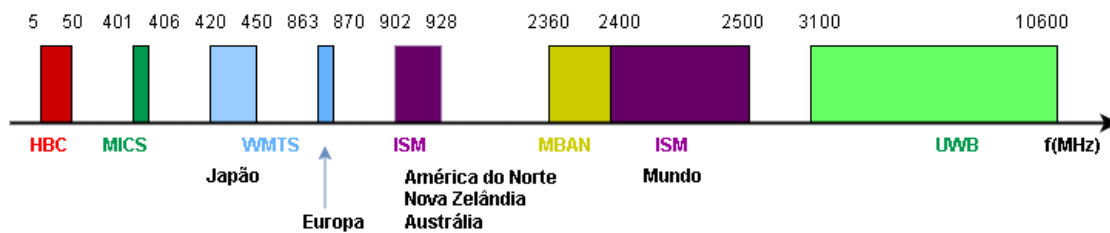


Figura 2.3 Faixas de frequências usadas pelas WBANs [21].

2.3 Wireless Personal Area Network e Bluetooth

Bluetooth é uma norma IEEE 802.15.1 criado para comunicações de curto alcance sem fio, conhecido como WPAN (Wireless Personal Area Network) [40]. Inicialmente foi projetada para comunicação entre dois dispositivos diretamente numa distancia curta, e com pouco consumo energético [40], [41].

As operações e a arquitetura do Bluetooth, foi especificado na norma IEEE 802.15.1. De salientar que as operações se refere apenas a duas camadas, camada PHY e MAC. Aplicativos e protocolos são normalizados pelo Bluetooth SIG [41]. Os dispositivos Bluetooth enviam dados e sinais de voz através de microchip usado nestes dispositivos. Estes dispositivos estão divididos em dois grupos, no primeiro grupo fica o dispositivo mestre, e no outro grupo os dispositivos escravos [40]. O dispositivo mestre utiliza software para poder se diferenciar dos outros dispositivos e através deste mesmo software que é gerenciador de link, o dispositivo mestre cria links para enviar e receber dados. Num sistema Bluetooth simples, estão incluídos antenas, software, controle de link e gerenciamento de link [41].

Os dispositivos Bluetooth operam a banda de frequência ISM, mais especificamente na banda dos 2,4 GHz, e têm um alcance até de 100 metros enviando uma taxa de sinal de 1 Mb/s [40]. Bluetooth tem capacidade para lidar com transmissão de dados e voz simultaneamente, permitindo assim, várias inovações na área de comunicação sem fio, como fones de ouvido sem fio que suporta chamada de voz [41], [40].

Bluetooth tem duas especificações de implementação:

O Bluetooth BR/EDR: estabelece conexão de curto alcance para comunicações sem fio. Permite uma taxa de dados EDR de 2Mbits a 3 Mbits, tornando mais ideal para como streaming de áudio [40].

Bluetooth BLE: permite ligações de longo alcance em rajadas curtas, o que o torna ideal para IoT (aplicações de Internet das Coisas) [40].

2.4 Sumário e Conclusões

Este Capítulo, primeiro apresentou uma visão geral sobre as comunicações sem fios, as redes móveis celulares, tendo-se depois focado nas WBAN e de forma breve nas WPANs baseadas em bluetooth. Foi identificado e explicado em detalhes os requisitos essenciais na implementação das WBAN. Por fim apresentou-se um resumo dos requisitos de taxa de dados para aplicações WBAN.

Capítulo 3

IEEE 802.15.4 / Dispositivos Médicos de comunicações com mãos-livres e compartilhamento de voz/dados

3.1 Norma IEEE 802.15.4

O surgimento das redes de comunicações sem fios trouxe um grande avanço para as telecomunicações. Em 2003, o IEEE criou um grupo de trabalho para definir uma norma que fornece as especificações para a camada física (PHY) e a camada de controle de acesso ao meio (MAC) das redes sem fios de área corporal. Estas redes têm características como, taxa de transmissão de dados baixa, pouco consumo energético e com alcance de comunicação curto [16]. E esta comunicação pode ser entre dispositivos fixos e moveis.

Em resposta a este desafio, foi criado a norma IEEE 802.15.4, que é a referência para especificação de muitos padrões de comunicação sem fios, tais como: ZigBee, MiWi, Thread, 6LoWPAN, SNAP, entre outros. Também a norma IEEE 802.15.4 consegue se entender com outras normas, implementando outras camadas como: Camada de rede e de Aplicação que pertencem a camada superior [16]. Porque, a norma IEEE 802.15.4 especifica principalmente as camadas inferiores, ou seja, a camada física (PHY) e a camada de controle de acesso ao meio (MAC) [16].

Os principais recursos do padrão IEEE 802.15.4 [16]:

1. Adequação em tempo real mediante reserva de Slots Garantidos (GTS).
2. Prevenção de colisões através do CSMA/CA.
3. Suporte integrado para comunicações seguras.
4. Funções de gerenciamento de energia, como velocidade/qualidade do link e detecção de energia.
5. Suporte para aplicativos sensíveis ao tempo e taxa de dados.
6. Dispositivos em conformidade com IEEE 802.15.4 podem usar uma das três bandas de frequência (868/915/2450 MHz).

3.1.1 Arquitetura da norma IEEE 802.15.4

A arquitetura da norma IEEE 802.15.4 é definida em camadas, onde cada camada tem a responsabilidade de oferecer serviços para as camadas superiores. Porque nas redes sem fio de área corporal, é pretendida uma interação com as camadas superiores. Já que nestas redes, um nó é composto no mínimo pela camada física (PHY) e uma subcamada MAC. A subcamada MAC é responsável pela ligação entre camada inferior e superior [16]. A Figura 3.1 apresenta arquitetura dos dispositivos LR-WPAN.

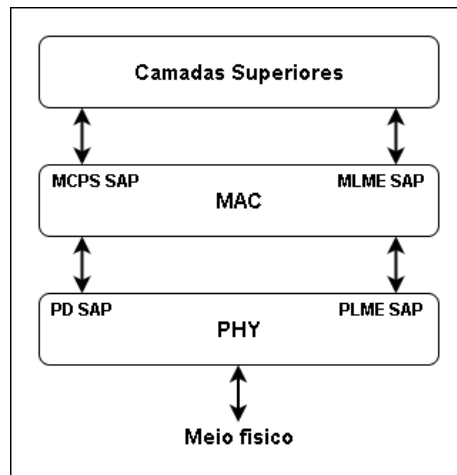


Figura 3.1 Arquitetura de um dispositivo LR-WPAN [16].

3.1.2 Topologia do padrão IEEE 802.15.4

Nas redes de comunicação sem fio de área corporal, existem duas topologias que podem ser implementados baseando na norma IEEE 802.15.4, estas que são: Topologia em estrela ou de ponto-a-ponto, como se apresenta na Figura 3.2. O modelo de topologia em geral depende do tipo de aplicação que está ser implementado [16]. A rede que adota topologia em estrela normalmente é muito reduzida, dependendo do alcance do sinal.

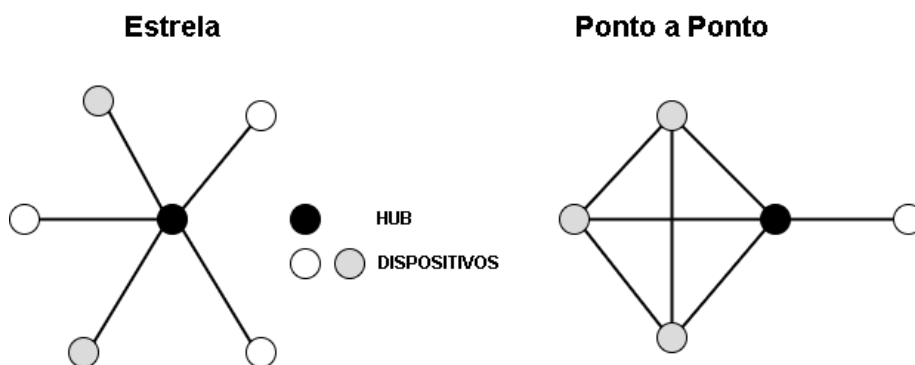


Figura 3.2 Topologias do padrão IEEE 802.15.4 [16].

Nesta topologia em estrela todos os dispositivos só podem comunicar com o nó coordenador, enquanto que na topologia de ponto-a-ponto a comunicação acontece entre nó coordenador e os restantes dispositivos, e os outros dispositivos entre eles também se comunicam, fazendo com que redes com esta ultimo topologia possam ser maiores, dependendo do alcance do sinal [13][16].

3.1.3 Camada Física (PHY)

A camada física (PHY) da norma IEEE 802.15.4 é a última camada no modelo OSI, ela fornece uma interface entre a subcamada MAC e o canal de rádio físico. Esta ligação acontece por meio do firmware e hardware de RF. A camada física também fornece uma interface para entidade de gerenciamento de camada física, através do serviço PLME (Physical Layer Management Entity) [13]. Este serviço oferece acesso a todas as funções de gerenciamento de camada física, e guarda num banco de dados as informação de objetos gerenciados pertencentes ao PHY, este banco de dados é PAN (PIB: PAN Information Base) [13].

Os serviços de dados e de gerenciamento, são os dois principais serviços que a camada física oferece. Onde o serviço de dados permite a transmissão e recepção de dados do protocolo PHY (PPDU: PHY Protocol Data Unit), e essa transmissão ocorre através do canal de rádio físico [13].

Tal como se apresenta na Figura 3.3., a norma IEEE 802.15.4 opera nas três faixas de frequência seguintes:

- Banda 2,4 GHz para ISM mundial;
- Banda 868 MHz para a Europa;
- Banda de 915 MHz para a América.

A banda de 2,4 GHz cobre 16 canais, que começa no 2,4 GHz a 2,4835 GHz com separação de 5MHz e suporta taxa de dados de até 250 kbit/s. A banda de 868 MHz cobre 1 canal e suporta taxa de dados de até 20 kbit/s. Já a banda 915MHz cobre 10 canais, que começa no 902 MHz a 928 MHz, com separação de 2 MHz e suporta taxa de dados de até 40 kbit/s [23].

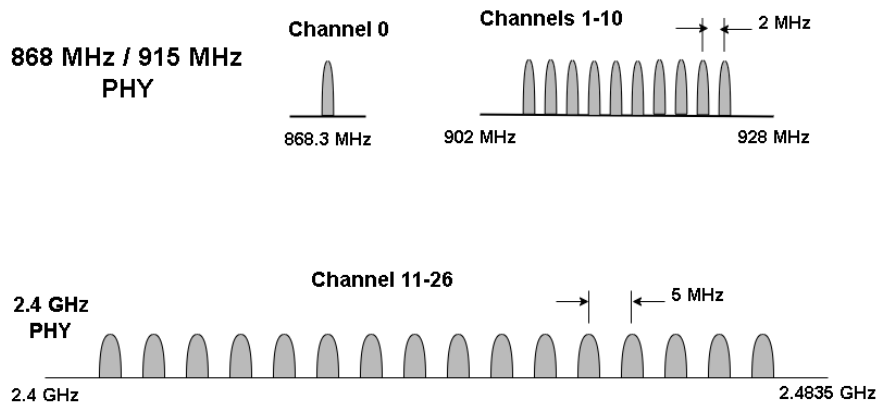


Figura 3.3 Faixa de frequências com a respectiva atribuição de canais [16].

A norma IEEE 802.15.4 define as principais responsabilidades da camada física, que são:

- Ativação de transceptor de rádio para transmitir ou receber dados, e desativá-lo para adormecer.
- Avaliação de canal livre CCA (Clear Channel Assessment) para saber se tem um meio livre para transmissão.
- Detecção de energia no canal ED (Energy Detection). Este serviço pode ser utilizado para determinar se o canal está desocupado ou ocupado.
- Indicador de qualidade do enlace (LQI). Pode ser utilizado como estimativa da distância do dispositivo emissor.
- Seleção de um dos canais e o conseqüente ajuste da frequência no transceptor.

A Figura 3.4 apresenta os campos que definem a camada física.

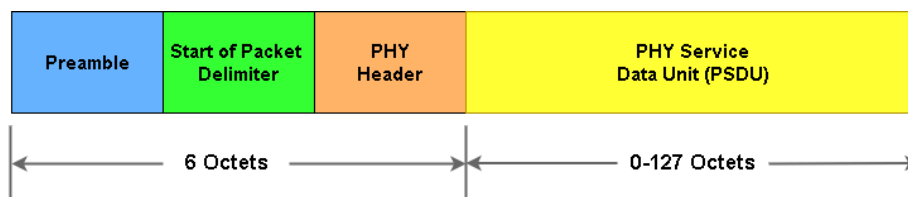


Figura 3.4 Campos que determinam a camada física [16].

- Preamble - sincroniza a trama com uma sequência de 4 bytes conhecida pelo receptor.
- Start of Packet Delimiter - determina o começo dos dados a partir de um byte com valor conhecido.
- Phy Header - Indica a dimensão do campo de dados num intervalo que varia de 0 e 127 bytes.

- PHY Service Data Unit (PSDU) – indica o campo de dados transportado na trama da camada física.

3.1.4 A subcamada de Controle de acesso ao Meio (MAC)

A subcamada MAC fornece a ligação entre as camadas superiores e a camada física PHY para a transmissão e recepção de dados. A camada MAC fornece dois tipos de serviços principais: serviço de dados e de gerenciamento [13].

O serviço de dados é responsável pela transmissão e recepção de dados, e isso ocorre através do serviço de dados da camada física, enquanto o serviço de gerenciamento controla o acesso ao meio através do CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance), um mecanismo de prevenção de colisão para o acesso ao meio físico. Os dados dos objetos gerenciados que pertencem à MAC, são guardados num base de dados, que é MLME [3] [13].

A camada MAC envia periodicamente tramas de beacon para os dispositivos adjacentes para manter uma relação de vizinhança. Ele também valida a trama, e reconhece o entrega de trama.[13]

A Camada MAC também é responsável pelas seguintes tarefas:

- ❖ Geração de sinalizadores, se for um coordenador;
- ❖ Sincronização de beacons;
- ❖ Suporte à associação e desassociação da PAN;
- ❖ Suporte à segurança dos dispositivos;
- ❖ Emprego de mecanismos do CSMA/CA para acesso ao canal;
- ❖ Manuseio e manutenção do mecanismo de slots de tempo garantido (GTS: Guaranteed Time Slot);
- ❖ Fornecimento de um link confiável entre duas entidades MAC pares.

IEEE 802.15.4a foi lançado em agosto de 2007 uma expansão dos quatro PHYs da versão anterior de 2006 aumentando para seis PHYs. Nesses seis PHYs um deles usa a banda ultralarga de sequência direta (UWB) e outro usa espectro espalhado de chirp (CSS) [13][16].

As frequências do UWB PHY estão entre as três faixas: abaixo de 1 GHz, entre 3 e 5 GHz e entre 6 e 10 GHz.

O CSS PHY é alocado no espectro na banda ISM de 2450 MHz.

IEEE 802.15.4c: faz parte de umas das atualizações que a norma IEEE 802.15.4 sofreu, admitindo as bandas de 314-316 MHz, 430-434 MHz e 779-787 MHz na China.

IEEE 802.15.4d: Em abril de 2009 esse grupo definiu uma emenda ao 802.15.4, admitindo a banda de 950-956 MHz no Japão.

IEEE 802.15.4c e IEEE 802.15.4d foram adicionados aos PHYs já existente, vários outros PHYs: um para banda de 780 MHz usando O-QPSK ou MPSK, outro para 950 MHz usando GFSK ou BPSK.

O IEEE 802.15.4e em 6 de fevereiro de 2012 o Grupo de Tarefas 4e concluiu os trabalhos que tinha como objetivo definir uma emenda MAC ao padrão 802.15.4 de 2006 [24][25]. Esta emenda adotou a estratégia de salto de canal para melhorar o suporte para os mercados indústrias, aumentou a robustez contra interferência externa e desvanecimento multi-caminho persistente [26][27].

3.2 Requisitos de Comunicação

A diversidade das aplicações da Internet das Coisas (IoT), fez surgir vários requisitos para o desenvolvimento de WBANs [10]. WBANs são redes de sensores sem fio que se centralizam no corpo humano e consistem em vários elementos de rede, incluindo uma unidade de processamento local (LPU), como terminais pessoais, dispositivos de rede e sensores distribuídos no corpo humano ou ao redor do corpo humano para garantir a intervenção de sinais fisiológicos como frequência cardíaca, temperatura, pressão arterial, ECG, EEG etc. Os dados coletados pelos sensores são transmitidos à LPU por meio de links sem fio. Além disso, esses dados podem ser transmitidos para servidores remotos a fim de estes serem posteriormente processados [14].

Esse recurso do WBAN reduz os custos de cuidados médicos e melhora a qualidade de vida dos pacientes.

Os principais requisitos que estas aplicações estabelecem são recomendados pelo IEEE TG6 [10][18].

3.2.1 Taxa de dados e Qualidade de Serviço (QoS)

Nas redes com várias aplicações diferentes, as taxas de dados também estão sujeitas a variar, com alguns dados de Kbit/s e outros até de Mbit/s. Além disso, os dados podem ser enviados em taxas elevadas (rajadas) [18]. Da mesma forma, nas redes WBANs

também há estas situações, porque uma rede WBAN pode ser composto de várias aplicações diferentes, isto é, há uma grande diferença entre aplicativos médicos e não médicos em termos de requisitos [10].

Para isso, nas redes WBANs, no caso de houver vários dispositivos a enviar dados para o mesmo dispositivo, é permitido a criação de vários links para facilitar o envio de dados. Para isso, QoS deve garantir priorização de tráfego. As camadas PHY e MAC, são encarregues de corrigir os erros gerados pela interferência.

3.2.2 Alcance

A característica do corpo humano faz com que WBAN tenha pouco alcance em comparação com outras redes sem fio. E isso acontece mais nos dispositivos implantados. Devido a este motivo, uma WBAN tem um alcance de comunicação muito reduzido, podendo ir apenas até cerca de 6 metros [10].

3.2.3 Segurança

A segurança de dados em WBANs nas aplicações médicas, trata de proteção de dados de um paciente. A proteção é tratada a nível de privacidade, confidencialidade, autorização e integridade de dados. Esta proteção é tratada em vários momentos de comunicação, desde coleta, transmissão e armazenamento de dados.

Em vários momentos tem a segurança exigida, porque muitas das criptografias atuais aplicadas nas seguranças dos dados não podem ser usadas nas WBANs e nas aplicações médicas, porque estas possuem pouca memória e exigem pouco consumo da energia [10].

3.2.4 Antena e canal de rádio

Devido a característica do corpo humano, como afeta a radiação da antena e pelo fato dos nós possuírem tamanho pequeno, as antenas devem ser muito eficientes. Para superar este desafio, é importante uma caracterização apropriada do canal de radio [10].

3.2.5 Consumo de energia

Um dos maiores problemas nas redes WBANs, é o problema de eficiência energética. Isso é um problema porque, nos dispositivos implantados torna impossível substituir as baterias dos sensores. Muitas das vezes para ter sistemas com eficiência energética, uma

das técnicas usadas é colocar o dispositivo no modo espera quando não está a transmitir [10].

3.2.6 Coexistência

Em geral WBAN é projetada para operar na banda ISM. Isto é um problema, porque muitas das tecnologias sem fio usa esta faixa de frequência, o que pode gerar problema de interferência e por consequente perda de pacotes. E isso é um grande problemas para redes WBANs, principalmente quando os dados que estão a ser enviados são de alerta medica [10].

3.2.7 Projeto do Hardware

Pelo facto de alguns dispositivos WBANs costumam ser implantados no corpo, alguns acoplados numa peça de roupa, isso influencia no tamanho dos dispositivos. Nos dispositivos implantados, tem o problema de incorporar a antena e bateria nestes dispositivos pequenos. Enquanto nos dispositivos vestível deparam com o problema de conforto e flexibilidade [10].

3.2.8 Processamento de sinais

A técnica certa de processamento de sinais pode ajudar muito a resolver um dos maiores problemas com que WBAN depara, que é o consumo energético [10]. A Tabela 3.1 apresenta diversos tipos de sensores e dados medidos por sensores biológicos para vários sensores biológicos

3.3 Dispositivos de comunicação mãos-livres

A comunicação eficiente e eficaz é muito importante dentro de um sistema hospitalar, e é crítica para o melhor atendimento ao paciente, ao passo que a falta de uma comunicação eficiente e eficaz, pode ser uma fonte de erro que leva a resultados adversos [22]. Os dispositivos de comunicação mãos-livres além de facilitarem a comunicação, também liberam o indivíduo para usar as mãos no caso da cirurgia ou outras intervenções medicas feitas manualmente.

Tabela 3.1 Tipos de sensores e dados medidos por sensores biológicos para vários sensores biológicos [22].

Bio-sinal	Tipo do sensor	Dado medido
Eletrocardiograma (ECG)	Eletrodos de pele / tórax	Atividade do coração
Pressão sanguínea	Monitor baseado em uma bolsa de ar posicionada no braço	Refere-se à força exercida pela circulação de sangue nas paredes dos vasos sanguíneos.
Temperatura do corpo	Sensor de temperatura	Medida da capacidade do corpo de liberar calor
Taxa de respiração	Sensor piezoelétrico	Número de movimentos indicativos de inspiração e expiração por unidade de tempo
Saturação de oxigênio	Oxímetro de pulso	Indica a oxigenação do sangue do paciente
Frequência cardíaca	Resposta elétrica da pele	Frequência do ciclo cardíaco
Transpiração	Resposta Galvânica da Pele	A condutividade elétrica da pele está associada à atividade das glândulas sudorípara
Sons cardíacos	Fonocardiografia	Registro de sons cardíacos
Glicose no sangue	Medidores de glicose à base de tira	Medição da quantidade de glicose no sangue
Eletromiograma (EMG)	Eletrodos colocados sobre o músculo	Atividade elétrica dos músculos esqueléticos
Eletroencefalograma (EEG)	Eletrodos colocados no couro cabeludo	Medição da atividade elétrica cerebral involuntária e outros potenciais cerebrais
Movimentos Corporais	Acelerômetro	Medição de forças de aceleração no espaço 3D

OS dispositivos mãos livres permitem que comandos verbais acessem a várias funções de tratamento de chamadas e fornecem ao usuário acesso instantâneo a colegas usando comunicação em circuito fechado. Estes dispositivos melhoram os tempos de resposta nas emergências da segurança pública e diminui as interrupções na literatura de enfermagem, permite um melhor fluxo de trabalho de enfermagem, comunicação, e diminui o tempo RN para a conclusão das solicitações do paciente. No ambiente hospitalar, eles eliminam o desperdício, diminuindo a distância percorrida e melhorar a velocidade do fluxo de informações, bem como a facilidade de comunicação entre os colegas de trabalho.

3.4 Melhoria da eficiência de trabalho por meio da comunicação móvel de voz imagem e multimídia

Sistemas de informação hospitalar (HIS) totalmente computadorizados estão se espalhando nos hospitais. A maioria dos HIS consiste em computadores servidores, terminais, um banco de dados e uma LAN. A introdução do HIS permitiu uma comunicação rápida entre médicos e funcionários também permite a divulgação imediata de informações do paciente, quanto mais é feita instalação de um sistema de comunicação sem fio compatível com um HIS, melhora ainda mais eficiência no trabalho. No entanto, também é necessário um sistema de comunicação por voz que possa transmitir instruções emergências de forma mais rápida, como por exemplo uma mudança repentina no estado de saúde de um paciente internado.

Os sistemas de informação hospitalar totalmente computadorizados (HIS) já é uma realidade em vários hospitais de vários países, os HIS criam um ambiente onde acesso e o compartilhamento de informações são possíveis em qualquer lugar e a qualquer hora, este ambiente que se denomina de "ambiente ubíquo". Para atingir tal ambiente, é importante uma infraestrutura de telecomunicações com uma rede de comunicações móveis, infraestruturas assim são muito importantes para a comunicação de voz e dados.

Os computadores foram amplamente instalados em hospitais com objetivo original de ajudar a calcular custos e faturar os pacientes. Devido a melhoria destes dispositivos últimos anos, nomeadamente nos seus desempenhos, combinado com crescente evolução nas telecomunicações, tudo isso fez surgir, bancos de dados e aumentou a velocidade nas comunicações e aumentou a taxa de transferência de dados para redes locais (LAN). Toda esta evolução, catalisou o surgimento do Sistemas de Informação Hospitalar (HIS) que espalhou rapidamente nos hospitais. Atualmente, os principais objetivos da instalação de um HIS são armazenar e transmitir informações relacionadas a prescrições, exames e instruções médicas. Um sistema HIS também o compartilhamento de registros de pacientes, e muitos hospitais já adicionaram as comunicações móvel de voz imagem e multimídia, o que resultou na melhoria em termo de eficiência de trabalho nos hospitais.

Algumas das tecnologias que usam essas comunicações:

- **Prontuário eletrônico do paciente (PEP):** um prontuário eletrônico é um registro sobre o paciente que fica computadorizado. O registro é constituído por um conjunto de informações sobre o paciente como, dados para identificação, dados socioeconómicos, dados dos profissionais, dados radiológicos, e dados laboratoriais, estes dados que

constituem a história do paciente. Um prontuário é muito importante para a comunicação o paciente e profissionais de saúde, ajudando na segurança do próprio paciente e na melhoria de qualidade do seu tratamento. É muito importante que o prontuário esteja bem protegido, porque os médicos baseiam as vezes nestes gessitos para solicitar exames e prescrições. Um prontuário eletrônico pode ser consultado fora do hospital por médicos autorizados.

- **Tecnologias sem fio e computação móvel:** Com estas tecnologia, surgiu vários tipos de redes em hospitais, dando surgimento a várias aplicações para as plataformas moveis na área de saúde. Uma desta tecnologia é o terminais portáteis, através deste terminal os médicos e outros profissionais de saúde autorizados, podem acessar o Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP) para introduzir dados do paciente, preencher pedidos e prescrições, de qualquer ponto do hospital. Os tablets e smartphones também podem servir para consultar prontuário eletrônico e ter acesso as informações clínicas dos pacientes (sinais vitais, monitorização, resultados e laudos de exames...), tudo isso é fruto das tecnologias sem fio combinado com rede wireless. Esta combinação mais smartphone deu origem ao sistema de gerenciamento de sono, capaz de detetar ondas cerebrais que permite saber quando um paciente está em sono profundo, e permite classificar o sono através dos gráficos que contem padrões de sono do paciente. Estas informações podem ser partilhadas automaticamente, através de uma ligação Bluetooth.

- **Certificação digital:** é um prontuário eletrônico do paciente, que assegura a confiabilidade, autenticidade, sigilo e legalidade às transações das informações contidas no prontuário. Isso porque os médicos têm a chave privativa que permite os profissionais de saúde assinarem os certificados digitais.

- **Sistema de imagem digital:** As imagens medicas são muito são usadas com frequência em certos exames como Raio X e outros. Hoje já existem sistemas capaz de mostrar as imagens de forma mais detalhadas e tridimensional (3D), que podem ser manipuladas e movimentadas para ter uma percepção melhor.

- **Telemedicina:** Trata-se qualquer tipo de aplicação que utiliza uma infraestrutura de telecomunicação para transmissão de dados na medicina, não só permite transmissão de dados, mas também permite a realização de ações médicas à distância por intermedio da comunicação. O uso da telemedicina nos hospitais ajuda na redução dos custos operacionais e melhora os diagnósticos, aumentando a eficiência e rapidez dos diagnósticos. Através da telemedicina os médicos podem fazer consultas a distância, dar

assistência a pacientes crônicos, a idosos, grávidas etc. Isto resulta na diminuição do fluxo nos hospitais, economiza tempo do paciente e reduz o custo com transportes.

- **Localização e rastreamento de ativos nos hospitais:** Através das etiquetas inteligentes RFID, é possível rastrear e localizar pessoas e objetos nos hospitais. As etiquetas respondem a sinais de rádio que são enviados por uma base transmissora, assim permitindo a localização dos ativos. Outra tecnologia que é usada atualmente, é Rastreamento de Ativos da Meridian. A Aruba Meridian usa a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para oferecer serviços de localização e de rastreamento de ativos da Aruba [35]. Nesta tecnologia é usada as tags em vez das etiquetas RFID, as tags enviam informações para AP (Access Points) configurado para BLE, através dos APs, a informações são enviadas para uma estação base ou nuvem, através do aplicativo Meridian consegue-se localizar os ativos no mapa. A vantagem de uso da tecnologia da aruba, não é precisam de uma estrutura de rede dedicada a rastreio.

3.4 Sumário e Conclusões

No primeiro momento deste capítulo foi apresentado de uma forma geral a norma 802.15.4, e depois falou-se da comunicação WBAN, tendo focado nos requisitos necessário para uma comunicação eficaz nas WBAN. Falou-se também da importância de uma comunicação eficaz nos Hospitais, e de como os dispositivos de comunicação mão-livre pode melhorar a qualidade de serviço nos Hospitais. Por fim, foi apresentado a importância da comunicação móvel de voz imagem e multimídia na melhoria da eficiência de trabalho.

Capítulo 4

Principais Tecnologias de comunicação sem fios para WBANs

Uma das formas mais desejadas de conectar dois dispositivos, é através da comunicação sem fios. Nesta comunicação os dados são enviados sem fios, isto é, através das ondas eletromagnéticas substituindo cabos e fios.

No espectro eletromagnético, a comunicação sem fios ocorre através das ondas de rádio que ocupam a frequência de 3 Hz até 3000 GHz [15]. Existe muitas tecnologias que operam neste intervalo de frequência, estas tecnologias vão variando dependendo do tipo de aplicação em que estão aplicadas [28]. Uma destas aplicações é, rede sem fios de área corporal (WBANs).

Como outras aplicações, a WBAN também tem vários tipos de tecnologias sem fio que podem ser envolvidas em todas as três principais camadas de comunicação que constituem esta rede (Intra-WBAN, Inter-WBAN e Além-WBAN). As principais tecnologias empregadas nas WBANs são:

- ♦ IEEE 802.15.6
- ♦ VLC
- ♦ ZigBee
- ♦ Wi-Fi
- ♦ IEEE 802.15.1 (Bluetooth)/BLE/Aruba Meridian software

4.1 Padrão IEEE 802.15.6

Em 2007, o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) criou um grupo de trabalho denominado IEEE 802.15 Task Group, este o objetivo deste grupo era desenvolver um padrão aplicado a dispositivos de comunicação sem fio de curto alcance e baixa potência, que podia operar dentro e ao redor do corpo humano, foi a partir daí que este grupo criou o padrão 802.15.6. Mas este padrão não se limitava só a aplicativos capazes de operar dentro e ao redor do corpo, mas atende a vários tipos de aplicações como: Medicas, Eletrônicas, Militares etc. Por isso, este padrão utiliza as bandas de radiofrequência científica, industrial e médica (ISM).

A WBAN geralmente é composta por nós simples e nó coordenador (hubs), a organização lógica desses nós é que forma uma rede WBAN (Body Area Networks) [29]. O nó coordenador coordena os nós simples para o acesso ao meio e gerenciamento de energia. As vezes uma WBAN é composta por um nó simples com capacidade de retransmissão, e faz com que a topologia em estrela passa a ser uma topologia de dois saltos facilitando a troca de informação entre nó coordenador e outros nós simples [10][29], como se apresenta na Figura 4.1.

Como se apresenta na Figura 4.2, com base no modelo da norma de referência IEEE 802, os nós na norma IEEE 802.15.6 também são compostos por duas camadas, a camada física (PHY) e a subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) [30]. Onde a camada PHY através do PHY SAP fornece o seu serviço a camada MAC, e a camada MAC usa o serviço MAC SAP para passar dados para subcamada MAC e a subcamada MAC passa os dados para camada PHY usando o serviço PHY SAP [31].

A norma IEEE 802.15.6 é classificada por três padrões de camada física, com diferentes bandas de frequência de transmissão de dados para cada camada, suportando taxa de dados de até 10 Mbit/s. A primeira é a Banda Estreita (NB) ela opera na faixa de 400, 800, 900 MHz e 2,3, 2,4 GHz.

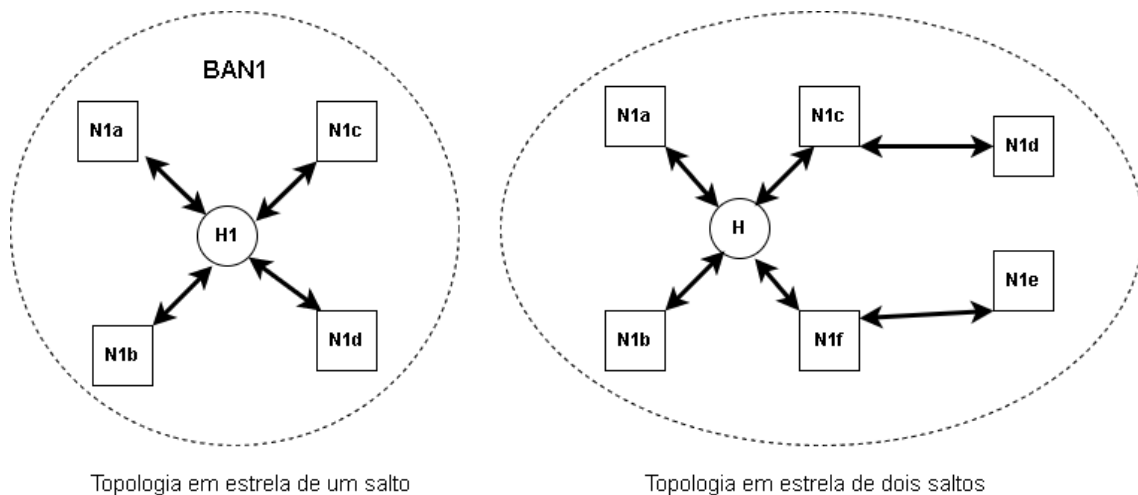


Figura 4.1 Topologia das WBANs [30].

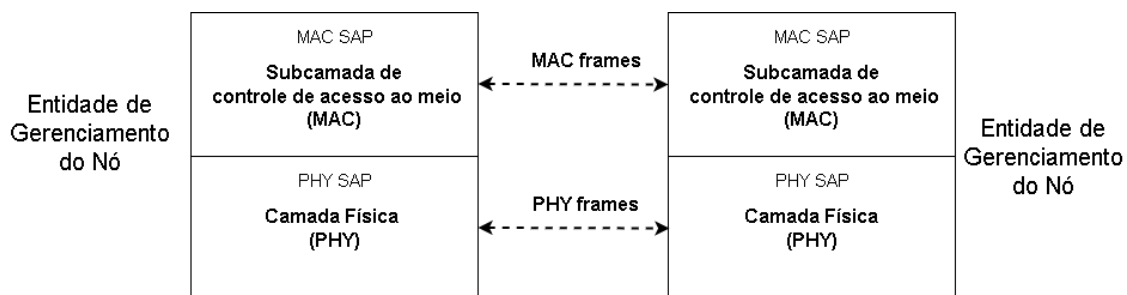


Figura 4.2 Modelo de Referência IEEE 802.15.6 [30].

A segunda é o Human Body Communication (HBC) esta opera na faixa de 50 MHz. E a tecnologia Ultra Wideband (UWB) opera entre 3,1 GHz a 10,6 GHz.

4.1.1 Camada Física (PHY)

As principais responsabilidades da camada PHY são seguintes [31]:

- Ativação e Desativação do transceptor de rádio;
- Verificação de uso do canal;
- Transmissão e Recepção de dados.

PHY também explica o procedimento para transformar uma unidade de dados de serviço (PSDU) em uma unidade de dados de protocolo (PPDU). A camada física é classificado por três padrões diferentes, com bandas de frequência de transmissão de dados diferente para cada padrão de camada[31]: Narrow Band (NB), Ultra-Wide Band (UWB) e Human Body Communication (HBC)[31][32].

- Narrow Band (NB) que é a banda estreita, opera na faixa de 400, 800, 900 MHz e 2,3 e 2,4 GHz. E para criar a PPDU na PHY NB, é preciso anexar dois componentes antes. Estes dois componentes são:

- PLCP o protocolo de convergência da camada física, ele auxilia o receptor durante a recuperação do deslocamento da portadora.
- PLCP o cabeçalho, é responsável pela transmissão das informações necessárias sobre os parâmetros PHY, para auxiliar na decodificação da PSDU no receptor decomposta em todos os campos (RATE, LENGTH, BURST MODE, SCRAMBLER SEED, HCS e BCH) [33].

- Ultra-Wide Band (UWB) a banda ultralarga foi projetada com finalidade de melhorar o desempenho das redes WBANs, oferecendo-lhes robustez, operação em baixa potência e pouca complexidade. Potência dos sinais usados na UWB, são muito baixo em relação aos usados na banda do Serviço de Comunicação de Implante Médico (MICS). Isso ajuda a fornecer um nível de energia seguro para o corpo humano[32].

- O UWB pode operar em dois grupos de bandas de frequência diferentes, onde as frequências obrigatórias, são: 3993,6 MHz em banda baixa e 7987,2 MHz em banda alta [33].

-PHY HBC camada física de comunicação no corpo humano, pretende-se é a possibilidade de várias aplicações desde aplicações medicas, de segurança, logística, entretenimento usando a tecnologia de comunicação de campo elétrico (EFC) [33].

A Figura 3.3 apresenta a estrutura da unidade de dados da camada física do UWB.

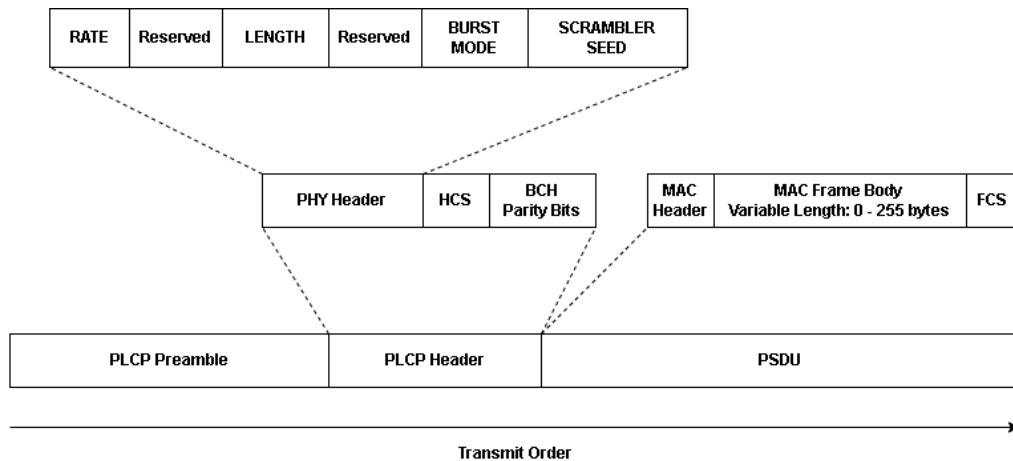


Figura 4.3 Estrutura da unidade de dados da camada física do UWB [33].

No HBC o pacote é composto por preâmbulo PLCP, para indicar início (SFD) o cabeçalho e carga do pacote [33]. HBC suporta transmissão e recepção na banda de 21 MHz [33].

4.1.2 Camada MAC

O que mais é desejável nas redes WBANs, é a eficiência no consumo de energia, porque isso influencia diretamente na vida útil de um nó sensor, todos os aspetos relacionados com o consumo energético como, Colisão de quadros, Dle Listening, Over hearing e Packet Overhead, todos estão relacionados com as funções da camada MAC [34][35]. Além disso, a MAC é responsável pelo controle de acesso ao canal e não só, também agenda as transmissões, empacota os dados, delimita os quadros, manipula os erros e gerência energia. Eficiência no mecanismo de acesso ao meio, é a melhor forma de melhorar o desempenho da MAC, para isso é preciso o usa de protocolo adequado e eficiente. E, usa-se dois protocolos principais TDMA (Time Division Multiple Access) ou CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) [34][35]. Todos os dois protocolos têm um consumo de energia adicional, CSMA/CA consome energia adicional para evitar colisões e TDMA para sincronização.

Já que os dois protocolos consomem energia adicional, a norma IEEE 802.15.6 definiu um protocolo específico para as redes WBANs. A figura 3.4 apresenta o formato das tramas MAC da IEEE 802.15.6.

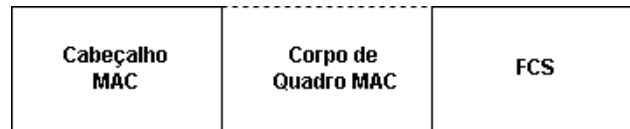


Figura 4.4 Formato da trama MAC

A trama MAC é composta por três partes principais como mostra a figura 5.4, o cabeçalho, o corpo e FCS (Frame Check Sequence). O cabeçalho tem um tamanho fixo, o corpo MAC com comprimento variável e FCS com comprimento fixo [35].

Cabeçalho MAC: traz com ele as informações de controle do quadro, e também costuma ter o endereço do destinatário e do remetente.

Corpo do quadro MAC: costuma conter dois campos de segurança que são opcionais.

Campo FCS é aplicado na detenção de erro utilizando CRC de 16 bits.

O padrão define três modos de operação em relação às estratégias de modos de acesso: [2].

Modo beacon com superquadros: Também conhecido como superframes, neste modo o hub que é nó coordenador organiza o acesso em fases que são:

- ✓ EAP (Exclusive Access Phase) conhecida como fase de acesso exclusivo.
- ✓ RAP (Random Access Phase) fase de acesso aleatório.
- ✓ MAP (Managed Access Phase) fase de acesso gerenciado.
- ✓ CAP (Contention Access Phase) fase de acesso com contenção.

A única fase que precisa de agendar a transmissão é a fase MAP, porque ela é gerenciada. As outras fases o nó pode usar o protocolo Aloha ou CSMA/CA para fazer transação de quadros [46][2].

Modo não-beacon com superquadros: Este modo tem MAP como única fase acesso.

Modo sem beacons sem superquadros: Neste modo o nó coordenador usa RAP1 ou EAP1 em qualquer intervalo de tempo para empregar acesso aleatório usando CSMA/CA.

4.2 Comunicação por Luz Visível

A comunicação por Luz Visível, é um meio através do qual, a luz visível é usado como meio transmissão de dados [49]. Isso significa que a comunicação é feita apenas na faixa do espectro eletromagnético compreendido entre 390nm a 700nm.

O objetivo desta comunicação, é transferir dados de forma invisível aos olhos humano, onde é possível ver apenas a iluminação comum.

Devido o aumento considerável dos dispositivos móveis nos últimos anos, estes dispositivos estão se tornando mais comuns na vida cotidiana das pessoas. Considerando este cenário, a crescente aglomeração da banda do espectro eletromagnético alocada ao Wi-Fi é um problema sério que tem preocupado a comunidade acadêmica [50][51]. Esse problema é conhecido como “Wi-Fi Spectrum Crunch”, e é frequente em ambientes onde há muita demanda por recursos sem fio. Como consequência, a infraestrutura existente não conseguiu fornecer os recursos adequados para comunicação sem fio [51]. Para resolver este problema, novas tecnologias foram desenvolvidas, dentre elas, a comunicação por Luz Visível (VLC) [50]. A Comunicação por Luz Visível (Figura 4.5) permite a utilização de frequências superiores às utilizadas em dispositivos WiFi, e o uso destas frequências, permite uma velocidade muito elevada que pode atingir TB/s nas comunicações sem fios [52].

Na figura 4.5, é apresentado o intervalo do espectro eletromagnético, que começa nas ondas de rádio com baixas frequências, e termina com a radiação gama com frequências elevadas. No meio destes intervalos, está o espectro visível da luz, possuindo ondas que variam entre 380nm a 750nm.

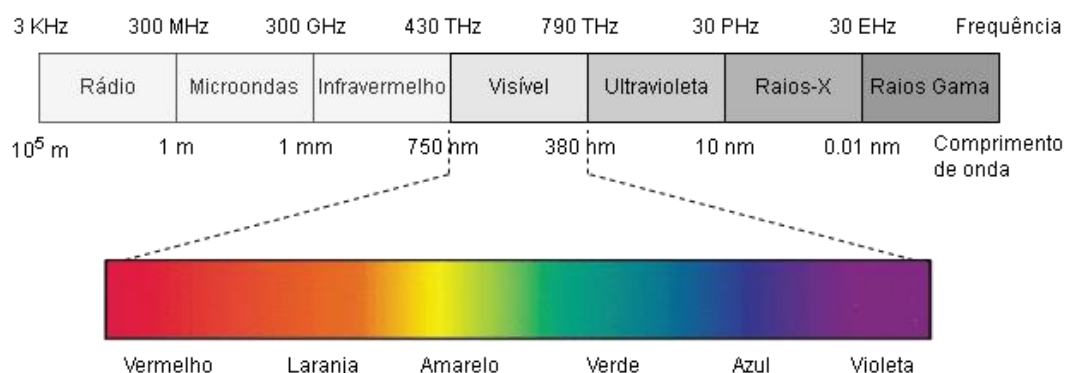


Figura 4.5 Luz visível no contexto do espectro eletromagnético [50][52].

O facto do espectro da luz visível não é licenciado, faz com que os dispositivos que comunicam por luz visível podem usar qualquer frequência para transmitir dados, estas frequências podem chegar na grandeza de THz. Isso torna a comunicação VLC vantajosa, e não apresenta perigo a saúde humana [54].

4.2.1 Arquitetura de Comunicação

Dois componentes principais formam um sistema VLC, transmissor para enviar dados e recetor para receber estes dados. Cada um destes componentes no geral é composto por três camadas principais: camada física, camada de enlace e a camada de aplicação. A arquitetura de um sistema VLC é baseada nestas camadas [55].

Um sistema VLC tem como objetivo, enviar dados usando a luz visível ao mesmo tempo fornecendo a iluminação. Para isso, é preciso sempre dois componentes envolvidos, um emissor e um recetor. Geralmente as lâmpadas LEDs são usadas para como transmissores, onde usam modulação da intensidade (IM) no processo de envio de dados. O recetor normalmente são fotossensores, eles usam detenção direta para captar a luz [49][56].

Apresenta-se na Figura 4.6 a arquitetura de um sistema VLC. O emissor (lâmpadas LEDs) enviam os dados através da IM (Intensity Modulation) [49]. O recetor depois de receber os raios da luz, é usado amplificador para tornar o sinal menos sujeito a ruídos e interferências, e é usado a demodulação para obter informação enviada. [49] [57].

Emissores: Normalmente são lâmpadas LEDs, onde uma lâmpada pode ter muitas LEDs. Os transístores controlam a corrente nos LEDs, eles manipulam as luzes emitidas pelos LEDs em alta frequências, tornando a comunicação invisível aos olhos humanos [58].

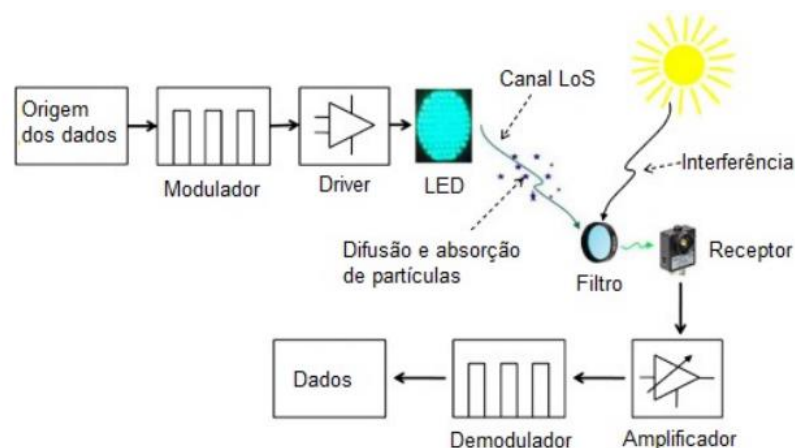


Figura 4.6 Arquitetura de um sistema VLC [58].

Recetores: Os recetores captam a luz e converte esta em corrente elétrica. Geralmente para recetores são utilizados fotodiodos [57]. Mas Os LEDs também podem ser utilizados como recetores por causas das características de fotosensores [49][59].

4.2.2 Topologias de Rede

A topologia de rede além de definir a forma como os dispositivos são organizados e distribuídos numa rede, também explica como estes dispositivos partilham informações. Esta distribuição e organização são feitas de ponto de vista físico e logico. Na VLC também acontece a mesma coisa, onde é definido na norma IEEE 802.15.7 três classe de dispositivos para VLC: infraestruturas, móvel e veículos, como se apresenta na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Estruturas propostas no IEEE 802.15.7 [49].

	Infraestrutura	Móvel	Veículo
Coordenador fixo	Sim	Não	Não
Fonte de energia	Ampla	Limitada	Moderada
Fonte de luz	Intensa	Fraca	Intensa
Mobilidade Física	Não	Sim	Sim
Alcance	Curto/Longo	Curto	Longo
Taxa de dados	Alta/baixa	Alta	Baixa

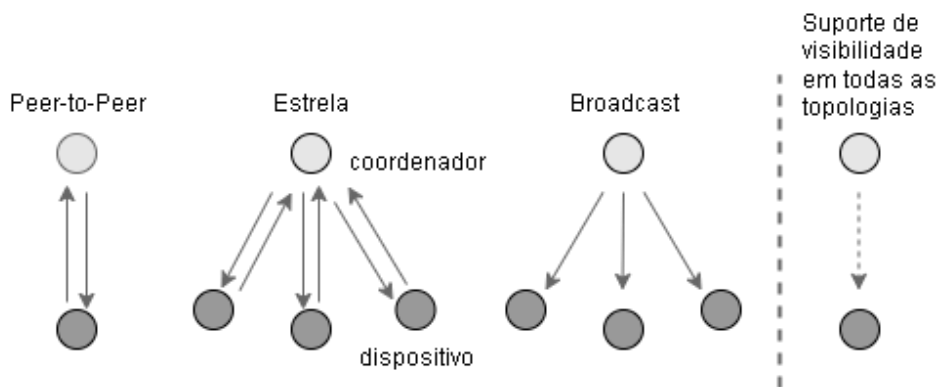


Figura 4.7 Topologias de rede de sistemas VLC de curto alcance [49].

A norma IEEE 802.15.7 definiu as aplicações da VLC em três topologias diferentes (Figura 4.7), cujo detalhes de operação são apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3:

Peer-to-Peer (PHI I): Nesta topologia, cada dispositivo pode comunicar com qualquer outro dispositivo na sua área de cobertura. Mas sempre tem um dispositivo que é coordenador, este dispositivo as vezes é o primeiro a comunicar no canal [49].

Tabela 4.2 Modo de operação PHY I [49].

Modulation	RRL code	Optical clock rate	FEC		Data rate
			Outer code (RS)	Inner code (CC)	
OOK	Manchester	200 KHz	(15.7)	1/4	11.67 kb/s
			(15.11)	1/3	24.44 kb/s
			(15.11)	2/3	48.89 Kb/s
			(15.11)	none	73.3 kb/s
			(none)	none	100 kb/s
VPPM	4B6B	400 KHz	(15.2)	none	35.56 kb/s
			(15.4)	none	71.11 kb/s
			(15.7)	none	124.4 kb/s
			none	none	266.6 kb/s

Estrela (PHI II):: Na topologia estrela, a comunicação só ocorre entre o dispositivo coordenador e restante outros dispositivos. Esta topologia não permite a comunicação entre dispositivos simples que estão na rede [49].

Tabela 4.3 Modo de operação PHY II [49].

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC	Data rate
VPPM	4B6B	3.75 MHz	RS (64.32)	1.25 Mb/s
			RS (160.128)	2 Mb/s
		7.5 MHz	RS (64.32)	2.5 Mb/s
			RS (160.128)	4 Mb/s
			none	5 Mb/s
OOK	8B10B	15 MHz	RS (64.32)	6 Mb/s
			RS (160.128)	9.6 Mb/s
		30 MHz	RS (64.32)	12 Mb/s
			RS (160.128)	19.2 Mb/s
		60 MHz	RS (64.32)	24 Mb/s
			RS (160.128)	38.4 Mb/s
		120 MHz	RS (64.32)	48 Mb/s
			RS (160.128)	76.8 Mb/s
none	96 Mb/s			

Broadcast (PHI III):: A topologia Broadcast per que dispositivo envie informações para outros dispositivos sem uma rede. Neste caso, a comunicação é unidirecional [49].

Tabela 4.4 Modo de operação PHY III [49].

Modulação	Optical clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS (64.32)	12 Mb/s
8-CSK		RS (64.32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS (64.32)	24 Mb/s
8-CSK		RS (64.32)	36 Mb/s
16-CSK		RS (64.32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96Mb/s

4.2.3 Padrão IEEE 802.15.7

O crescente interesse em VLC, levou IEEE a criar o padrão IEEE 802.15.7 [49]. O padrão IEEE 802.15.7 foi aprovado em 2011 com o objetivo de especificar a camada Física e a camada MAC para comunicação por luz visível [49][60].

4.2.3.1 Camada Física

A cama física envolve no processo de transmissão de dados enviados da camada superior, sendo que o meio de transmissão destes dados (luz), se encontra abaixo da camada PHY [49][60]. Tem alguns aspetos a considerar na camada física como, a perda de caminho, ruídos, fluxo luminoso e propagação [49].

Fluxo luminoso e perda de caminho: A comunicação VLC tem dois objetivos principais, transmissão de dados e iluminação. Por isso, luminosidade e a comunicação satisfatória devem ser prioridade num sistema VLC [49]. Para determinar as características da luz numa perspetiva de visão humana, como cor, brilho e outros, usa-se os parâmetros fotométricos. E os parâmetros radiométricos são usados para medir a energia da radiação eletromagnética da luz. Os dois parâmetros servem para definir o fluxo luminoso, que representa a energia emitida por um LED. A perda de caminho é calculada através do fluxo luminoso [61].

Propagação: Em alguns casos é preciso vários transmissores em ambiente interior, neste caso, as superfícies das lâmpadas LEDs podem refletir a luz emitida. Por isso é importante ter em consideração as luzes refletidas [49].

Ruídos: A eliminação dos ruídos, é muito importante para eficácia da comunicação. Na comunicação VLC, o ruído pode ser provocado pela luz solar nos ambientes externos, capaz de prejudicar uma comunicação VLC [49]. O uso de filtros pode ser solução para eliminar interferências, e os LEDs também podem ser utilizados porque são "fotodiodos seletivos" [49].

4.2.3.2 Camada MAC

Pelo facto das aplicações VLC são constituídos por muitos usuários, isto é, muitos dispositivos conectados ao mesmo tempo. Neste caso, para tornar a comunicação mais eficaz, foi necessário criar mecanismos para controlar o acesso ao meio [58]. Para isso, a camada MAC tem três métodos para múltiplo acesso ao meio (MAC).

Estes métodos são:

1. **Carrier Sense Multiple Access (CSMA):** São propostos dois tipos de protocolos CSMA no padrão IEEE 802.15.7. No primeiro protocolo, são desabilitados os sinais emitidos pelo coordenador. Neste caso, é utilizado um canal de acesso aleatório não alocado. Daí, se um dispositivo quiser transmitir, ele deve esperar por um momento chamado back-off period, quando este momento chegar, o dispositivo deve ver se o canal está livre. Se o canal não estiver livre, antes do dispositivo tentar transmitir de novo, ele deve esperar por um período back-off period novamente. No segundo tipo de protocolo CSMA, os sinais dos coordenadores são habilitados [49]. Quando um dispositivo quiser transmitir, primeiro ele deve encontrar o início do back-off slot seguinte, e esperar por um número aleatório antes de tentar avaliar o canal. Se o canal estiver livre, o dispositivo inicia a transmissão [63].
2. **Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA):** No OFDMA, vários usuários subcarriers, que são blocos de diferentes recursos para comunicação. A OFDM utiliza OFDMA para múltiplo acesso ao canal [62].
3. **Code Division Multiple Access (CDMA):** Na comunicação VLC, o CSMA utiliza OCDMA para permitir que vários usuários diferentes possam ter acesso ao mesmo canal. OCDMA é um conjunto de códigos óticos ortogonais [58].

4.3 Wi-Fi

WiFi é um conjunto de especificações técnicas para redes locais sem fio (WLAN), e é baseada no padrão IEEE 802.11. Uma rede WiFi, permite que os usuários transmitam dados em velocidade de banda larga, isto é, se estiverem conectados a um ponto de acesso (AP) [39]. WiFi transmite os dados por meio de sinais de radiofrequência nas bandas não licenciadas conhecidas como ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), e os nós podem transmitir as informações via internet através do router padrão WiFi e outras aplicações sem o uso de router. A banda ISM permite transferência de dados na banda compreendida entre 2.4GHz a 5GHz [39].

WiFi permite transferência de dados em grande quantidade e alta velocidade para redes sem fios, muitos aparelhos de uso cotidiano vem com WiFi integrado, o que torna esta rede vantajosa. Tendo como desvantagem o consumo energético e probabilidade de interferências no canal [39].

4.3.1 Versões do WiFi

WiFi 802.11 legacy: é a versão original do WiFi, e operava na faixa de 2.4GHz a 2.4835 e suportava uma taxa de transmissão de dados de 1 Mb/s e 2 Mb/s.

WiFi 802.11b: a principal característica desta versão, é a possibilidade de poder transmitir seguintes taxas de dados: 1 Mb/s, 2 Mb/s, 5,5 Mb/s e 11 Mb/s.

Esta versão do WiFi trabalhava no intervalo de frequência entre 2.4GHz e 2.4835. Chegava a cobrir um alcance de até 400 metros no espaço aberto e 50 metros no espaço fechado.

WiFi 802.11a: é a segunda alteração que WiFi sofreu na sua versão original, a inovação que esta versão trouxe, é a possibilidade de transferir taxas de dados mais elevadas. Permitindo transferência como 6 Mb/s, 9 Mb/s, 12 Mb/s, 18 Mb/s, 24 Mb/s, 36 Mb/s, 48 Mb/s e 54 Mb/s. A 802.11a tem um alcance no espaço fechado de até 50 metros, opera na faixa de frequência de 5 GHz com canais de 20 MHz dentro dessa faixa. A vantagem desta versão é, a possibilidade transferência de dados em elevada taxa, e o uso da frequência 5GHz na transferência de dados.

WiFi 802.11g: É a versão melhorada do WiFi 802.11b, e são totalmente compatíveis. Ele suporta taxas de transmissão de dados até 54 Mb/s, operando na faixa de frequência de 2.4 GHz, com canais de 20 MHz, e tem alcance igual a do 802.11b.

Wi-Fi 4: 802.11n: Esta versão tem como característica principal, a técnica MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*). Esta técnica permite transferência de dados em grande quantidade, usando técnica de combinação de várias antenas, permitindo com que WiFi possa ter vários emissores e recetores.

Usando a técnica MIMO, consegue-se enviar dados de 300 Mb/s e em alguns casos pode atingir 600 Mb/s. Sem o uso de MIMO, a transmissão pode atingir 150 Mb/s na frequência de 2.4 GHz e 5 GHz. O que o torna compatível com as versões anteriores. E cobre uma de alcance de até 400 metros [39].

4.4 ZigBee

ZigBee é um protocolo de comunicação sem fio padronizado pelo IEEE 802.15.4. Ele atua na camada MAC e na camada PHY do padrão IEEE 802.15.4 para redes de baixa taxa de dados e curto alcance, que atinge de 10 a 100 metros[36][37]. As topologias das redes ZigBee podem variar dependendo da aplicação, sendo elas: Topologia em estrela, malha e árvore de cluster. Todas elas empregam três tipos de dispositivos ou nós, que são: nó coordenador, router e dispositivo final [38].

- **Nó coordenador** é responsável pelo gerenciamento da rede e roteamento de dados.
- **Dispositivos finais** são sensores com função de coletar e transmitir dados. Em muitos dos casos estes dispositivos ficam desligados quando não estão a coletar dados, para aumentar o tempo de vida da bateria.
- **Router** é meio de ligação entre dispositivos finais e nó coordenador para transmissão de dados. O router existe só nas redes multi-hop, não existe nas redes ponto a ponto.

O foco da ZigBee é nos aplicativos de RF que exige muita segurança, baixa taxa de dados e longa vida útil da bateria. [39]

O sistema ZigBee pode operar em três bandas diferentes não licenciadas. Banda de 2,4 GHz que suporta taxa de dados até 250 Kbps, a banda 915 MHz capaz de suportar 40 Kbps de dados e 868 MHz que suporta máxima taxa de dados de até 20 Kbps [16].

4.5 IEEE 802.15.1 (Bluetooth)/Bluetooth Low Energy (BLE)/Aruba Meridian software

4.5.1 Bluetooth Low Energy (BLE)

A primeira versão da tecnologia Bluetooth, é formalmente conhecido por Bluetooth BR (Basic Rate). Ele oferecia uma taxa de dados brutos na camada física de 1 milhão de bits por segundo (1 Mb/s) [40][42]. Mais tarde, foi definida uma versão mais rápida da tecnologia Bluetooth conhecida como Bluetooth BR/EDR (Enhanced Data Rate). Ele oferecia uma taxa de dados brutos de 2 Mb/s, mas ainda era projetado para casos de uso envolvendo dois dispositivos trocando dados diretamente entre eles [40].

Devido a necessidade de superar as dificuldades desta tecnologia, nomeadamente a velocidade e o consumo energético, foi lançado Bluetooth Low Energy (LE) materializado pela primeira vez na versão 4.0 da Bluetooth Core Specification¹. Esta versão da tecnologia Bluetooth, não substitui o seu antecessor, Bluetooth BR/EDR, mas sim surgiu ao lado dela como uma alternativa com capacidades e qualidades melhor, o que o torna perfeita para uma nova geração de produtos e a capacidade de atender novas e desafiadoras técnicas e requisitos funcionais [40].

O Bluetooth LE suporta outras topologias além da comunicação ponto a ponto entre dois dispositivos com um modo de transmissão que permite que um dispositivo transmita dados para um número ilimitado de receptores simultaneamente [40]. É também a base da rede de malha Bluetooth, nesta topologia, permite a criação de redes de dezenas de milhares de dispositivos, e cada um destes dispositivos é capaz de comunicar com qualquer outro dispositivo na rede. A comunicação um-para-um entre dois dispositivos é suportada tanto pela comunicação orientada à conexão quanto pela comunicação sem conexão. A comunicação um-para-muitos é suportada pela transmissão sem conexão[42].

Um dos objetivos originais do projeto para a tecnologia Bluetooth LE, era ser altamente eficiente no uso de energia. Superando as dificuldades energéticas nos dispositivos que funcionavam com baterias que duravam dias, semanas ou mais, isso explica muitas das características definidoras do Bluetooth LE. Em particular, o design atribui recursos e responsabilidades assimétricas aos dispositivos, buscando garantir que dispositivos com uma fonte de energia relativamente abundante, como uma grande bateria de smartphone, façam mais trabalho pesado do que dispositivos pares que funcionam com

baterias de célula mais pequenas [40]. Essa e outras decisões de projeto fizeram do Bluetooth LE a tecnologia de comunicação sem fios de baixo consumo energético.

Especificações do Bluetooth LE

Para compreender de uma forma profunda e completa do BLE, é necessário conhecer a sua arquitetura, procedimentos e protocolos que estão bem definidos por uma especificação chamada Bluetooth Core Specification [40][43].

A Especificação do Núcleo Bluetooth

Na especificação Bluetooth Core é definida a arquitetura da tecnologia e suas camadas para Bluetooth LE e Bluetooth Classic. Também descreve define e descreve seus principais recursos e define os procedimentos formais subjacentes às operações importantes e os protocolos com os quais os dispositivos podem se comunicar em uma determinada camada da pilha. A Bluetooth Core Specification define como a tecnologia Bluetooth funciona e os requisitos para desenvolvedores ao implementar uma pilha protocolar Bluetooth ou um ou mais de seus recursos [40].

Especificações do Perfil

Os perfis são regras e comportamentos que os dispositivos e aplicativos Bluetooth utilizam para comunicar entre si. Os perfis fornecem informações como, que tipo de dados estão a ser transmitidos. Os perfis estão divididos em dois Perfis principais, estes perfis são [40]:

- ✓ Perfil de Controle de Mídia (A2DP, GAVDP, AVRCP, BIP, BPP, VDP)
- ✓ Perfis de Controle de Sistemas de Comunicações (DI, DUN, HFP, HSP, PAN)

Especificações de Serviço

Os dados de estado nos servidores residem em itens de dados definidos formalmente, conhecidos como características e descritores. Características e descritores são agrupados dentro de construções conhecidas como Serviços. Os serviços fornecem um contexto para atribuir significado e comportamentos às características e descritores que eles contêm. Uma especificação de serviço define um único serviço juntamente com as características e descritores que ele contém. Os comportamentos a serem exibidos pelo dispositivo que hospeda o serviço em resposta a várias condições e valores de dados de estado são definidos na especificação do serviço. Uma especificação de serviço pode ser

considerada como definindo um aspeto do comportamento de um dispositivo servidor [40].

Números Atribuídos

Vários aspetos do Bluetooth LE fazem uso de identificadores exclusivos. Por exemplo, todos os serviços, características e descritores têm um identificador único universal (UUID) estes identificadores identificam o modelo do serviço, característica ou descritor ao qual se refere, em vez de uma instância específica em um dispositivo específico. Também serve para identificar uma empresa por meio de um identificador único de empresa, algo que é exigido por determinados perfis. Os identificadores alocados pelo Bluetooth SIG são conhecidos como números atribuídos e uma lista completa de tais identificadores [40].

4.5.2.1 A Pilha Protocolar Bluetooth LE

De acordo com a Figura 4.8, a pilha protocolar Bluetooth LE consiste em várias camadas e módulos funcionais, alguns dos quais são obrigatórios e alguns dos quais são opcionais [44].

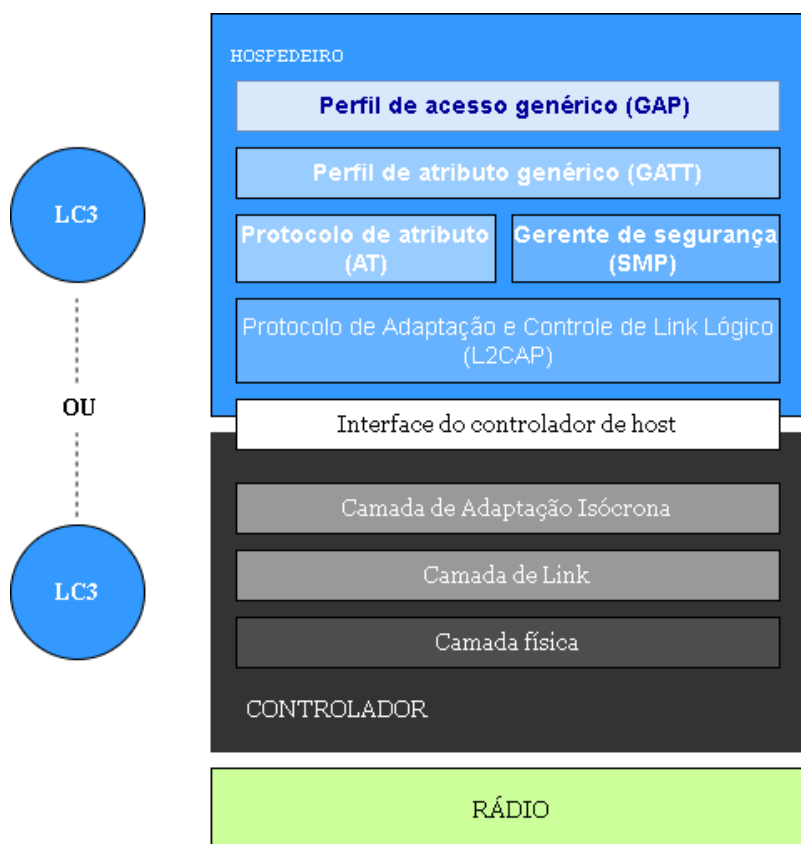


Figura 4.8 Pilha Bluetooth LE [44].

Arquitetura de alto nível

As partes da pilha são distribuídas em dois grandes blocos arquitetônicos conhecidos como hospedeiro e controlador e tem uma interface lógica padrão que define a maneira pela qual esses dois componentes podem se comunicar [40]. O host geralmente é algo como um sistema operacional. O controlador geralmente é um sistema em um chip. Nas especificações do Bluetooth não exigem tais detalhes de implementação [45]. O importante é que o host e o controlador atuem como um bloco lógico separado na arquitetura que poderia ser implementado em componentes fisicamente separados de alguma forma, com uma interface padrão definida para comunicação entre eles. Isso permite que um sistema Bluetooth consista em componentes de host e controlador de diferentes fabricantes [40][44].

O Host Controller Interface (HCI) indica a interface lógica entre eles, mas não é um componente físico como tal. A HCI pode ser implementada de várias maneiras diferentes em termos de transporte físico subjacente, mas a interface lógica ou funcional é sempre a mesma [40].

LC3 é o Codec de Comunicação de Baixa Complexidade, o Codec de áudio padrão usado com Bluetooth LE Áudio. Ele não faz parte da pilha padrão Bluetooth LE como tal, mas sempre será encontrado em produtos LE Áudio, com o componente LC3 implementado no host ou no controlador, conforme mostrado [40].

A Figura 4.9 apresenta o modelo de referência OSI padrão para sistemas de comunicação. Deve-se notar que a pilha Bluetooth LE abrange todas as camadas do modelo de referência OSI em contraste com muitos outros sistemas sem fio que abrangem apenas um subconjunto das camadas OSI, como as camadas física e de enlace de dados.

Uma vantagem que a tecnologia Bluetooth tem por ser um sistema de comunicação full stack é que não há dependências externas de outros órgãos de padrões. Tais dependências podem restringir a evolução de uma tecnologia [40].

A malha Bluetooth usa o controlador Bluetooth LE com camada de link e camada física, enquanto a parte do host contém uma coleção de camadas alternativas que implementam os protocolos e procedimentos da malha Bluetooth, tal como se apresenta na Figura 4.10

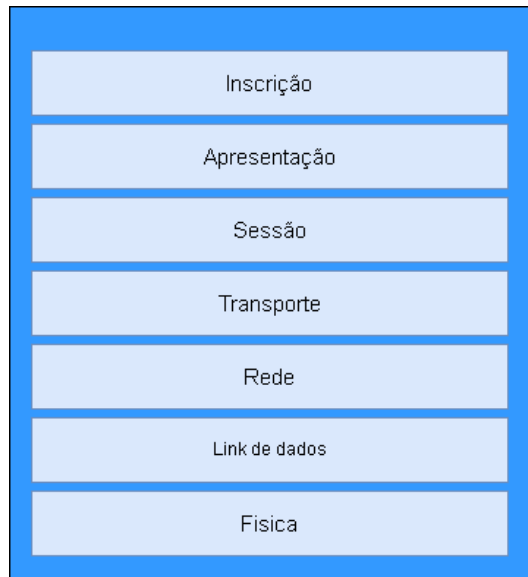


Figura 4.9 O Modelo de Referência OSI [44].

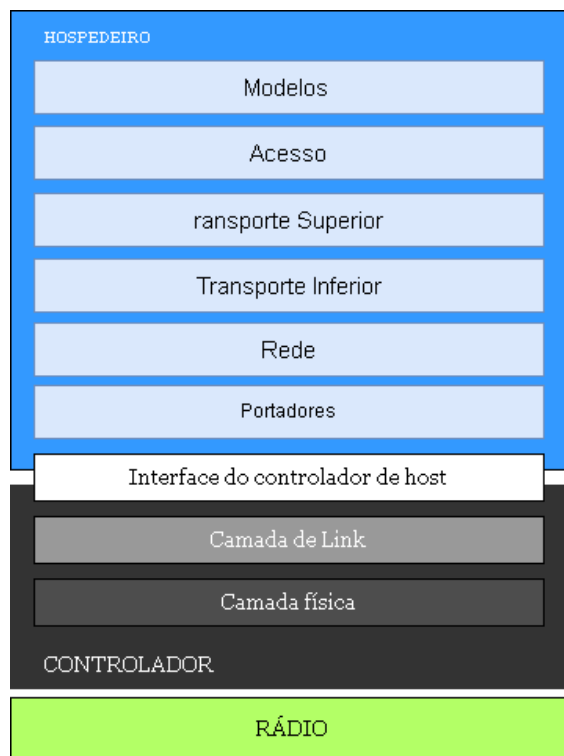


Figura 4.10 A pilha de malha Bluetooth [44].

A Tabela 4.5 apresenta Principais responsabilidades e recursos de cada camada da pilha Bluetooth LE.

Tabela 4.5 Principais responsabilidades e recursos de cada camada da pilha Bluetooth LE [44].

Camada	responsabilidades chave
Camada física	Define todos os aspetos da tecnologia Bluetooth relacionados ao uso de rádio (RF), incluindo esquemas de modulação, bandas de frequência, uso de canal, características de transmissor e recetor. Várias combinações distintas e suportadas de parâmetros de camada física são definidas e são chamadas de PHYs.
Camada de Link	Define formatos de pacotes de interface aérea, procedimentos de processamento de fluxo de bits, como verificação de erros, uma máquina de estado e protocolos para comunicação sem fio e controle de link. Define várias maneiras distintas de usar o rádio subjacente para comunicação sem conexão, orientada a conexão e isócrona conhecida como transportes lógicos.
Camada de Adaptação Isócrona (ISOAL)	Permite que diferentes durações de quadros sejam usadas por dispositivos que usam comunicação isócrona. Executa segmentação e remontagem de PDUs emolduradas ou fragmentação e recombinação de PDUs não emolduradas
Interface do controlador de host (HCI)	Fornecer uma interface funcional bem definida para comunicação bidirecional de comandos e dados entre o componente host e o controlador. Suportado por qualquer uma das várias implementações de transporte físico.
Protocolo de Adaptação e Controle de Link Lógico (L2CAP)	Atua como um multiplexador de protocolo dentro do host, garantindo que os protocolos sejam atendidos pelo componente host apropriado. Executa a segmentação e remontagem de PDUs/SDUs entre a camada abaixo e a camada acima do L2CAP.
Protocolo do Gerenciador de Segurança (SMP)	Um protocolo usado durante a execução de procedimentos de segurança, como emparelhamento.
Protocolo de Atributo (ATT)	Um protocolo usado por um cliente ATT e um servidor ATT que permite a descoberta e uso de dados na tabela de atributos do servidor.
Perfil de atributo genérico (GATT)	Define tipos de dados de alto nível conhecidos como serviços, características e descritores em termos de atributos subjacentes na tabela de atributos. Define procedimentos de nível superior para usar ATT para trabalhar com a tabela de atributos.
Perfil de acesso genérico (GAP)	Define modos e procedimentos operacionais que podem ser usados quando em um estado não conectado, como como usar publicidade para comunicação sem conexão e como realizar a descoberta de dispositivos. Define níveis e modos de segurança. Define alguns padrões de interface do usuário.

4.5.2.2 A Camada Física

A camada física do Bluetooth LE define como o transmissor/recetor de rádio é usado para codificar e decodificar dados digitais para transmissão e recebimento e outros parâmetros e propriedades relacionados ao rádio que se aplicam [40].

- Banda de Frequência

O Bluetooth LE opera na banda não licenciada de 2,4 GHz na faixa de 2400 MHz a 2483,5 MHz que é dividida em 40 canais, cada um com espaçamento de 2 MHz. Como os canais são usados é definido pela camada de enlace e pela arquitetura de transporte de dados.

- Esquema de Modulação

Para codificar dados digitais de camadas superiores da pilha antes da transmissão e para decodificar os sinais de rádio recebidos, o Bluetooth LE usa um esquema de modulação chamado Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK). O GFSK funciona pegando um sinal com a frequência central do canal selecionado (operadora) e deslocando-o para cima em uma quantidade especificada para representar um valor digital de 1 ou para baixo na mesma quantidade para representar um valor binário de 0[40]. A filtragem gaussiana é aplicada ao sinal para reduzir o ruído que pode acompanhar mudanças abruptas de frequência. A Figura 6 ilustra o processo básico de codificação por deslocamento de frequência. Observe que a quantidade pela qual a frequência é deslocada é conhecida como desvio de frequência e é pelo menos +/-185 kHz ou pelo menos 370 kHz dependendo da variante PHY em uso [40][44].

- Variantes PHY

São definidas três variantes de esquema de modulação. Cada variante é chamada de PHY e tem um nome. As velocidades de transmissão na camada física são medidas em símbolos por segundo em vez de bits por segundo, porque a camada física lida apenas com artefactos de rádio analógicos, não com conceitos digitais [40].

O Bluetooth LE usa um esquema de modulação binária, no entanto, o que significa que um único símbolo analógico representa um único bit digital mais alto na pilha, tal como se apresenta na Figura 4.11.

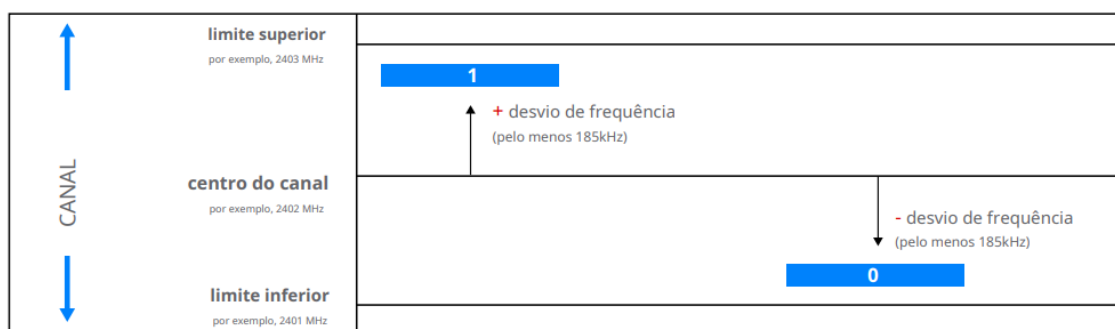


Figura 4.11 Key Shift de Frequência no Bluetooth LE [40][44].

Os três tipos de PHY definidos são resumidos da seguinte forma [40][44]:

- LE 1MPHY: usa uma taxa de símbolo de 1 Msym/s com um desvio de frequência necessário de pelo menos 185 kHz e não usa codificação. Todos os dispositivos devem suportar o LE 1M PHY.
- LE 2MPHY é semelhante a LE 1M, mas usa uma taxa de símbolo de 2 Msym/s e tem um desvio de frequência de pelo menos 370 kHz. O suporte para o LE 2M PHY é opcional.
- LECoded PHY: usa uma taxa de símbolo de 1 Msym/s, mas os pacotes estão sujeitos a uma codificação chamada Forward Error Correction (FEC), que é definida na camada de ligação de dados. O FEC aumenta o alcance das transmissões, mas reduz a taxa de dados da aplicação. O suporte para o LE Coded PHY é opcional [40][44].

A Tabela 4.6 apresenta a comparação dos três PHY.

Taxa de Símbolos. A taxa na qual os símbolos analógicos são transmitidos na camada física.

Taxa de dados do protocolo. A taxa de transmissão de bits das unidades de dados do protocolo Bluetooth (PDUs), incluindo a carga útil de dados de aplicativo, mas excluindo dados FEC que são incluídos em pacotes quando o PHY Codificado LE está em uso.

Tabela 4.6 Comparação dos três PHYs [40][44].

	LE 1M	LE Cod S=2	LE Cod S=8	LE 2M
Taxa de Símbolos	1 ms/s	1 ms/s	1 ms/s	2 ms/s
Taxa de dados do protocolo	1 Mbit/s	500 kbit/s	125 kbit/s	2 Mbit/s
Taxa de dados máx. da aplicação	~800 kbit/s	~400 kbit/s	~100 kbit/s	~1400 kbit/s
Deteção de erros	CRC	CRC	CRC	CRC
Correção de erros	Nenhum	FEC	FEC	Nenhum
Multiplicador de alcance	1	2	4	0.8
Requerimento	Obrigatório	Opcional	Opcional	Opcional

Taxa de dados do aplicativo. Uma taxa máxima aproximada na qual os dados do aplicativo podem ser comunicados entre aplicativos em dispositivos conectados. Os dados do aplicativo são transportados na parte de carga útil de várias PDUs com o restante da taxa de dados do protocolo sendo consumido pelos dados do protocolo Bluetooth.

CRC. Verificação de redundância Cíclica. Um campo usado na detecção de erros de transmissão. O uso deste campo é definido na camada de ligação.

Divisão de Tempo

Um rádio Bluetooth LE é um dispositivo half- duplex, capaz de transmitir e/ou receber, mas não ambos ao mesmo tempo [40]. No entanto, todos os PHYs são usados em um esquema TDD (Time Division Duplex) para que a aparência de um rádio full- duplex seja dada.

Potência de Emissão e Sensibilidade do Recetor

A camada física define as características do transmissor, incluindo os requisitos de potência de saída para os quais a especificação declara que: nível de potência de saída na configuração de potência máxima deve estar entre 0,01 mW (-20 dBm) e 1 00 mW (+20 dBm).

É permitido que esses requisitos sejam substituídos e os implementadores devem garantir que os dispositivos estejam em conformidade com os regulamentos locais aplicáveis.

A sensibilidade do recetor é definida como o nível de entrada do recetor para o qual uma determinada Taxa de Erro de Bit (BER) é experimentada. O BER especificado varia de acordo com o comprimento de um pacote recebido porque a camada de enlace anexa um único campo CRC (Cyclic Redundancy Check) a cada pacote e usa isso como um mecanismo para detetar um ou mais bits com erro no pacote decodificado. Como os pacotes variam em comprimento e há um CRC por pacote, o comprimento do pacote afeta o BER calculado [40]. É considerado que a sensibilidade do recetor Bluetooth LE é o BER de 0,1%, que é a taxa de erro máxima para pacotes de até 37 octetos de comprimento. Dentro características do recetor definidas pela camada física incluem desempenho de interferência, bloqueio fora de banda, características de intermodulação,

nível máximo de entrada utilizável e a precisão necessária das indicações de intensidade do sinal recebido (RSSI), se suportadas [44].

Comutação de Antena

O Bluetooth LE suporta dois métodos de cálculo da direção de transmissão de um sinal recebido. O primeiro é chamado de Ângulo de Chegada (AoA) e o segundo, Ângulo de Partida (AoD). Ambos os métodos envolvem um dispositivo com uma matriz de antenas e um processo de comutação de uma antena para outro durante a transmissão de sinais de orientação (método AoD) ou ao receber sinais (método AoA) [40]. Os sinais de localização de direção são pacotes Bluetooth padrão que incluem um campo Constant Tone Extension (CTE). As matrizes de antenas vêm em muitos designs diferentes e a comutação de uma antena para a próxima pode seguir uma variedade de padrões de comutação diferentes. Isso é controlado pelo host, mas a camada física também define algumas regras geralmente aplicáveis sobre o processo de comutação de antena, requisitos de recetor relacionados e algumas definições úteis.

4.5.2.3 Camada de Ligação de Dados

A camada de enlace ou ligação de dados tem muitas responsabilidades. Ele define vários tipos de pacotes que são transmitidos pelo ar e um protocolo de interface aéreo associado. Seu funcionamento está sujeito a uma máquina de estados bem definida. Dependendo do estado, a camada de enlace pode operar de várias maneiras diferentes, impulsionadas por eventos de vários tipos. Numerosos procedimentos de controle que afetam o estado de uma ligação ou parâmetros de utilização ligação são definidos. A seleção e classificação do canal de rádio são definidas na especificação da camada de enlace. A camada de link suporta comunicação conectada e sem conexão e temporização de eventos determinísticos e (levemente) aleatórios. Ele suporta comunicação ponto a ponto entre dois dispositivos e comunicação um-para-muitos de um dispositivo simultaneamente para um número ilimitado de dispositivos recetores. Grande parte da versatilidade do Bluetooth LE está enraizada na sofisticação da camada de link [40].

- Pacotes

A camada de enlace define dois tipos de pacotes. O primeiro é usado pelos PHYs não codificados, LE 1M e LE 2M e o segundo pelo PHY Codificado LE. As Figuras 4.12 e 4.13 apresentam as suas características.

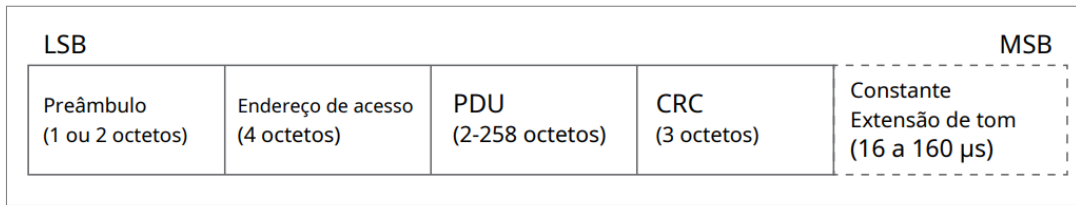


Figura 4.12 Formato do pacote da camada de link para os PHYs não codificados LE [40].

Ambos os tipos de pacotes incluem os campos Preâmbulo, Endereço de acesso, e CRC. A Tabela 1 explica cada um desses campos comuns [40].

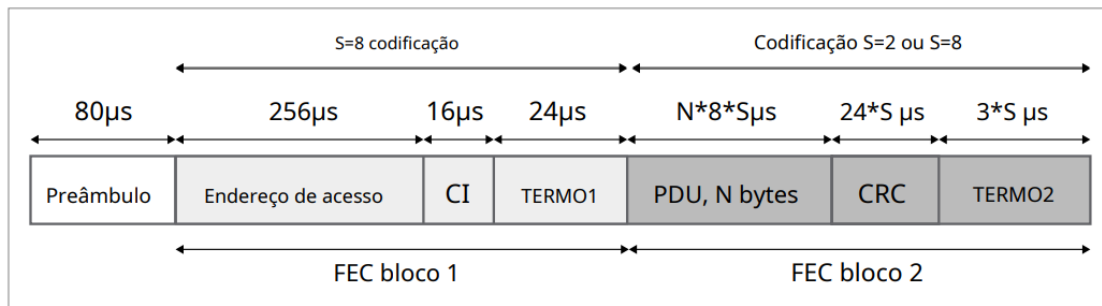


Figura 4.13 Pacote de camada de link para o PHY codificado em LE [40].

- ♦ **Preâmbulo:** O preâmbulo permite que o recetor sincronize precisamente na frequência do sinal, realize o controle automático de ganho e estime o tempo do símbolo.
- ♦ **Endereço de acesso:** O endereço de acesso é usado pelos recetores para diferenciar os sinais do ruído de fundo e determinar a relevância ou não de um pacote para o dispositivo recetor. Por exemplo, um par de dispositivos conectados troca pacotes com o mesmo endereço de acesso alocado aleatoriamente. Os dispositivos que não participam da conexão ignorarão esses pacotes, pois o endereço de acesso não é relevante para eles. Da mesma forma, todos os pacotes de publicidade herdados usam o mesmo endereço de acesso com um valor de 0x8E89BED6 que indica que esses pacotes podem ser recebidos por todos os dispositivos.
- ♦ **CRC:** A Verificação de Redundância Cíclica é usada para detecção de erros. Seu valor é calculado pelo transmissor usando o valor dos outros bits do pacote. Ao receber um pacote, o dispositivo recetor também calcula um valor CRC a partir dos valores dos bits no pacote recebido, além daqueles que compõem o campo CRC. O CRC calculado do recetor é então comparado com o valor do campo CRC no pacote. Se os dois valores CRC corresponderem, o pacote foi recebido corretamente. Caso contrário, considera-se que contém um ou mais bits com erro.

O campo PDU dos pacotes da camada de link pode conter uma variedade de unidades de dados de protocolo (PDUs) diferentes, dependendo de como o Bluetooth LE está sendo usado. A Extensão de Tom Constante (CTE) só está presente quando um dos dois métodos de localização de direção (Ângulo de chegada ou Ângulo de partida) está em uso[44]. Os campos PDU e CRC são submetidos a um processo chamado branqueamento antes do pacote ser transmitido. O objetivo do clareamento é evitar longas sequências de zeros ou uns nos pacotes, pois isso pode fazer com que o bloqueio de frequência do receptor se desvie. O processo de clareamento é revertido pelo receptor para restaurar o fluxo de bits original antes que o CRC seja verificado [40].

- Máquina de Estados

A camada de ligação de dados é controlada por uma máquina de estados que é mostrada na Figura 4.14

Espera: O dispositivo não transmite nem recebe pacotes.

Iniciando: Responde a pacotes de publicidade de um determinado dispositivo para solicitar uma conexão.

Publicidade: Transmite pacotes de publicidade e potencialmente processa pacotes enviados em resposta a pacotes de publicidade por outros dispositivos.

Conexão: Em uma conexão com outro dispositivo.

Digitalização: Ouvindo pacotes de publicidade de outros dispositivos.

Transmissão isócrona: Transmissões isócrona pacotes de dados.

Sincronização: Escuta anúncios periódicos pertencentes a um determinado trem de publicidade transmitido por um determinado dispositivo.

Quando no estado de conexão, duas funções de dispositivo importantes são definidas. Estes são o papel central e o papel periférico. Um dispositivo que inicia uma conexão e faz a transição do estado de inicialização para o estado de conexão assume a função Central. Um dispositivo que aceita uma solicitação de conexão, passando do estado Publicidade para o estado Conexão, assume a função Periférico [40].

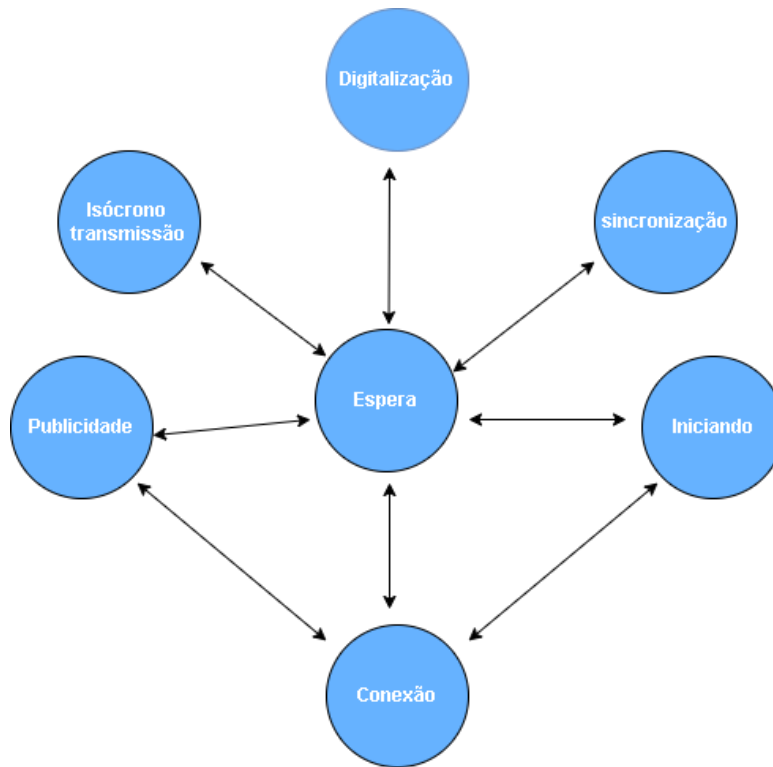


Figura 4.14 Máquina de Estados da Camada de ligação de dados [40].

Seleção de Canal

Conforme descrito anteriormente na Banda de frequência, o Bluetooth LE divide a banda de frequência de 2,4 GHz em 40 canais. A camada de link controla como esses canais são usados e isso, por sua vez, depende da maneira geral em que o Bluetooth LE está sendo usado para comunicação. O Bluetooth LE usa técnicas de espalhamento de espectro de várias maneiras diferentes para comunicar dados por meio de vários canais ao longo do tempo. Isso reduz as chances de colisões, tornando a comunicação mais confiável [40]. Um exemplo bem conhecido de uma técnica de espectro espalhado usada no Bluetooth LE é a de salto de frequência adaptável. Isso envolve a mudança do canal de rádio usado para comunicação de pacotes em intervalos regulares. Os canais são escolhidos usando um algoritmo de seleção de canal e uma tabela de dados chamada de mapa do canal que classifica cada canal como usado ou não utilizado. As implementações podem monitorar a qualidade da comunicação em cada canal e se um canal apresentar um desempenho ruim, as vezes devido à interferência de outras fontes, o mapa do canal pode ser atualizado para definir a classificação desse canal para não utilizado e isso garante que esse canal não seja mais selecionado pelo algoritmo. Desta forma, o algoritmo de seleção de canal se adapta às condições experimentadas e otimiza para o desempenho mais confiável [40][44].

4.5.2.4 Arquitetura de Transporte de Dados

A seção de arquitetura do Bluetooth Core Specification define uma série de conceitos que coletivamente constituem a arquitetura de transporte de dados Bluetooth. A chave entre esses conceitos são o Canal Físico, Link Físico, Link Lógico e Transporte Lógico [40]. Certas combinações são definidas para uso em suporte a diferentes tipos de aplicativos, cada um com requisitos específicos em relação a questões como topologia, temporização, confiabilidade e uso do canal. Um Canal Físico define uma das várias maneiras diferentes de comunicação usando Bluetooth. Por exemplo, a comunicação pode ocorrer entre dois dispositivos conectados usando o Canal Físico LE Piconet, que envolve salto de frequência adaptável em 37 canais. Alternativamente, o Canal Físico de Publicidade LE pode ser usado para transmissão, comunicação sem conexão de um dispositivo para um número ilimitado de outros dispositivos. O Canal Físico Periódico LE também pode ser usado para transmitir dados, mas regularmente com um cronograma determinístico [44]. Os dispositivos observadores (recetores) podem determinar esse cronograma e usá-lo para sincronizar seus cronogramas de varredura. Um Link Físico é baseado em um único canal físico específico e especifica certas características desse link, como o uso ou não de controle de potência. Os links e transportes lógicos têm vários parâmetros que são projetados para fornecer um meio adequado de suporte a um determinado conjunto de requisitos de comunicação de dados em um link físico, usando um tipo de canal físico específico [40].

Por exemplo, a comunicação ponto a ponto confiável e bidirecional no Bluetooth LE (Figura 4.15) usa o transporte lógico orientado à conexão assíncrona (ACL) LE com um link LE-C para dados de controle ou um link LE-U para dados do usuário, sobre um link físico baseado no Canal Físico LE Piconet [40].



Figura 4.15 Comunicação ponto a ponto confiável e bidirecional no Bluetooth LE [40].

Por outro lado, a comunicação de transmissão unidirecional não confiável no Bluetooth LE (Figura 4.16) utiliza o transporte lógico LE Advertising Broadcast (ADVB) com um link ADVB-C para dados de controle ou um link ADVB-U para dados do utilizador, em um link físico baseado no Canal Físico de Publicidade LE.

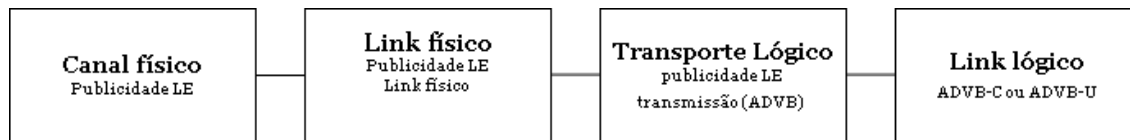


Figura 4.16 Comunicação unidirecional não confiável no Bluetooth LE [40].

4.5.3 Aruba Meridian Software

O software Meridian é uma plataforma de construção e edição dos aplicativos móveis da Aruba, esta plataforma permite que as empresas voltadas para o público, possam criar ou melhorar aplicativos móveis para melhoraria dos seu serviços [46]. Usando a Meridian, as empresas podem fornecer informações muito importantes, como navegação ponto a ponto, mapeamento, notificação baseadas em proximidade etc. Estas informações podem ser fornecidos aos usuários da aplicação movel [46][47].

4.5.3.1 Recursos principais da plataforma Meridian

- Meridian Editor – é um sistema de gerenciamento de dados na nuvem, ele serve como canal online para recursos desenvolvidas pela plataforma Meridian.
- AppMaker – É um dos recursos do Meridian Editor que serve para criar aplicativos para necessidade específica do cliente.
- Mapping and self-guided wayfinding – Este recurso da Meridian permite que as unidades adicionem ao aplicativo desenvolvida pela Meridian, mapeamento e navegações de locais específicos.
- SDKs – Esta ferramentas permite receber notificações baseadas em proximidade, através de um mapeamento adicionado no mapa.
- Aruba Location Services – Permite localizar dispositivos moveis que trabalham com Bluetooth Low Energy (BLE), e que são desenvolvidas pela Aruba, como Aruba Beacons e Aruba Tags.

4.5.3.2 Meridian Editor

O Editor Meridian é gerenciador de conteúdos na nuvem através dos aplicativos da Meridian. Permite criar, modificar e gerenciar seu aplicativo com tecnologia Meridian. Também permite inserir mapas nos aplicativos, personalizá-los, adicionar marcadores e outros recursos. Os recursos principais do Meridian Editor são: mapa, ponto azul e tag.

- **Mapas** para adicionar mapa de um lugar específico.
- **Ponto Azul** serve para indicar onde o usuário do aplicativo se encontra no mapa.
- **Tag** que indica a posição do ativo que está sendo rastreado.

Os ativos podem ser monitorados de qualquer lugar, graças ao recurso da Meridian Editor. Para isso, é preciso baixar o aplicativo *Aruba Tag*, e colocar o aplicativo em conexão com o Meridian Editor. No aplicativo consegue ver tags, mapas e localização.

4.5.3.3 Rastreamento de ativos alimentado por BLE

A Aruba Meridian usa a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para oferecer serviços de localização e de rastreamento de ativos da Aruba. Isso permite com que as empresas rastreiem ativos em locais internos e externos, desde que estejam dentro do alcance dos APs [47].

4.5.3.4 Aruba Tags

As Aruba tags são um componente importantes nos serviços de localização e rastreamento de ativos da Aruba. O uso das tags em sintonia com a plataforma da Aruba Meridian, elas oferecem localização dos ativos, permitindo assim o rastreo [47].

As tags permitem o rastreamento e localização dos ativos usando as tecnologias BLE, fornecendo dados de localização de cada recurso ou ativo com etiqueta dentro do alcance do AP (Access Points) configurado para operar com BLE. O facto das tags não precisarem de uma rede dedicada de leitores ou observadores e seu tamanho, isso as torna muito atraentes no setor de saúde [47].

Características do Design

As tags são pequenos dispositivos que transmitem sinais de rádio sem fio na frequência de 2.4 GHz, esta transmissão é feito em intervalos regulares [47]. Os sinais enviados por tags, são captados por APs habilitados para BLE. Estas informações são enviadas para a plataforma Meridian que é baseada na nuvem, baseando nesta informação, a plataforma consegue rastrear e localizar o dispositivo [47].

Características do Software

Para adicionar e visualizar as tags, a aruba desenvolveu o aplicativo Aruba Tags. O Aruba tags é baseado em iOS, ele permite que seja associado à tags, descrições, fotos e rótulos. O aplicativo também permite rastrear os ativos de qualquer lugar [47].

Características Principais dos aplicativo Aruba Tags:

- Usa tecnologia de rastreamento de ativos BLE.
- A instalação moderna com Wi-Fi fornece a cobertura necessária
- Os APs Aruba habilitados para BLE suportar o rastreamento de ativos
- A solução é escalável a milhares de ativos
- A Bateria não precisa de manutenção por 2 anos
- Localização real no mapa.
- Tags projetadas para suportar rigorosos requisitos, incluindo uso médico
- Suportam uma variedade de casos de uso e tipos de ativos

4.5 Sumário e Conclusões

Neste capítulo apresentaram-se as principais tecnologias usadas nas redes WBAN, tendo focando mais na tecnologia Bluetooth Low Energy. E também foi apresentado a tecnologias da comunicação por Luz Visível que no futuro também poderá ser implementado nas redes WBAN. Por fim, foi explorada a possibilidade da implementação da tecnologia Bluetooth Low Energy para oferecer serviços de localização e de rastreamento através dos Access Point da Aruba, num projeto que está a ser desenvolvido no projeto (TERI).

Capítulo 5

Medições da Qualidade Espectro Radioelétrico no CHUCB

5.1 Introdução

Na parte prática deste trabalho, foram realizadas medições do espectro radioelétrico no Centro Hospitalar Universitário da Cova da Beira (CHUCB), para explorar possibilidades de disponibilização de cobertura celular ubíqua no contexto hospitalar e circundante. Pretende-se melhorar a cobertura das redes celulares no Hospital. Por isso, é importante determinar a potência recebida em termos de cobertura a partir destas redes, para identificar as zonas que necessitam de melhoria do sinal. As medições iniciais foram realizadas com recurso ao analisador de espectros NARDA 3006. Mais tarde, também foi utilizado o SCANNER de *drive test* em conjunto com o software R&S®ROMES4, para fazer somente as medições de cobertura das redes celulares.

As medições foram realizadas tanto no interior do Hospital como nos seus arredores, nomeadamente nos parques de estacionamento e no heliporto. No interior do hospital, as medições realizaram-se em algumas zonas onde a cobertura celular é de extrema importância devido os serviços que funcionam nestes setores. O objetivo é medir e identificar diferentes valores de potência do sinal, das várias tecnologias móveis, numa gama de frequências, até cerca de 2.6 GHz. De forma a assegurar o acesso às aplicações e bases de dados dos pacientes, o Hospital deve disponibilizar acesso ubíquo de comunicações móveis e sem fios. As estações rádio-base devem ficar mais próximas aos utilizadores, assim diminuindo o nível de campos eletromagnéticos, porque quanto mais longe é a estação de base em relação aos seus utilizadores, mais potência necessária para poder transmitir, conseqüentemente maior será o campo eletromagnético.

As medições foram realizadas nos seguintes setores do Hospital, (Figura 5.1):

- Enfermarias MEDICINA 1;
- Enfermarias CIRURGIA 1;
- Urgência Geral;
- Imagiologia;
- Exames complementares:

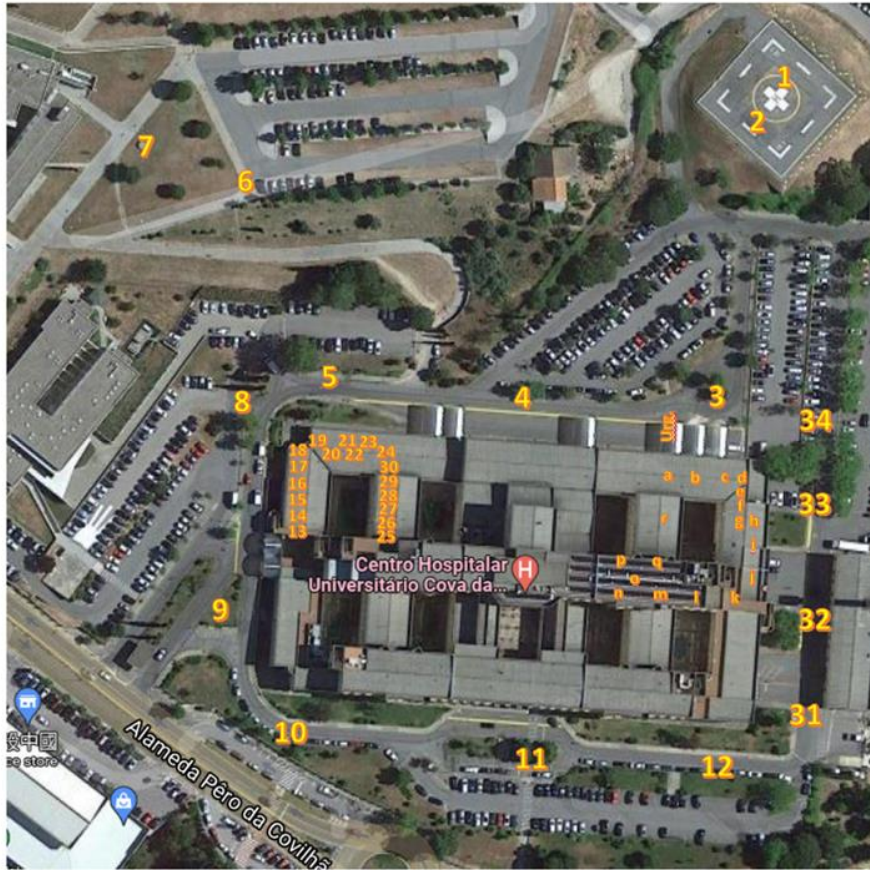


Figura 5.1 Mapa dos pontos de medição

5.2 Materiais utilizados nas medições

Para realizar as medições, foi utilizado um analisador de espectro NARDA 3006, com antena isotrópica (comandada), para monitorizar a cobertura das redes móveis celulares e sem fios de área local. E foi utilizado o SCANNER de *drive test* R&S®TSME6 em combinação com o software R&S®ROMES4, para fazer somente as medições de cobertura das redes celulares.

5.2.1 Narda SRM-3006

Narda SRM-3006 é um sistema de medição seletiva de frequência para análise de segurança e medições ambientais em campos eletromagnéticos de alta frequência nas faixas de frequência de 9 kHz a 6 GHz.

O sistema de medição SRM-3006 completo é composto por uma Unidade Básica SRM-3006 e uma antena de três eixos. A antena de permite medições isotrópicas rápidas e simples com determinação automática dos três componentes espaciais do campo a ser medido.



Figura 5.2 Analisador de espectro Narda SRM-3006

O SRM-3006 utiliza uma combinação de processamento de sinal analógico e digital para poder garantir valores absolutos e limites de campos eletromagnéticos de elevada frequência. SRM-3006 utiliza esta técnica de combinação, porque os sinais nesta gama de frequências dessa magnitude são muito difíceis de amostrar digitalmente.

Algumas das características da Narda SRM- 3006 são as seguintes:

- ♦ Apresenta valores de medição com limites máximos estabelecidos pelo ICNIP e padrão nacional.
- ♦ Permite definir o intervalo de frequência a ser monitorada ou uma frequência exata.
- ♦ Monitora a cobertura das redes móveis celulares e sem fios de área local
- ♦ O resultado apresenta a potência em (W/cm^2) e as frequências.
- ♦ Adequado para o uso externo, por ser robusto e protegido contra radiação.
- ♦ Bateria recarregável e trocável.

5.2.2 Scanner R&S®TSME6

R&S®TSME6 é um scanner que serve para análise e otimização das redes. O scanner combinado com o software de teste de unidade R&S®ROMES4, consegue detetar todas as tecnologias de redes moveis disponíveis numa gama de frequências que varia de 9 KHz a 6 GHz. Além de identificar as tecnologias das redes moveis disponíveis, consegue executar tarefas essenciais envolvidas em medições de cobertura como, identificar interferências, medir o desempenho, e faz uma análise de qualidade em redes móveis.



Figura 5.3 Scanner de *drive test* R&S®TSME6

Através da combinação do Scanner com software R&S®ROMES4 permite visualizar as redes móveis disponíveis, em qual das frequências está disponível e indica a largura de banda e a frequência central. O scanner suporta vários protocolos como o 5G NR, o GSM, o LTE, a NB-IoT, o LTE-M e o TETRA.

Algumas características do scanner R&S®TSMA6 são as seguintes:

- ♦ Oferece uma análise detalhada e completa de vários parâmetros;
- ♦ Faz uma análise automatizada e confiável;
- ♦ Nos dá muitas informações como, tecnologias disponíveis, largura de banda, potência total recebida dentro da largura de banda da operadora;
- ♦ Os gráficos de todas as tecnologias detetadas com as informações para analisar vários componentes da rede móvel celular;
- ♦ Suportar várias bandas de frequência e tecnologias de rede móvel;
- ♦ Faixa de Frequência: 350MHz a 6GHz;
- ♦ Reduzido consumo de energia;
- ♦ Detecção de interferência externa;

Em relação ao tratamento de dados utilizando o scanner combinado com o software de teste de unidade R&S®ROMES4 para fazer análise das respectivas medições, a página inicial na parte superior representada na Figura 5.4, onde é possível visualizar a linha do tempo em formato gráfico.

- **Linha do tempo** é um cronograma com linhas de tempo com transmissões detetadas pelo scanner.

No fundo da página inicial mostrada na Figura 5.5, na barra horizontal inferior, estão disponíveis diversos menus com funcionalidades diferentes: *Welcome*, *Automatic Channel Detection (ACD)*, *Navigation*, *3GPP2 Scanner*, *GSM Scanner*, *LTE Scanner*, *NB-IoT Scanner* e *UMTS Scanner*.

- **Welcome** - o menu *Welcome* dá acesso a uma janela onde constam todos os outros menus anteriormente mencionados.

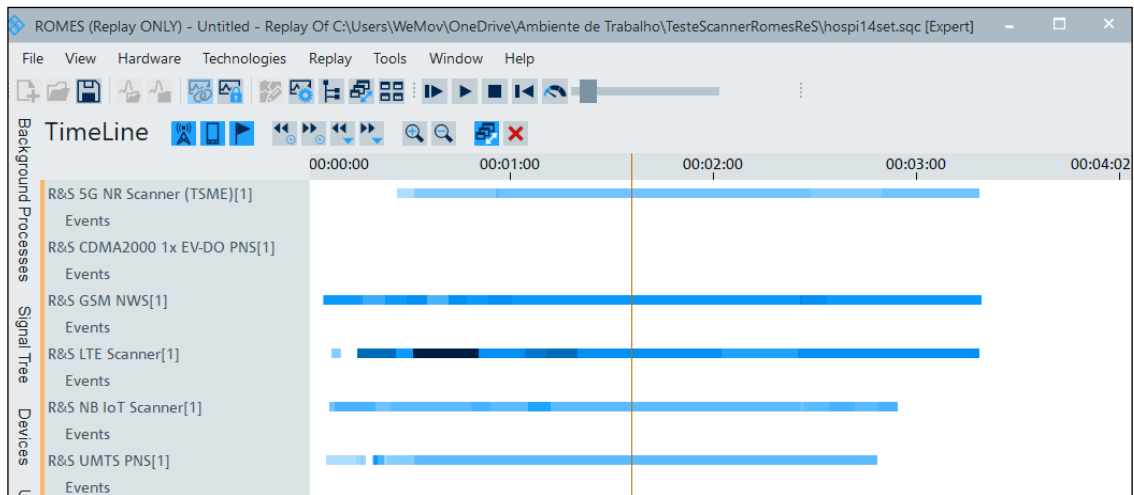


Figura 5.4 Janela como gráfico de linha de tempo

- **ACD** - O menu *Automatic Channel Detection* começa perto do 350 MHz e vai até 6 GHz. Neste menu apresentado na Figura 5.5 aparece o intervalo de frequência com cada tecnologia disponível neste intervalo, também é possível ver a tecnologia detetada no espectro respetivo, onde é possível fazer *zoom* na respetiva tecnologia e visualizar a largura de banda, nome da operadora e a frequência central. Também dá para o cronograma de linha de tempo.

Note bem: o software indica TMN e Optimus, contudo as operadoras atualmente têm o nome de MEO e NOS, respetivamente, as designações a adotar a partir daqui.

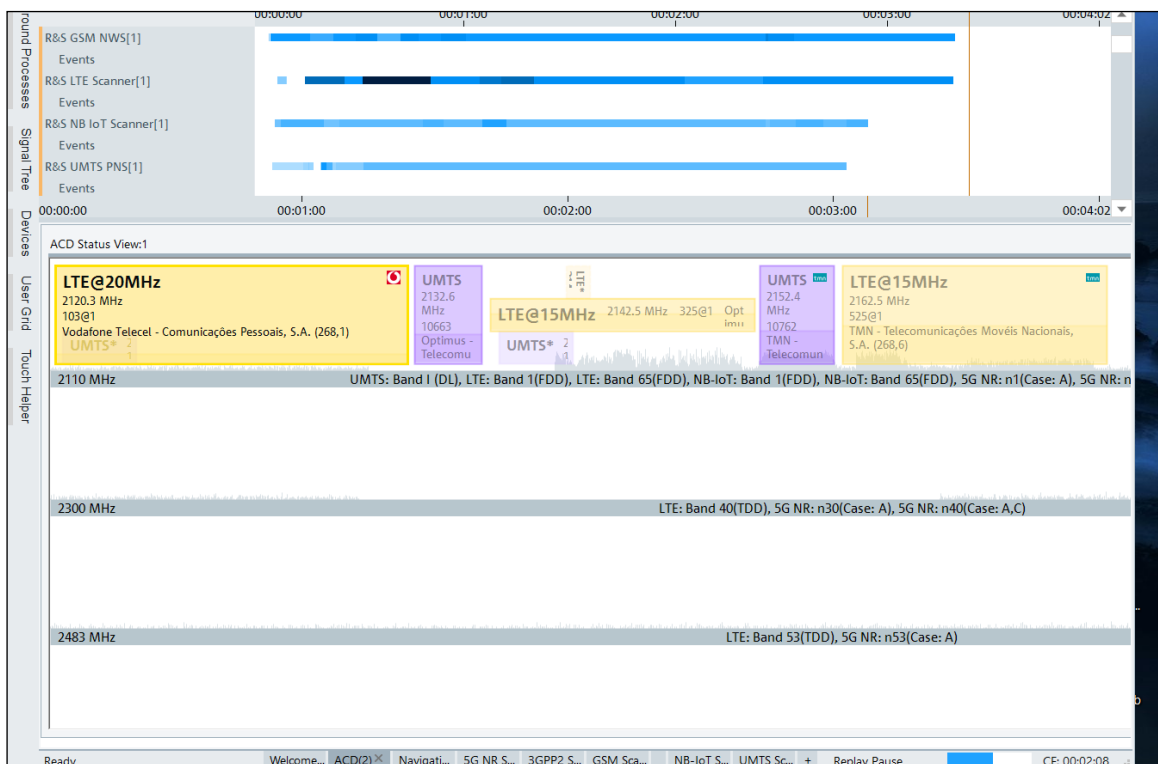


Figura 5.5 Vista do menu ACD

- **Navigation** - No menu de navegação (Navigation), é possível verificar o percurso estimado da nossa recolha de dados, como se apresenta na Figura 5.6, onde posteriormente é possível estimar as posições geográficas das estações base (com as direções de transmissões indicadas).

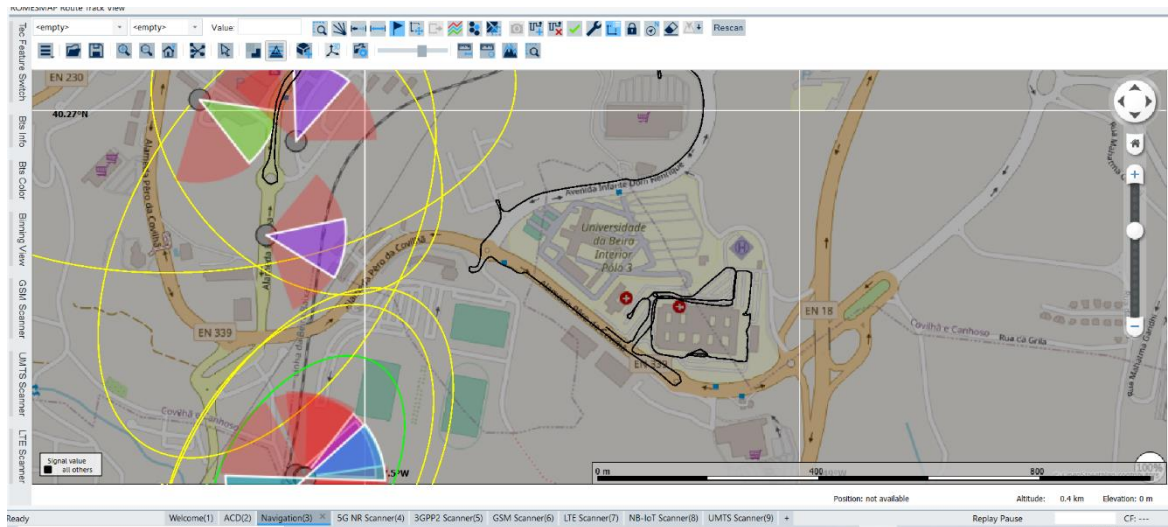


Figura 5.6 Mapa de navegação durante as medições

- **5G NR Scanner** - O menu 5G NR Scanner apresenta as tecnologias detetadas em 5G *New Radio*, através da Figura 5.7 é possível visualizar os gráficos de RSSI [dBm], bem como alguns parâmetros relacionados:

- ♦ PCI (Physical Cell ID) - serve para identificar a célula.
- ♦ RSSI (Received Signal Strength Indicator) – indica a média total da potência recebida, e varia de 0dBm (significa melhor sinal) a -110dBm (indicando sinal muito fraco ou sem sinal).
- ♦ SS-RSRP (Reference Signal Received Power) - serve para medir a intensidade do sinal de qualquer dispositivo que usa a tecnologia 5G NR. A intensidade do sinal é exibida em RSRP, varia o dBm (representando melhor sinal) a -110 dBm (representando o sinal muito fraco ou sem sinal).
- ♦ SS-SINR - serve para medir a qualidade do sinal, é obtido através da razão entre a força do sinal desejada e a interferência indesejada mais o ruído.
- ♦ SS-RSRQ - indica a qualidade do sinal de referência recebido. é exibido em uma faixa de 0 dB (qualidade muito boa) a -20 dB (pouca qualidade). Normalmente, uma melhor qualidade de sinal é resultado de uma conexão mais confiável.
- ♦ NR-ARFCN – indica o número de frequência usada na transmissão e receção, este valor é sempre absoluto.

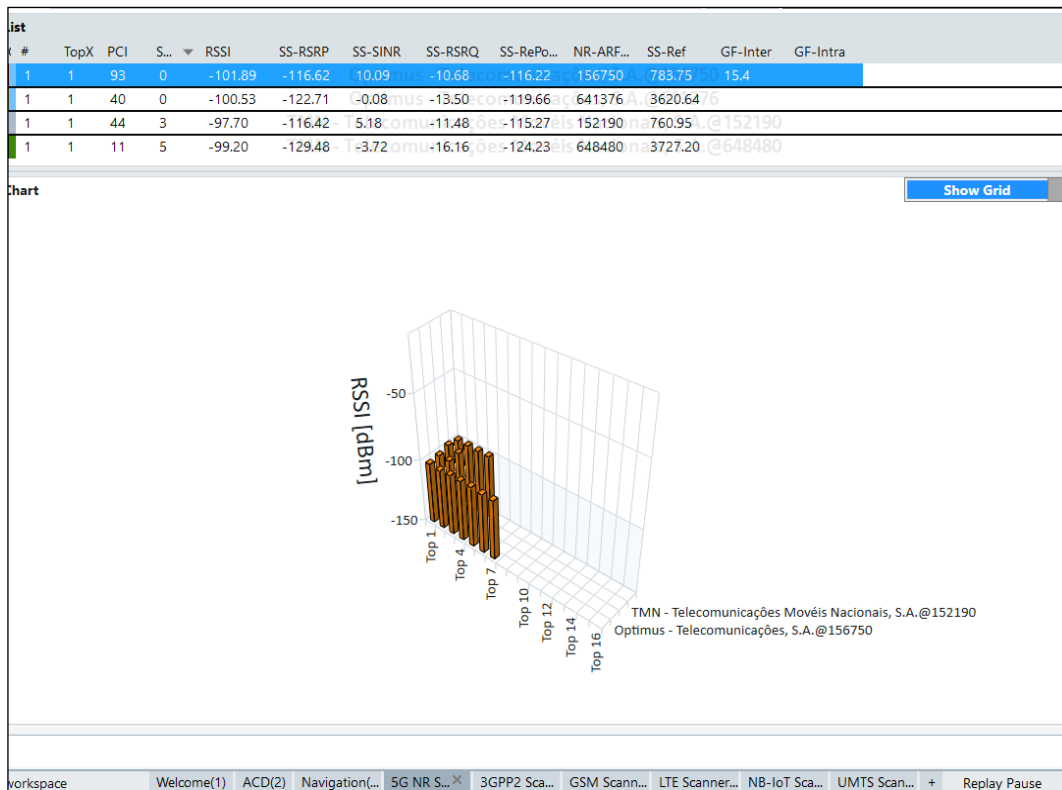


Figura 5.7 Vista do menu 5G NR Scanner

- **LTE Scanner** - O menu LTE Scanner permite visualizar as tecnologias detetadas em LTE, a Figura 5.8 mostra os gráficos de potência [dBm], bem como alguns parâmetros. O parâmetro *Power* deve ser ressaltado. É através deste parâmetro que conseguimos analisar a potência do canal. Este parâmetro apresenta valores que variam de -110 dBm a 0 dBm, sendo que os valores perto do -110 dBm correspondem a mau sinal (ou sem sinal).

- **NB-IoT Scanner** - Através do menu NB-IoT Scanner é possível visualizar as tecnologias detetadas em NB-IoT, também mostra os gráficos de NRSS [dBm] e alguns parâmetros representados na Figura 5.9. O parâmetro a destacar é NRSSI, através dele, é possível analisar o nível de potência do sinal, sendo valores mais próximos a 0 dBm significam que o sinal é forte, enquanto o valor mais distante, do 0 dBm, significa sinal fraco (ou sem sinal).

- **3GPP2** - Neste menu igual as outras tecnologias também era previsto mostrar as tecnologias detetadas em 3GPP2, mas em todas as medições que fizemos, os Scanner não detetou em nenhum ponto a tecnologia 3GPP2.

- **UMTS Scanner** - O menu UMTS Scanner permite visualizar as tecnologias detetadas em UMTS, e mostra os gráficos de RSCP [dBm], bem como alguns parâmetros

representados na Figura 5.10 vale destacar o parâmetro RSCP. Este dá informação de qual operadora tem a maior cobertura de sinal.

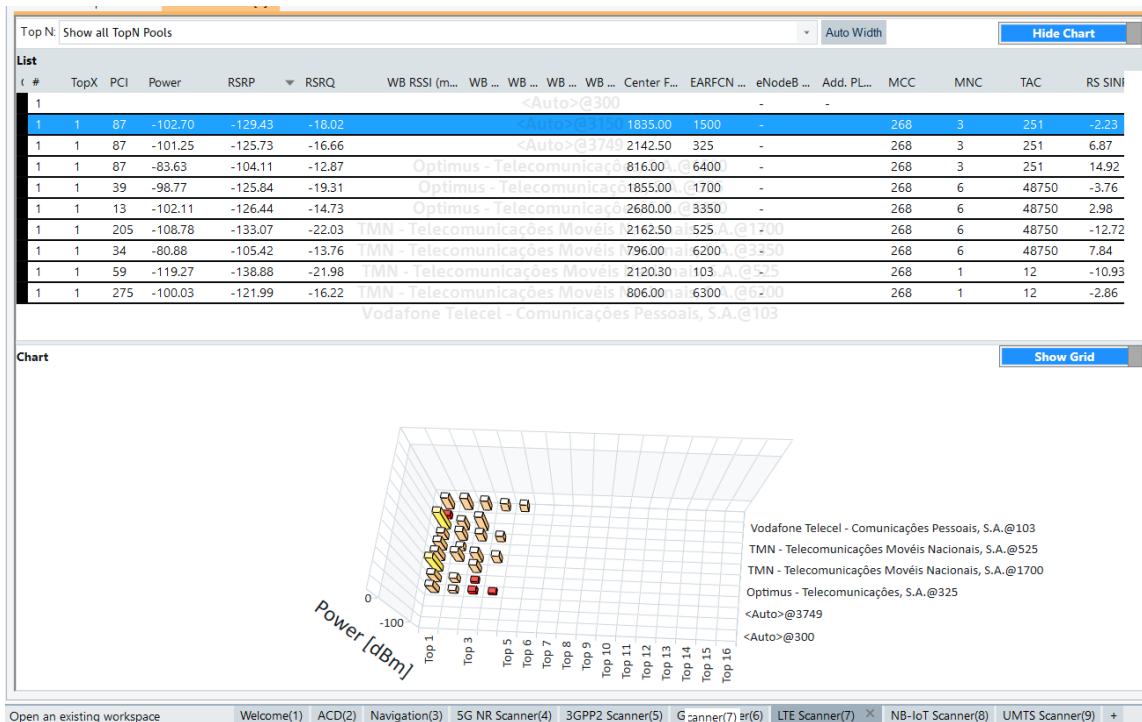


Figura 5.8 Vista do menu LTE Scanner

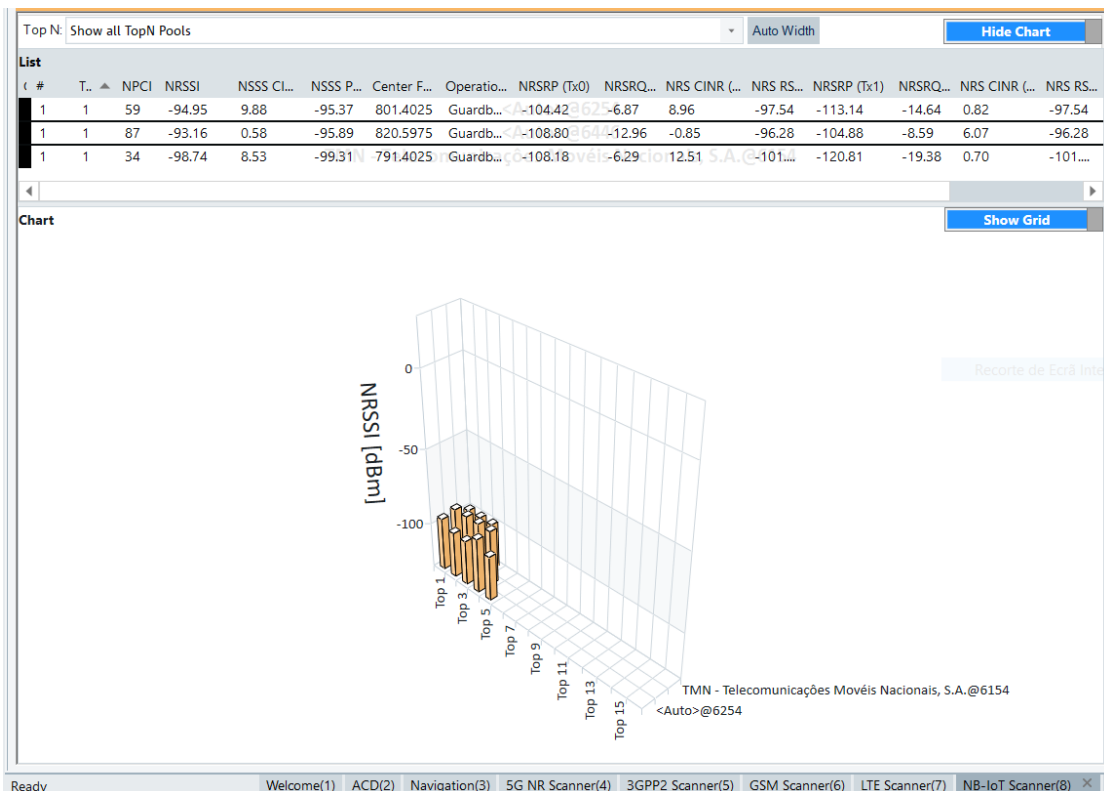


Figura 5.9 Vista do menu NB-IoT Scanner

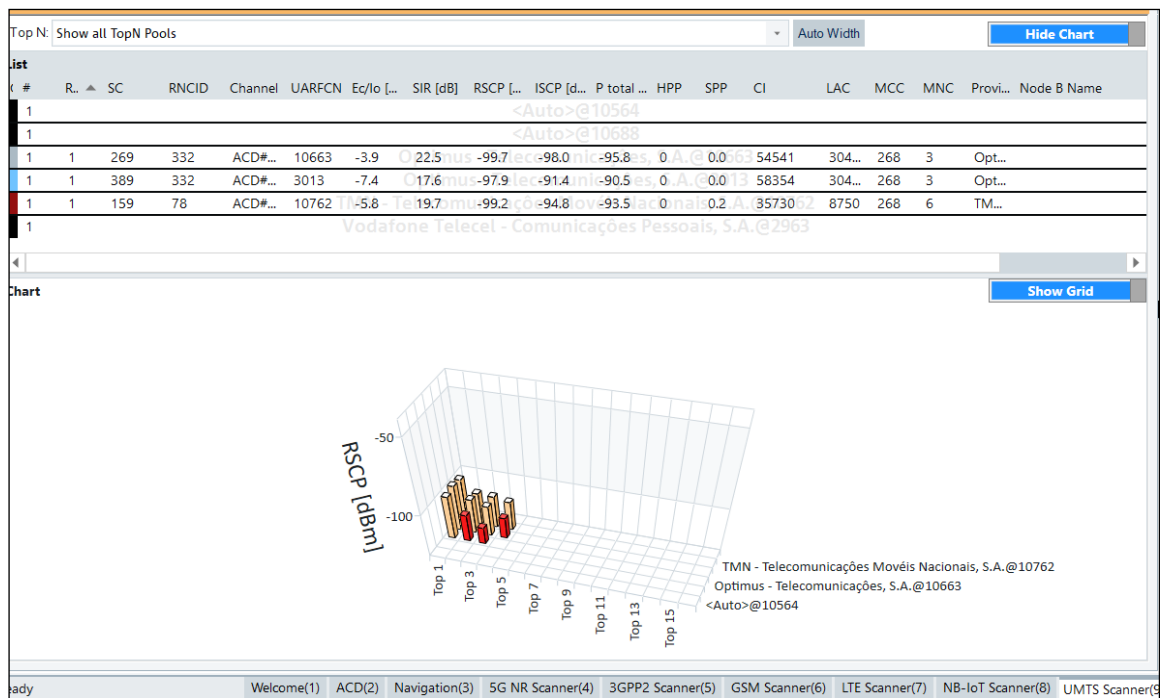


Figura 5.10 Vista do menu UMTS Scanner

5.3 Resultado das medições

Foram realizadas medições em várias localizações dentro e fora do Hospital. Foram apenas escolhidos 6 pontos para serem analisado, tendo em vista uma correspondência com as possíveis localizações do sistema de rastreo de ativos que está a ser concebido para operar no contexto do CHUCB, a analisar no Capítulo 6.

Os pontos escolhidos são os mesmos tanto para as medições com Narda, quanto para as medições com Scanner. Com o Scanner, foi possível registar o tempo em cada ponto de medição, o que facilitou muito a análise dos resultados. Isto é, foi possível através do software escolher um determinado tempo específico para analisar os resultados do ponto de medição correspondente. Enquanto nas medições com Narda, cada ponto tem o seu número de medição correspondente, como se apresenta na Tabela 5.1, facilitando a extração dos dados recolhidos em um ponto específico.

Tabela 5.1 Tabela com nome das medições em cada ponto

Ponto	Narda SRM-3006	Scanner R&S®TSME6
Porta de entrada	325	45 s
13	328	1:18 min
17	332	2:10 min
19	333	2:32 min
21	334	2:47 min
23	337	3:05 min

5.3.1 Resultados de medição com o Narda SRM-3006

Para realizar medições com Narda SRM-3006 foi utilizado intervalo do espectro compreendido entre 400 MHz a 3 GHz. Segundo as medições realizadas com o dispositivo Narda SRM-3006, cuja numeração se apresenta na Tabela 5.2, podemos observar potências elevadas nestas frequências do espectro estudado. Na figura 5.11, podemos observar um pequeno pico de potência na frequência de 760 MHz, na mesma figura podemos constatar que o maior pico de potência foi no ponto I correspondendo a frequência de 2568 MHz, assim sucessivamente como é mostrado na descrição da Figura 5.11.

Tabela 5.2 Pontos escolhidos e seus números de medições

Ponto	Narda SRM-3006
Porta de entrada	325
13	328
17	332
19	333
21	334
23	337

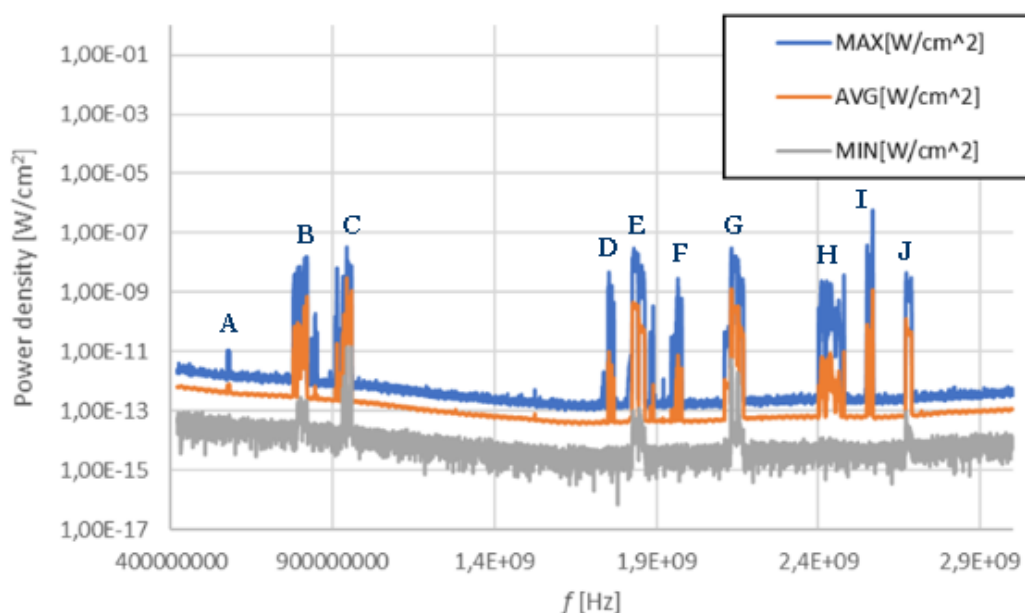


Figura 5.11 Gráfico da medição feita no ponto 13 (da carta da Figura 5.1)

- ❖ **A** - 760 MHz 5G NR
- ❖ **B** - 819 MHz Neutralidade Tecnológica

- ❖ **C** - 945 MHz GSM / UMTS / LTE
- ❖ **D** - 1754 MHz GSM / UMTS / LTE
- ❖ **E** - 1837 MHz GSM / UMTS / LTE
- ❖ **F** - 1977 MHz UMTS
- ❖ **G** - 2132 MHz UMTS
- ❖ **H** - 2415 MHz Neutralidade Tecnológica
- ❖ **I** - 2568 MHz Neutralidade Tecnológica
- ❖ **J** - 2687 MHz Neutralidade Tecnológica

A Tabela 5.3 apresenta uma listagem das faixas de frequências atribuídas às diversas operadoras. Já que nos gráficos não é simples retirar muitas informações, com ajuda desta tabela é possível através da frequência, descobrir a tecnologia e seu respectivo operador.

Nas Figuras 5.12 a 5.16 são apresentados os gráficos obtidos nas medições feitas com Narda em todos os seis pontos selecionados e mencionados na Tabela 5.2. A Tabela 5.3 apresenta as operadoras, as bandas de frequência e as tecnologias identificadas.

Tabela 5.3 Faixas de frequências das operadoras, com base na informação disponibilizada pela ANACOM

Operador	Downlink-[MHz]		Faixa	Unidade	Tecnologia
MEO	791,0	801,0	800	MHz	Neutralidade Tecnológica
MEO	950,9	958,9	900	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
MEO	1845,0	1865,0	1800	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
MEO	2149,9	2169,7	2100	MHz	UMTS
MEO	2670,0	2690,0	2600	MHz	Neutralidade Tecnológica
NOS	811,0	821,0	800	MHz	Neutralidade Tecnológica
NOS	943,1	950,9	900	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
NOS	1825,0	1845,0	1800	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
NOS	2130,1	2144,9	2100	MHz	UMTS
NOS	2650,0	2670,0	2600	MHz	Neutralidade Tecnológica
Vodafone	801,0	811,0	800	MHz	Neutralidade Tecnológica
Vodafone	930,0	935,0	900	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
Vodafone	935,1	943,1	900	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
Vodafone	1805,0	1825,0	1800	MHz	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
Vodafone	2110,3	2130,1	2100	MHz	UMTS
Vodafone	2570,0	2595,0	2600	MHz	Neutralidade Tecnológica
Vodafone	2630,0	2650,0	2600	MHz	Neutralidade Tecnológica

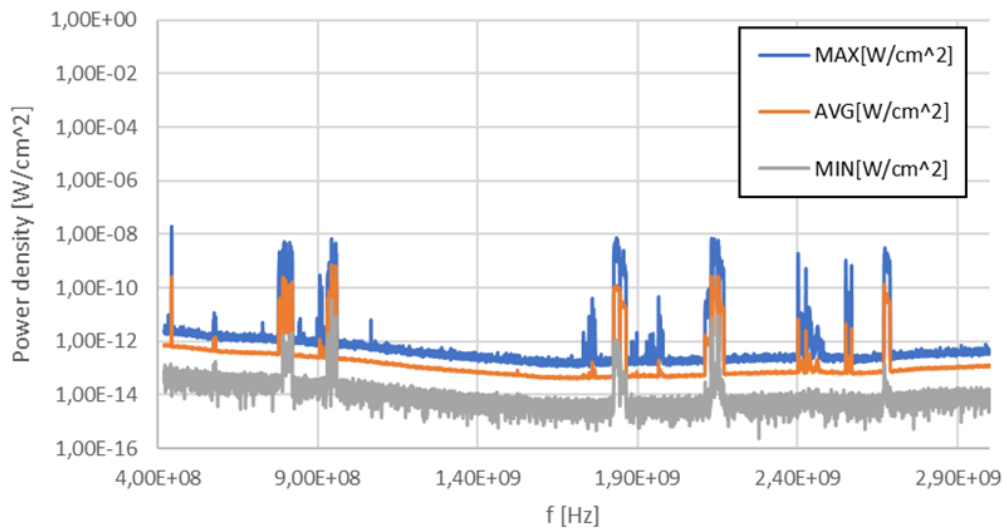


Figura 5.12 Gráfico de medição na porta de entrada das consultas externas

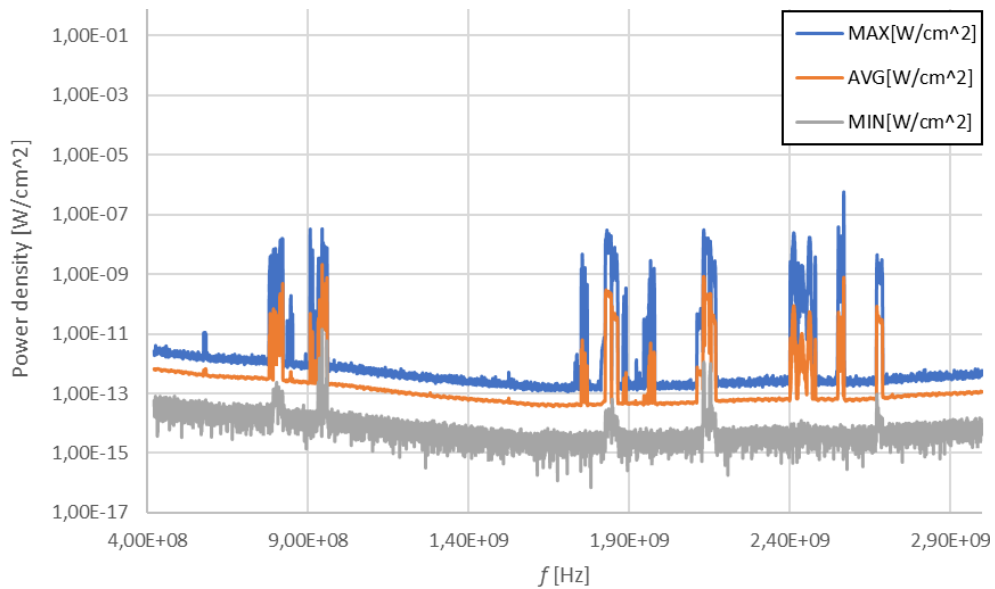


Figura 5.13 Gráfico de medição no ponto 17 (da carta da Figura 5.1)

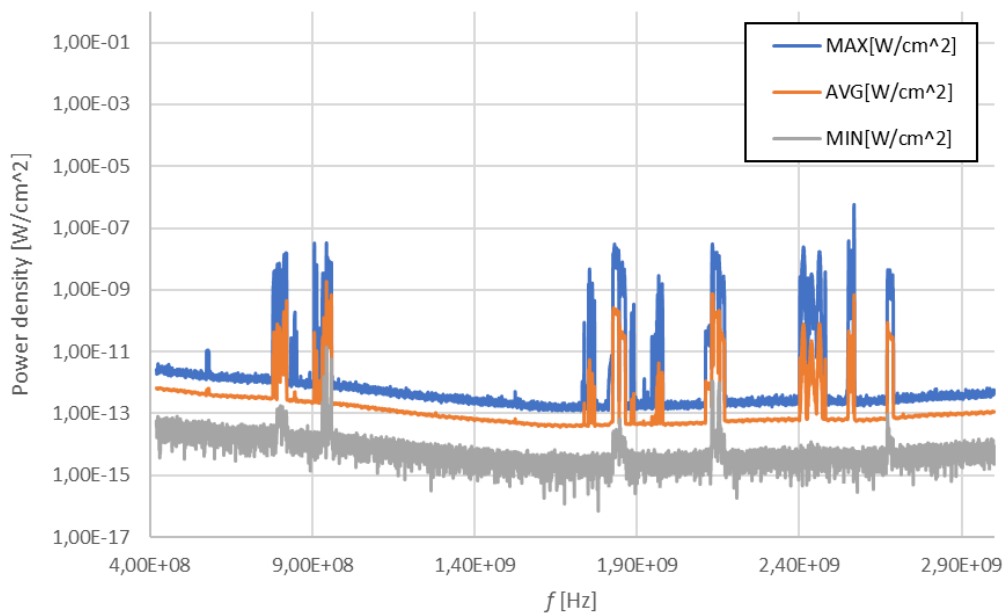


Figura 5.14 Gráfico de medição no ponto 19 (da carta da Figura 5.1)

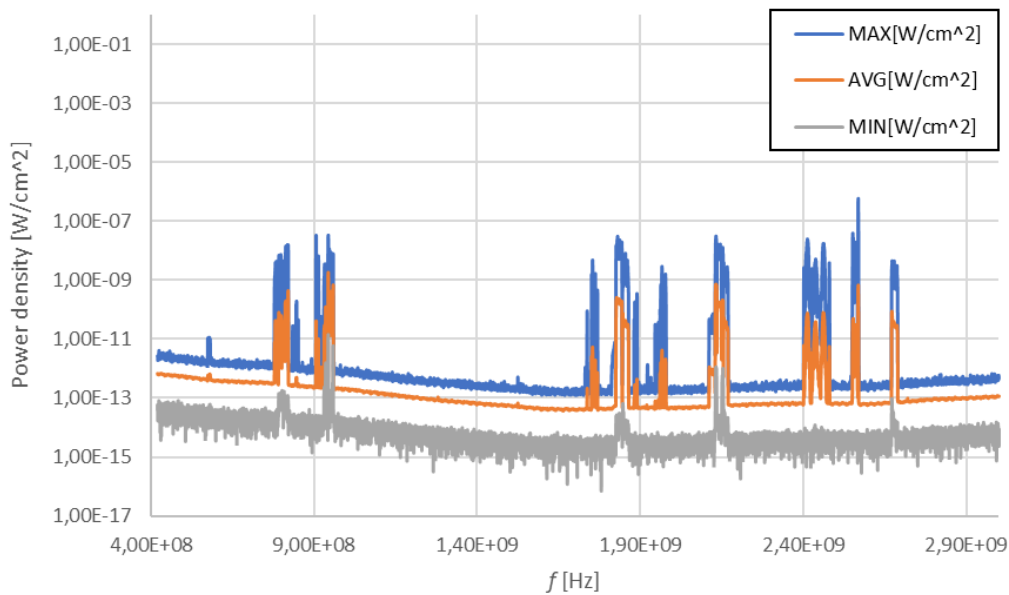


Figura 5.15 Gráfico de Medição no ponto 21 (da carta da Figura 5.1)

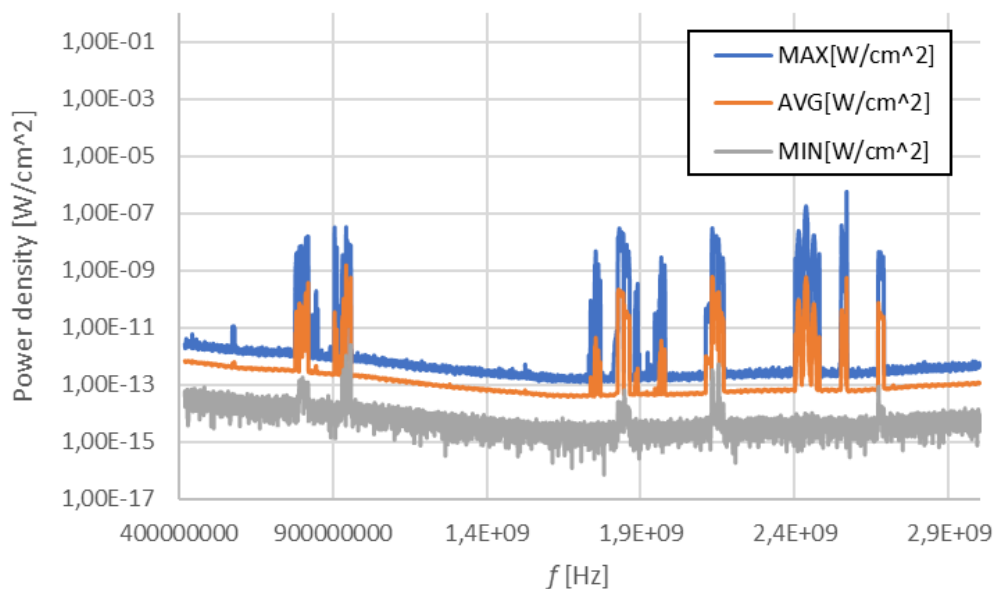


Figura 5.16 Gráfico de Medição no ponto 23 (da carta da Figura 5.1)

Com base nos gráficos obtidos, com os resultados das medições com a Narda SRM-3006, constatamos que é preciso fazer medições adicionais com mais abrangência, para determinar as potências, frequências e operadoras. Com base nesta ideia, e na oportunidade que tivemos ao ser disponibilizado o equipamento pela representação da Rohde & Schwarz em Portugal, foram realizadas outras medições usando o Scanner R&S®TSME6, obtendo-se dados com maior riqueza de conteúdos (por identificarem de forma expedita as frequências e operadoras).

Através da análise destes novos resultados, selecionaremos os pontos onde será importante sugerir a melhoria da cobertura de rede.

5.3.2 Resultados de medição com Scanner R&S®TSME6

Nas medições feitas com Scanner, foi possível registrar o tempo em cada ponto de medição. Isso graças a um dos recursos do software de teste R&S®ROMES4 que foi utilizado em combinação com o Scanner R&S®TSME6 durante as medições.

Com base na linha de tempo e os respectivos emissores detetados, foi escolhida a porta de entrada das consultas externas com ponto inicial, e os pontos 13, 17, 19, 21, e 23 para realizar as medições, como se apresenta na Tabela 5.4. Os resultados obtidos apresentam-se nas Figuras 5.17 a 5.20. A Tabela 5.5 as operadoras, as bandas de frequência e as tecnologias identificadas

Tabela 5.4 Os pontos medidos em instante de tempo em que foram realizadas as medições

Ponto	Tempo
Porta de entrada (ponto 1)	45 s
13	1:18 min
17	2:10 min
19	2:32 min
21	2:47 min
23	3:05 min

- Medições realizadas na Porta de entrada das consultas externas

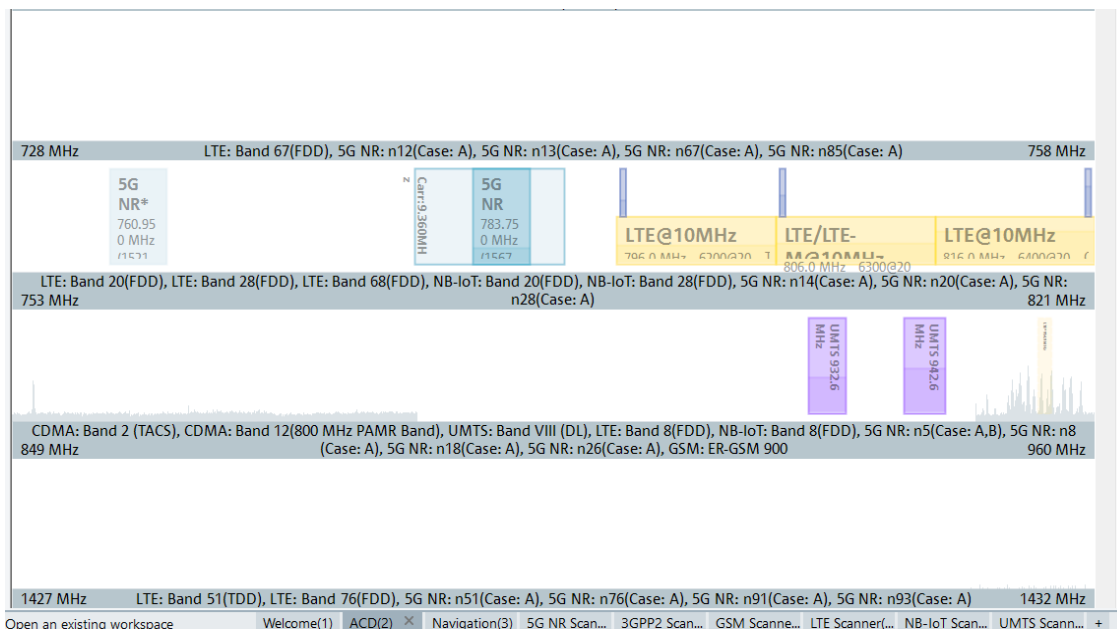


Figura 5.17 ACD na porta de entrada (a)

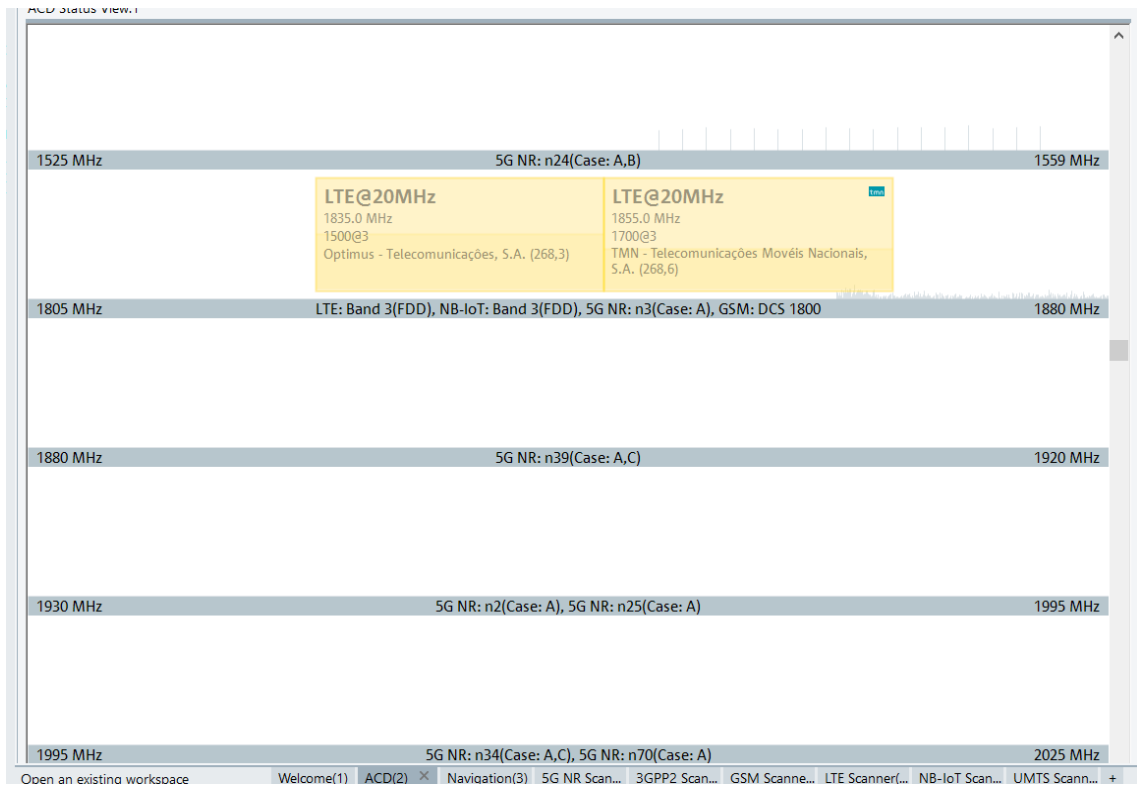


Figura 5.18 ACD na porta de entrada (b)

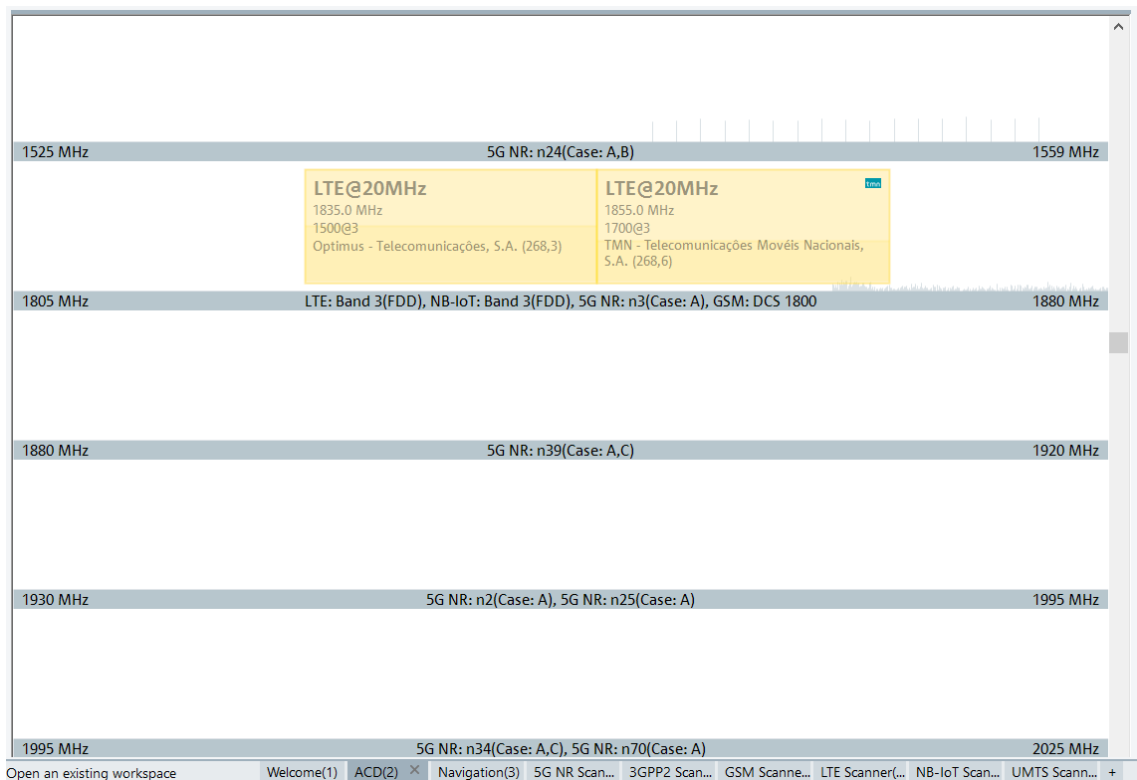


Figura 5.19 ACD na porta de entrada (c)



Figura 5.20 ACD na porta de entrada (d)

Tabela 5.5 Tecnologias encontradas na porta de entrada das consultas externas

Tecnologia	Operador	Frequência central	Unidade
5G NR	MEO	760.950	MHz
5G NR	NOS	783.750	MHz
NB-IoT	MEO	291.4025	MHz
LTE	MEO	796.0	MHz
NB-IoT	-	801.4025	MHz
LTE	Vodafone	806.0	MHz
LTE	NOS	8016.0	MHz
UMTS	Vodafone	932.6	MHz
UMTS	NOS	942.6	MHz
LTE	-	954.9	MHz
LTE	NOS	1835.0	MHz
LTE	MEO	1855.0	MHz
UMTS	-	2112.8	MHz
LTE	Vodafone	2120.3	MHz
UMTS	NOS	2132.6	MHz
UMTS	-	2137.6	MHz
LTE	-	2140.0	MHz
LTE	NOS	2142.5	MHz
UMTS	MEO	2152.4	MHz
LTE	MEO	2162.5	MHz
LTE	-	2660.0	MHz
LTE	MEO	2680.0	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727.200	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727	MHz

As Figuras 5.21 a 5.24 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas na Porta de entrada das consultas externas.

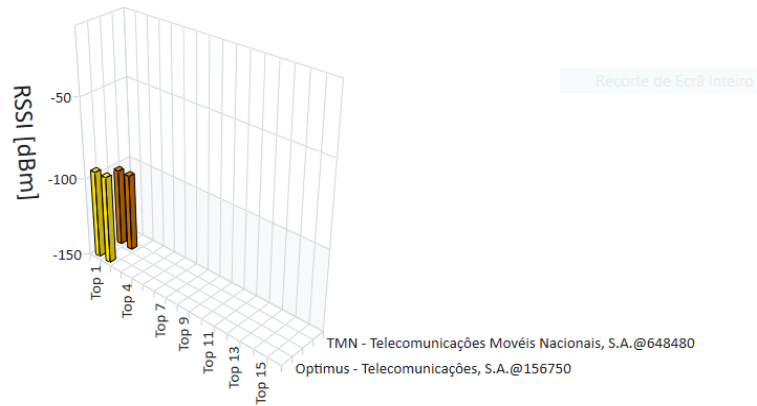


Figura 5.21 Gráfico da tecnologia 5G NR

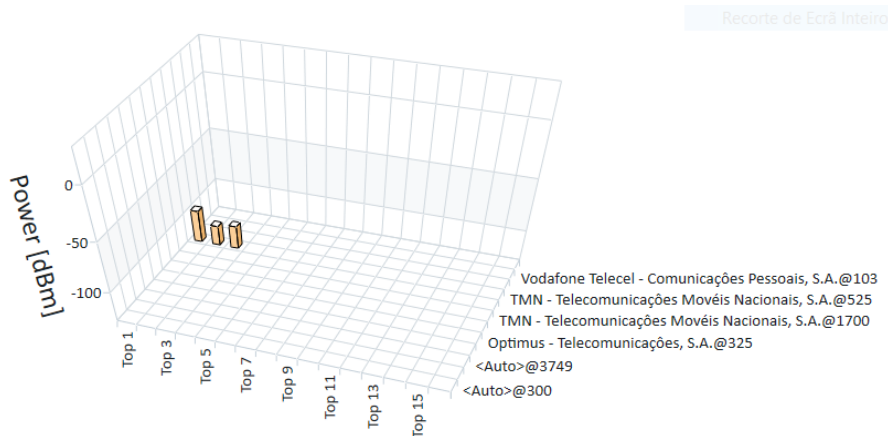


Figura 5.22 Gráfico da tecnologia LTE

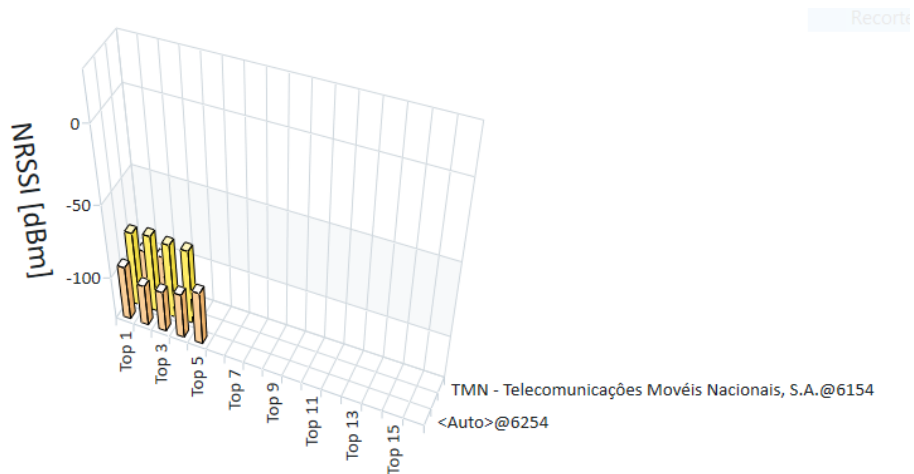


Figura 5.23 Gráfico da tecnologia NB-IoT

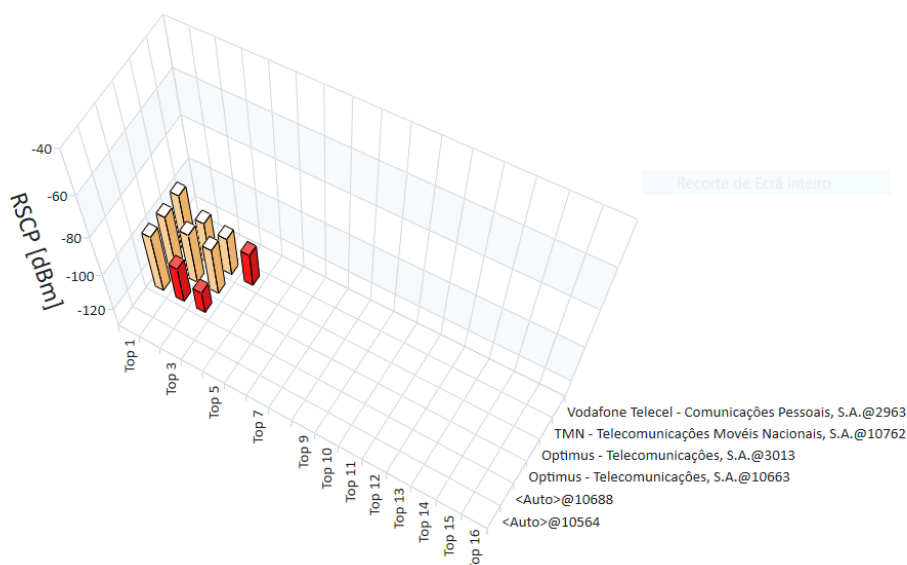


Figura 5.24 Gráfico da tecnologia UMTS

A Tabela 5.6 apresenta a identificação da operadora com a melhor cobertura no ponto de medição para cada tecnologia detetada 1 (Porta de entrada das consultas externas).

Tabela 5.6 Resumo com a identificação das operadoras com a melhor cobertura no ponto de medição para cada tecnologia detetada 1 (Porta de entrada das consultas externas)

Ponto	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
1	5G NR (RSSI)		-94.5	
	LTE (Power)	-98		
	NB-IoT (NRSSI)	-100.31		
	UMTS (RSCP)	-98.6		

Com base neste conjunto de resultados da medição no ponto inicial (porta de entrada das consultas externas), constata-se que, neste ponto, a operadora que apresenta a melhor cobertura é MEO. Ela está presente em todas as tecnologias detetadas neste ponto, e em três destas tecnologias apresenta a melhor cobertura em relação as outras operadoras presentes neste ponto. Do mesmo modo, analisando a Tabela e os gráficos das várias tecnologias encontradas nestes pontos, a pior cobertura pertence à operadora Vodafone.

- Resultados da medição feita no ponto 13

As Figuras 5.26 a 5.29 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 13.

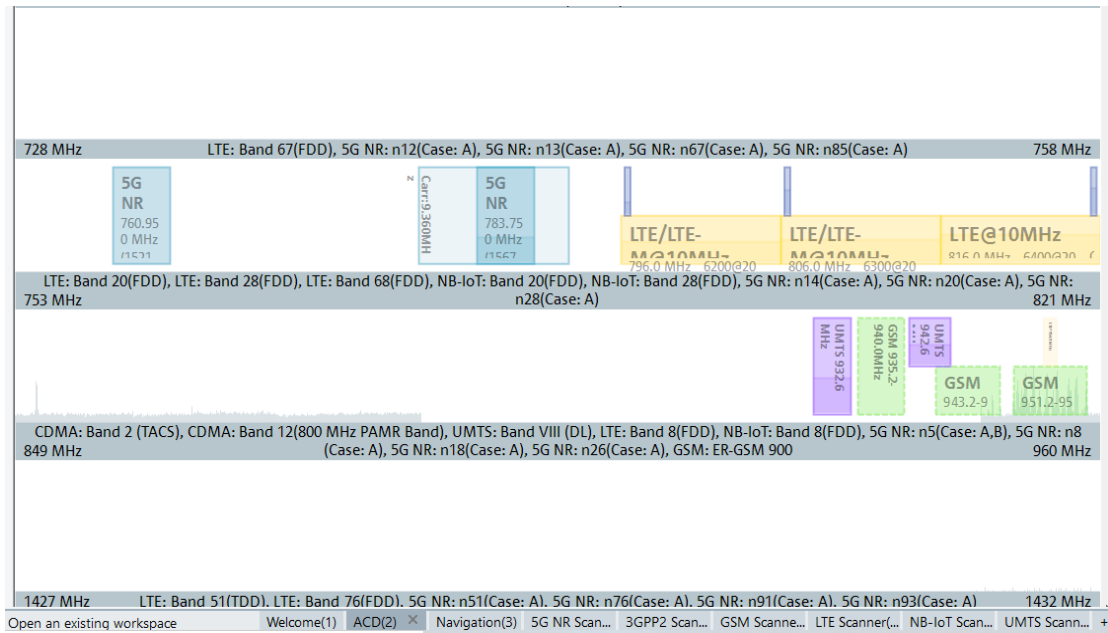


Figura 5.25 ACD de medição no ponto 13 (a)

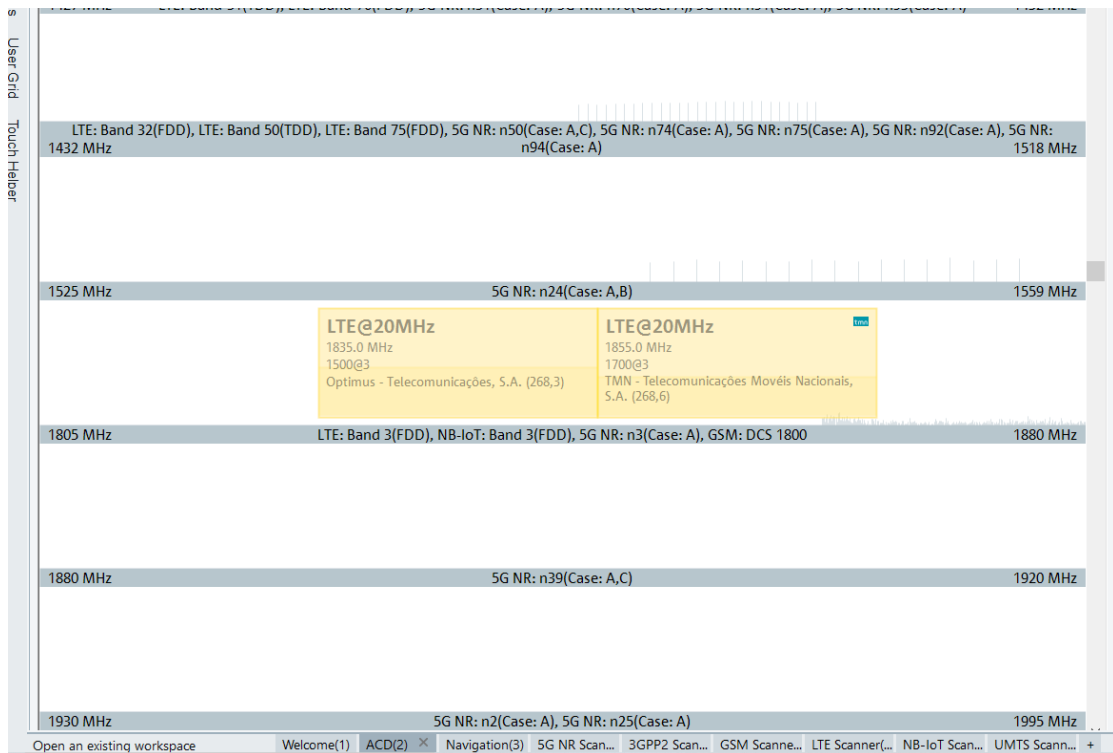


Figura 5.26 ACD de medição no ponto 13 (b)

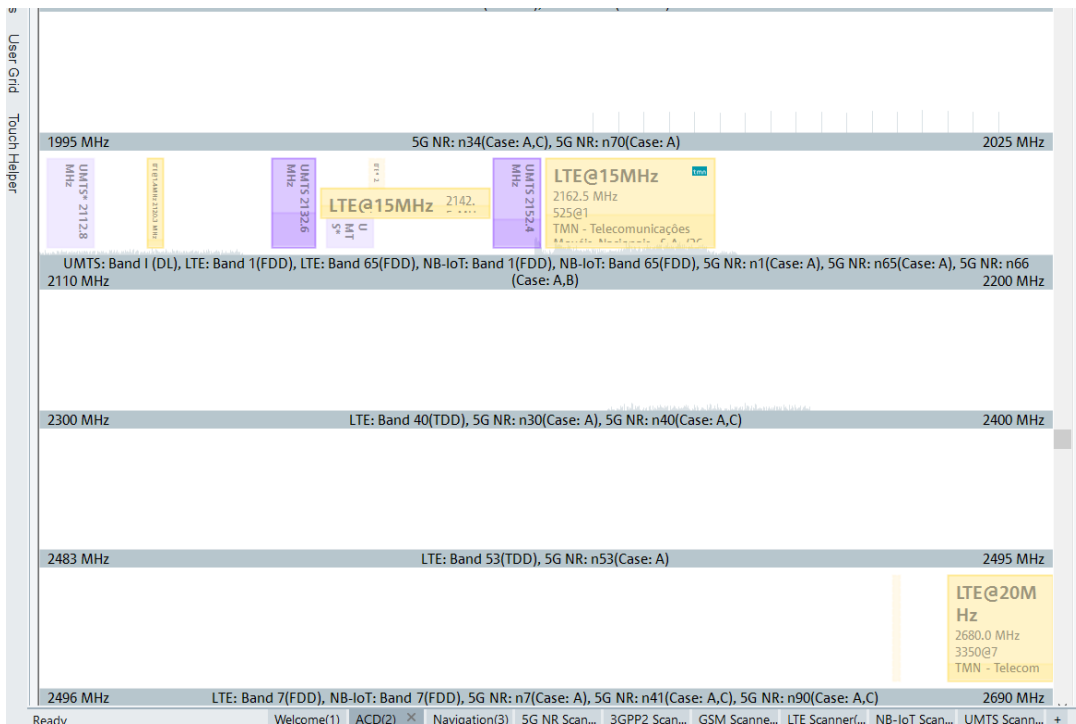


Figura 5.27 ACD de medição no ponto 13 (c)

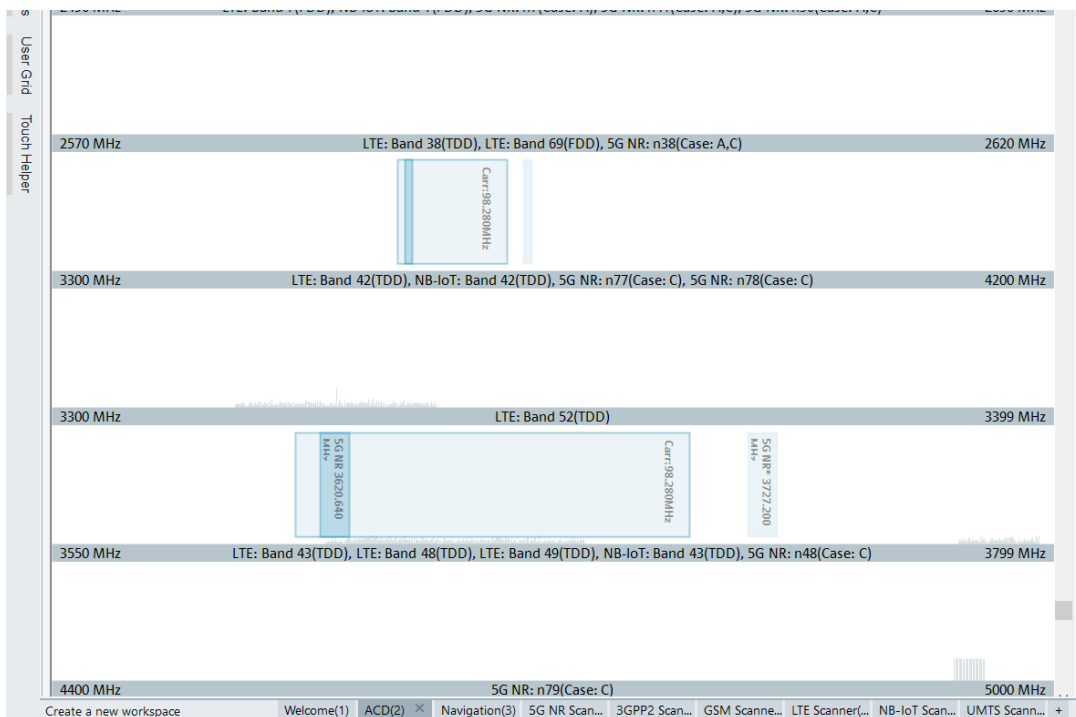


Figura 5.28 ACD de medição no ponto 13 (d)

A Tabela 5.7 apresenta as operadoras, as bandas de frequência e as tecnologias identificadas no ponto 13 de medição.

Tabela 5.7 Tecnologias encontradas no ponto13 de medição

Tecnologia	Operador	Frequência central	Unidade
5G NR	MEO	760.950	MHz
5G NR	NOS	783.750	MHz
NB-IoT	MEO	291.4025	MHz
LTE	MEO	796.0	MHz
NB-IoT	-	801.4025	MHz
LTE	Vodafone	806.0	MHz
LTE	NOS	816.0	MHz
NB-IoT	-	820.5975	MHz
UMTS	Vodafone	932.6	MHz
GSM	Vodafone	935.2-940.0	MHz
UMTS	NOS	942.6	MHz
GSM	NOS	943.2-949.8	MHz
GSM	MEO	951.2-958.6	MHz
LTE	-	954.9	MHz
LTE	NOS	1835.0	MHz
LTE	MEO	1855.0	MHz
UMTS	-	2112.8	MHz
LTE	Vodafone	2120.3	MHz
UMTS	NOS	2132.6	MHz
UMTS	-	2137.6	MHz
LTE	-	2140.0	MHz
LTE	NOS	2142.5	MHz
UMTS	MEO	2.52.4	MHz
LTE	MEO	2162.5	MHz
LTE	-	2660.0	MHz
LTE	MEO	2680.0	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727.200	MHz

As Figuras 5.30 a 5.34 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 13 da medição. A Tabela 5.8 apresenta a identificação da operadora com a melhor cobertura no ponto 13 de medição para cada tecnologia detetada.

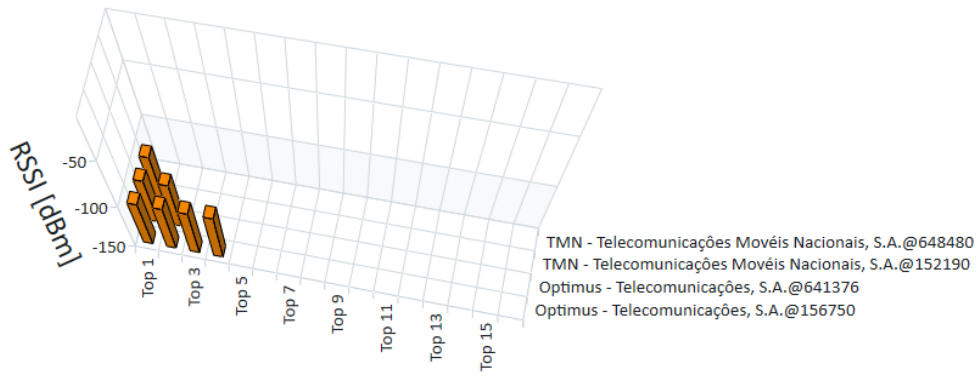


Figura 5.29 Gráfico da tecnologia 5G NR

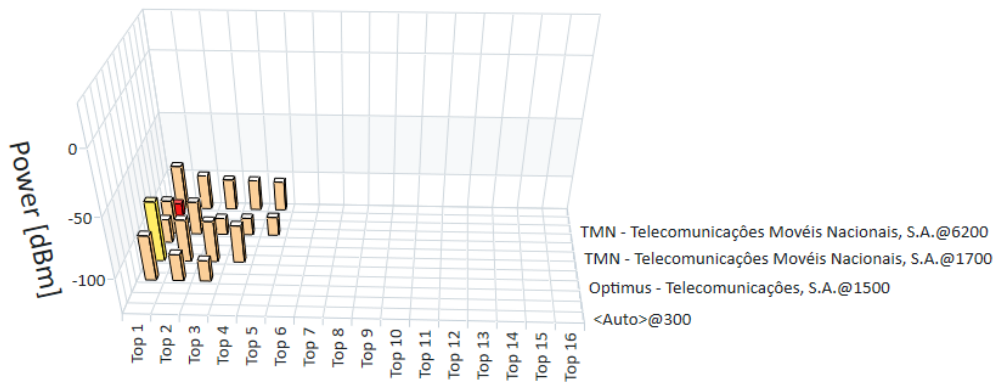


Figura 5.30 Gráfico da tecnologia LTE

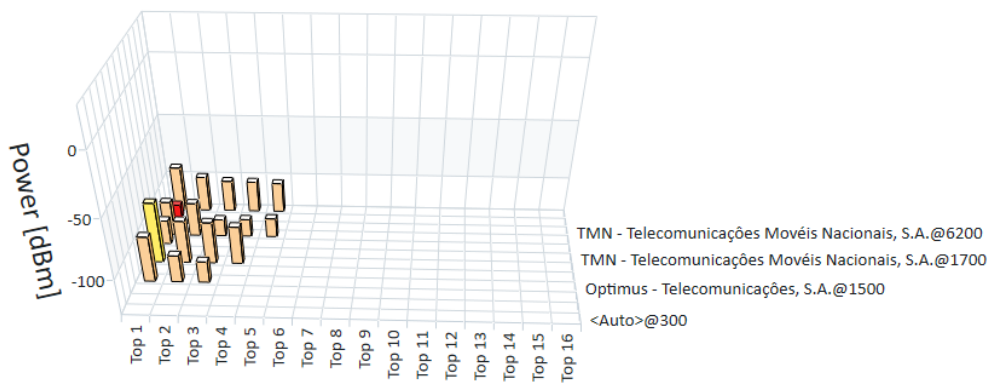


Figura 5.31 Gráfico da tecnologia NB-IoT

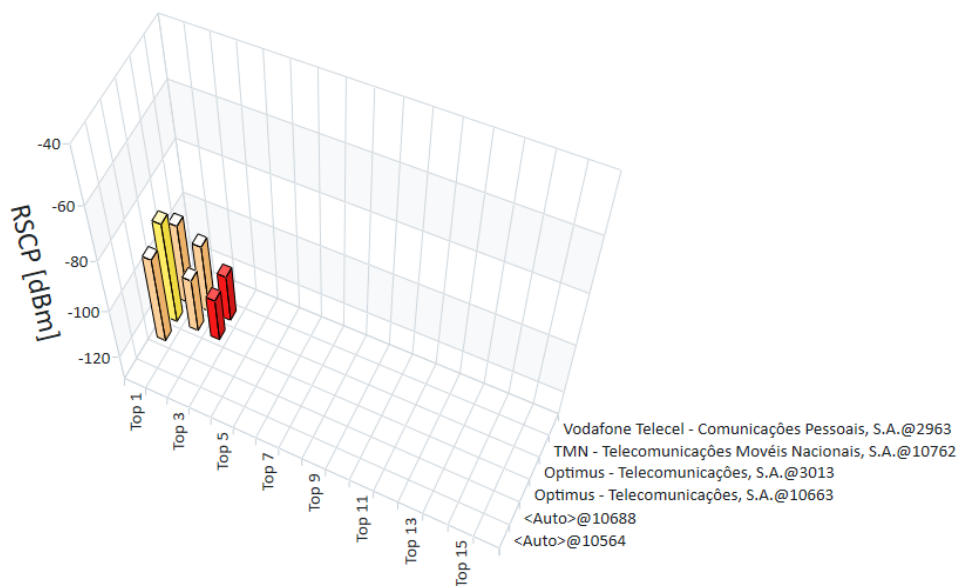


Figura 5.32 Gráfico da tecnologia UMTS

Tabela 5.8 Resumo das melhores coberturas no ponto 13 de medição para cada tecnologia detetada

Ponto	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
13	5G NR (RSSI)	-100.22		
	LTE (Power)		-78.23	
	NB-IoT (NRSSI)	-104.34		
	UMTS (RSCP)		-89.2	

No ponto 13 de medição, os resultados indicam a operadora NOS como a que tem a melhor cobertura. Em termo das tecnologias, cada uma da operadora NOS e a MEO tem a melhor cobertura em duas das tecnologias encontradas, mas a NOS mostra ter a melhor qualidade de sinal. E conclui-se que a pior cobertura pertence a operadora Vodafone.

- Resultados da medição feita no ponto 17

As Figuras 5.34 a 5.37 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 17 da medição.

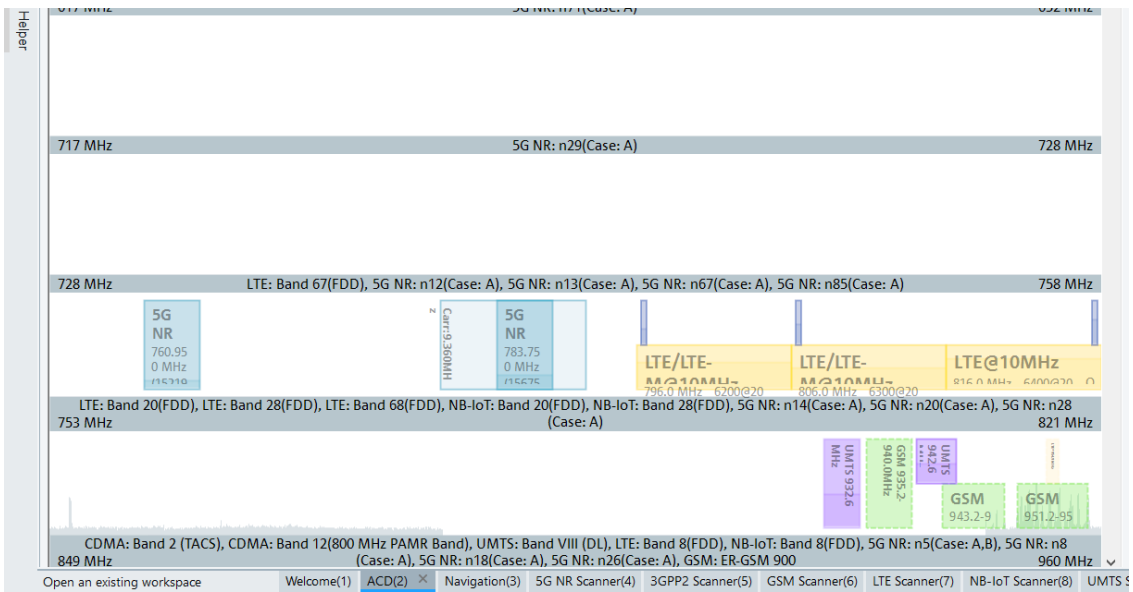


Figura 5.33 ACD de medição no ponto 17 (a)

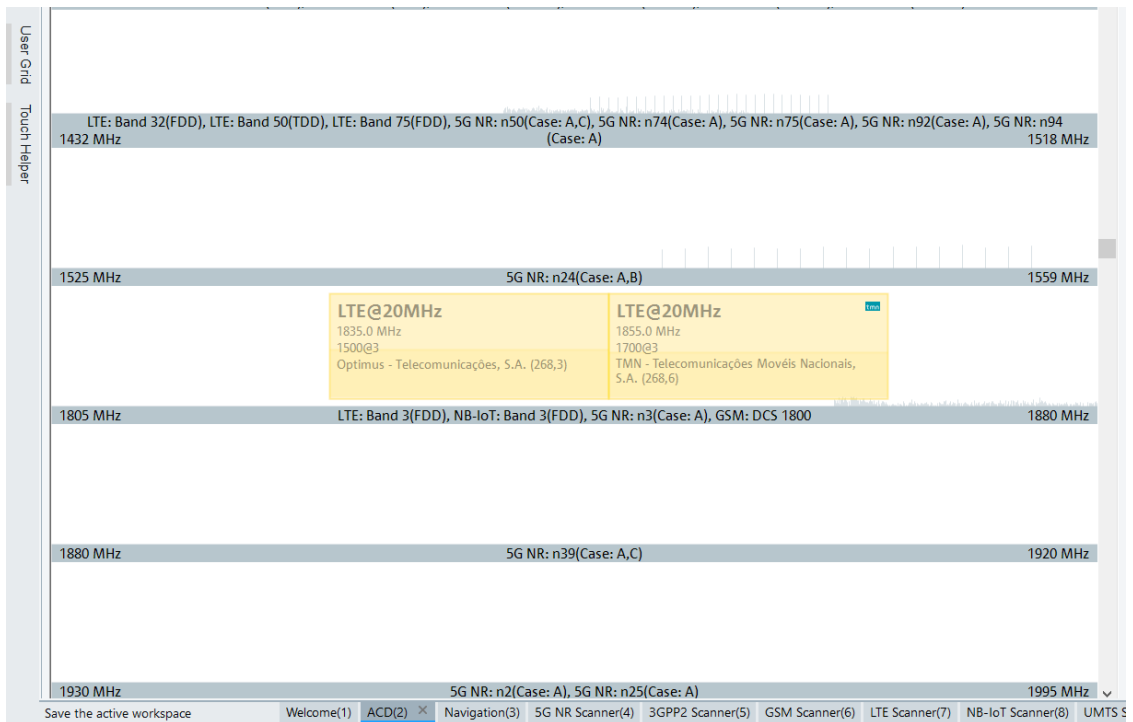


Figura 5.34 ACD de medição no ponto 17 (b)

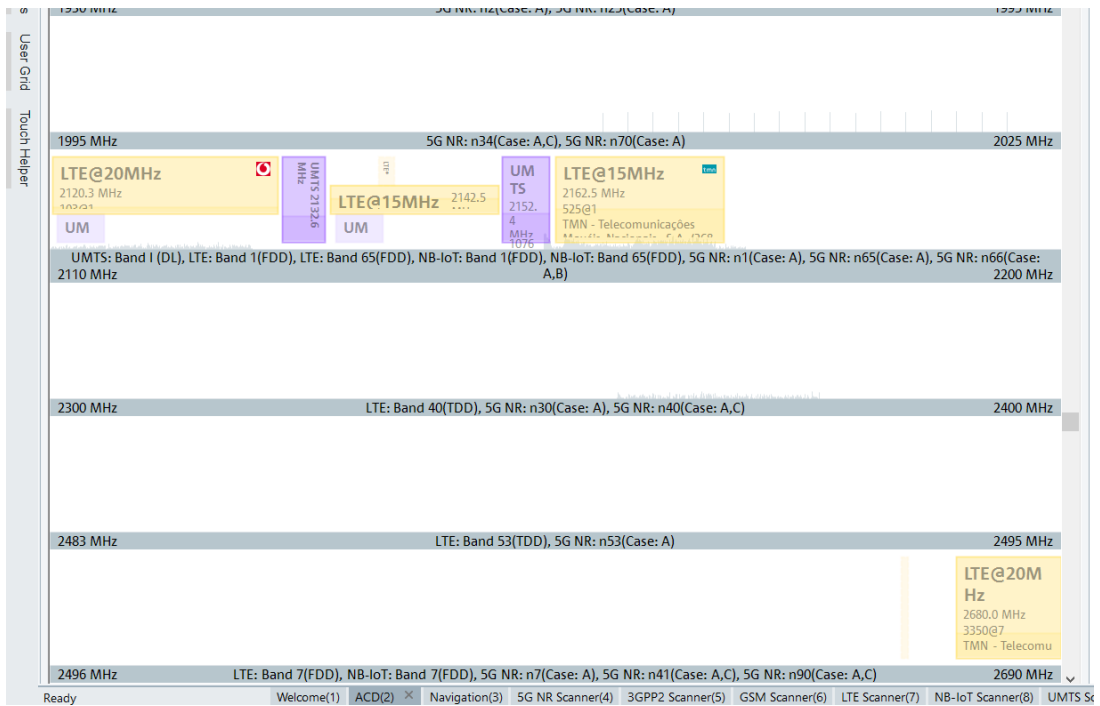


Figura 5.35 ACD de medição no ponto 17 (c)

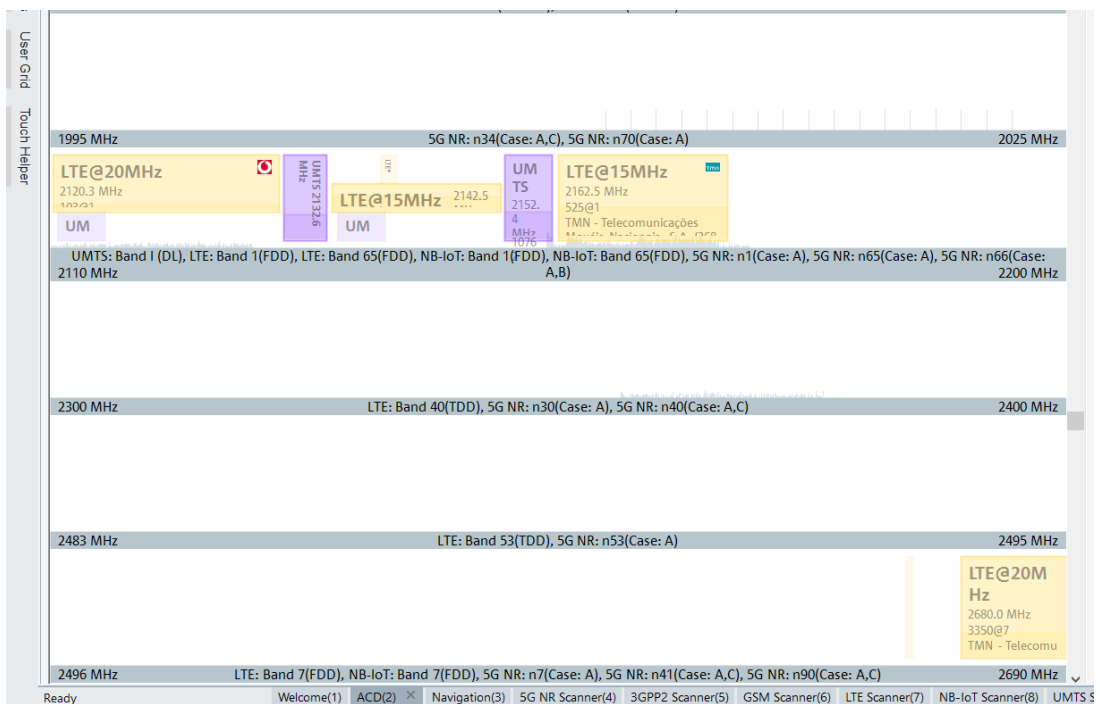


Figura 5.36 ACD de medição no ponto 17 (d)

A Tabela 5.9 apresenta operadoras, as bandas de frequência e as tecnologias identificadas no ponto 17 da medição.

Tabela 5.9 As tecnologias encontradas na medição do ponto 17

Tecnologia	Operador	Frequência central	Unidade
5G NR	MEO	760.950	MHz
5G NR	NOS	783.750	MHz
NB-IoT	MEO	291.4025	MHz
LTE	MEO	796.0	MHz
NB-IoT	-	801.4025	MHz
LTE	Vodafone	806.0	MHz
LTE	NOS	816.0	MHz
NB-IoT	-	820.5975	MHz
UMTS	Vodafone	932.6	MHz
GSM	Vodafone	935.2-940.0	MHz
UMTS	NOS	942.6	MHz
GSM	NOS	943.2-949.8	MHz
GSM	MEO	951.2-958.6	MHz
LTE	-	954.9	MHz
LTE	NOS	1835.0	MHz
LTE	MEO	1855.0	MHz
UMTS	-	2112.8	MHz
LTE	Vodafone	2120.3	MHz
UMTS	NOS	2132.6	MHz
UMTS	-	2137.6	MHz
LTE	-	2140.0	MHz
LTE	NOS	2142.5	MHz
UMTS	MEO	2.52.4	MHz
LTE	MEO	2162.5	MHz
LTE	-	2660.0	MHz
LTE	MEO	2680.0	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727.200	MHz

As Figuras 5.38 a 5.41 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 17 da medição. A Tabela 5.10 apresenta a identificação da operadora com a melhor cobertura no ponto 17 de medição para cada tecnologia detetada.

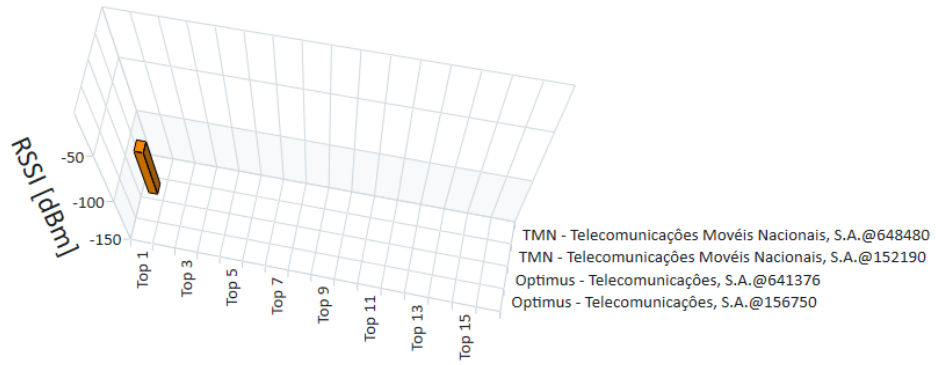


Figura 5.37 Gráfico da tecnologia 5G NR

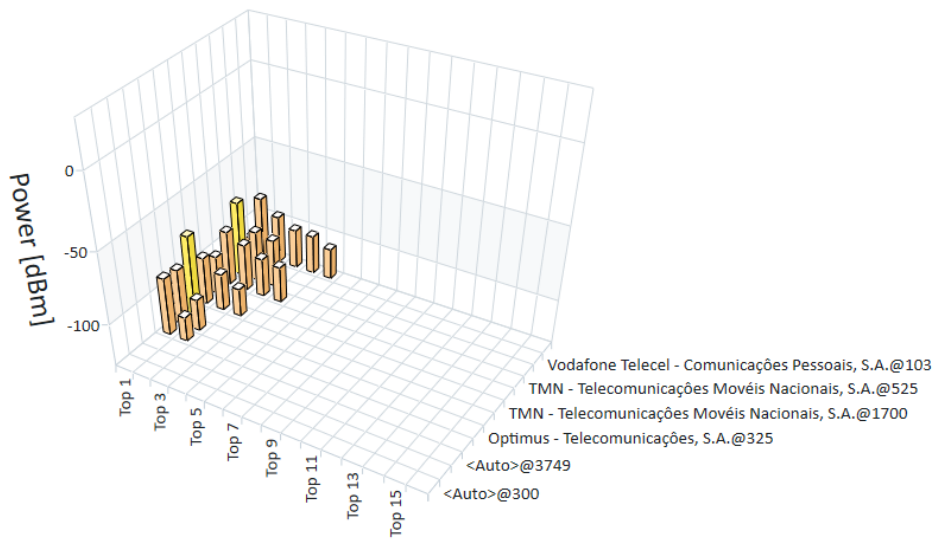


Figura 5.38 Gráfico da tecnologia LTE

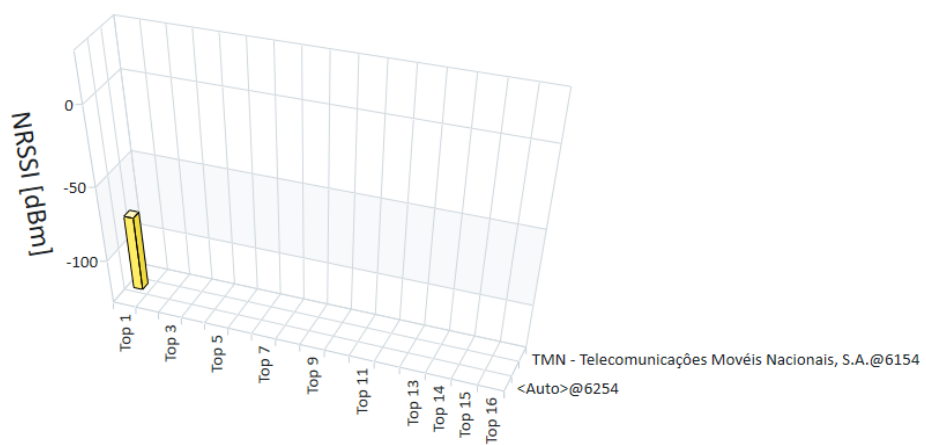


Figura 5.39 Gráfico da tecnologia NB-IoT

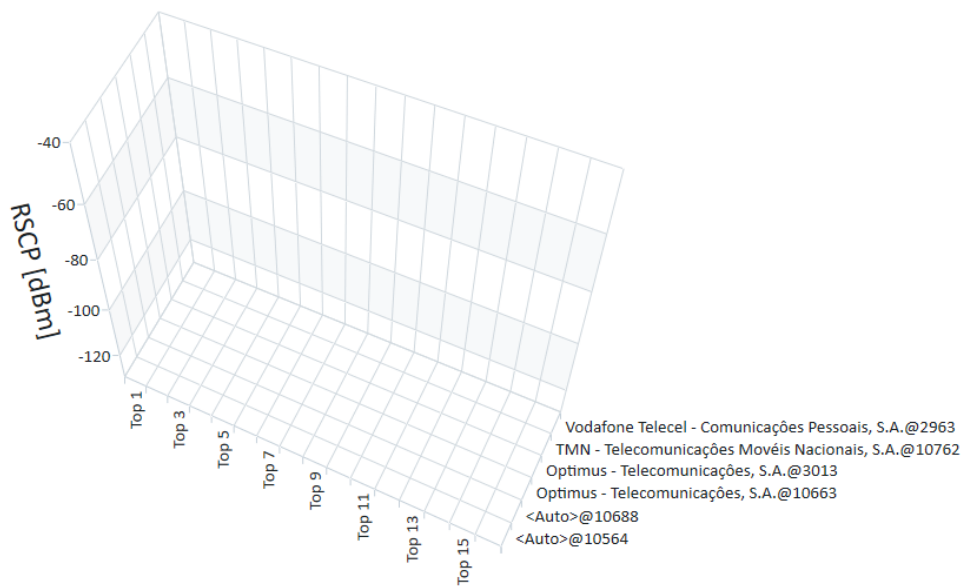


Figura5.40 Gráfico da tecnologia UMTS

Tabela 5.10 Resumo das melhores coberturas no ponto 17 de medição para cada tecnologia detetada

Ponto	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
17	5G NR (RSSI)	-100.21		
	LTE (Power)		-74.02	
	NB-IoT (NRSSI)	M		
	UMTS (RSCP)	M	M	M

Nota bem: o M significa cobertura ruim.

Os resultados das medições no ponto 17 em comparação com os outros pontos anteriores, esta tem a pior cobertura de rede. A única tecnologia que tem uma cobertura um pouco melhor é a tecnologia LTE, As operadoras disponíveis nas duas últimas tecnologias na tabela (NB-IoT e UMTS), têm uma cobertura muito ruim. Neste ponto a NOS é a operadora com melhor cobertura.

- Resultados da medição feita no ponto 19

As Figuras 5.42 a 5.45 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 19 da medição.

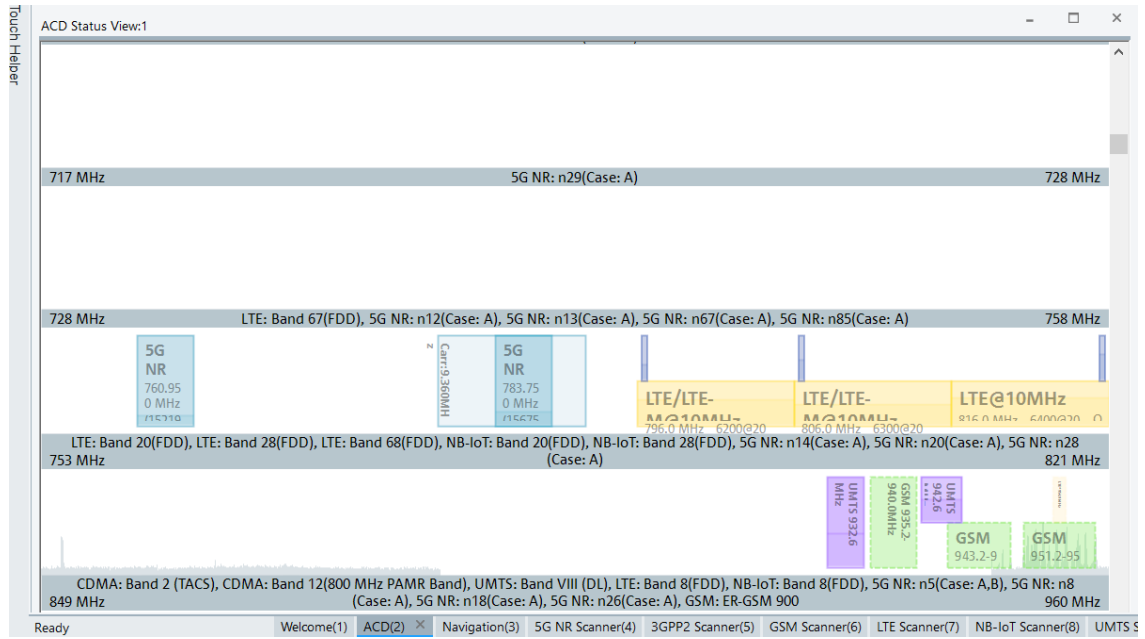


Figura 5.41 ACD de medição no ponto 19 (a)

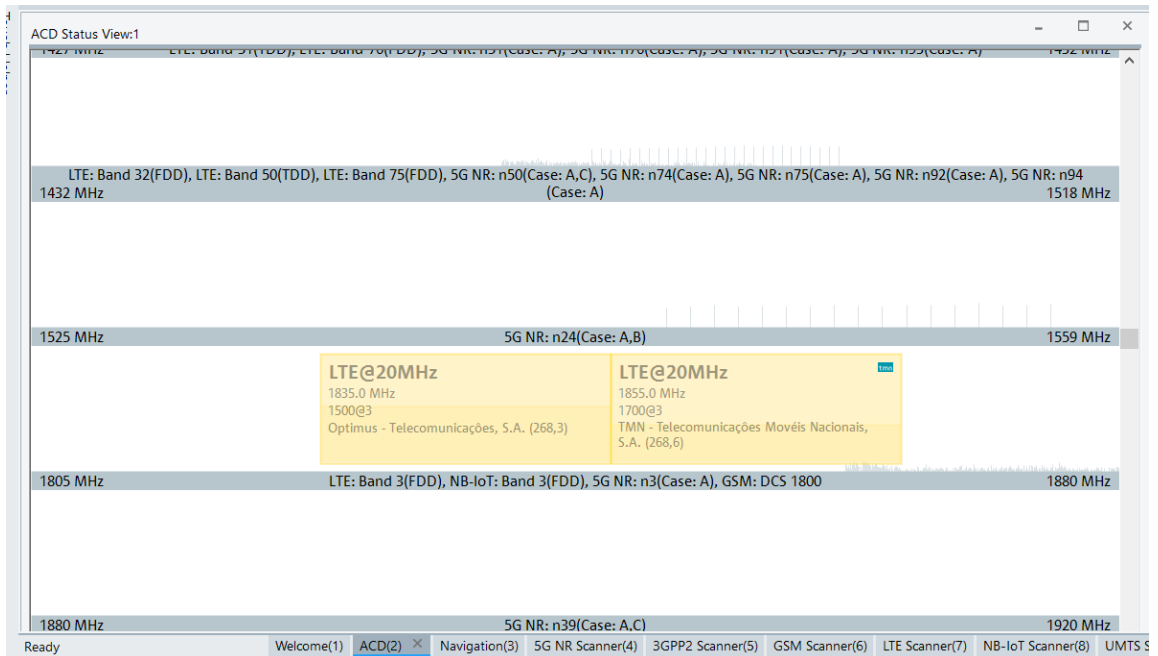


Figura 5.42 ACD de medição no ponto 19 (b)

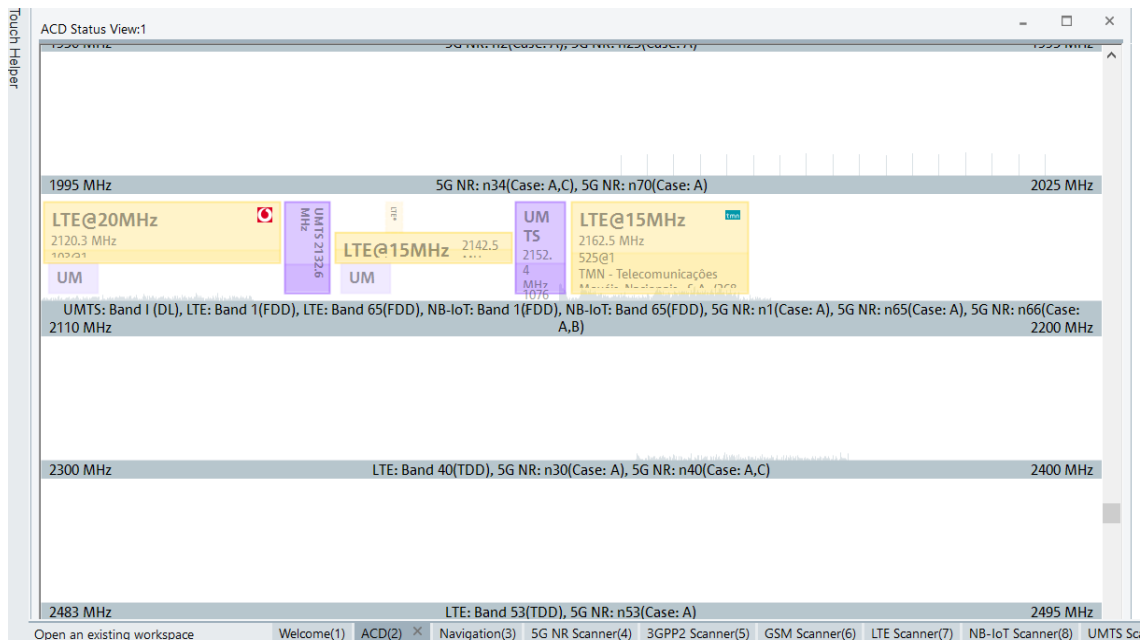


Figura 5.43 ACD de medição no ponto 19 (c)

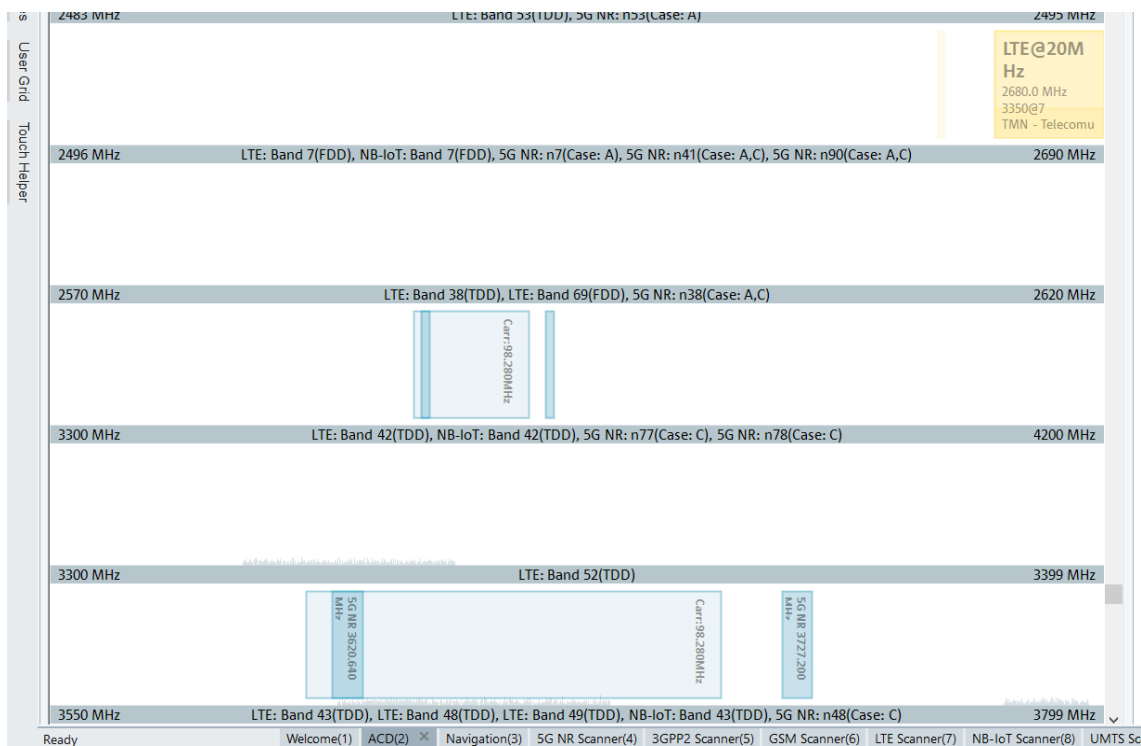


Figura 5.44 ACD de medição no ponto 19 (d)

A Tabela 5.11 apresenta operadoras, as bandas de frequência e as tecnologias identificadas no ponto 19 de medição.

Tabela 5.11 Várias tecnologias encontradas na medição do ponto 19

Tecnologia	Operador	Frequência central	Unidade
5G NR	MEO	760.950	MHz
5G NR	NOS	783.750	MHz
NB-IoT	MEO	291.4025	MHz
LTE	MEO	796.0	MHz
NB-IoT	-	801.4025	MHz
LTE	Vodafone	806.0	MHz
LTE	NOS	816.0	MHz
NB-IoT	-	820.5975	MHz
UMTS	Vodafone	932.6	MHz
GSM	Vodafone	935.2-940.0	MHz
UMTS	NOS	942.6	MHz
GSM	NOS	943.2-949.8	MHz
GSM	MEO	951.2-958.6	MHz
LTE	-	954.9	MHz
LTE	NOS	1835.0	MHz
LTE	MEO	1855.0	MHz
UMTS	-	2112.8	MHz
LTE	Vodafone	2120.3	MHz
UMTS	NOS	2132.6	MHz
UMTS	-	2137.6	MHz
LTE	-	2140.0	MHz
LTE	NOS	2142.5	MHz
UMTS	MEO	2152.4	MHz
LTE	MEO	2162.5	MHz
LTE	-	2660.0	MHz
LTE	MEO	2680.0	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727.200	MHz

As Figuras 5.46 a 5.49 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 19 da medição. A Tabela 5.12 apresenta a identificação da operadora com a melhor cobertura no ponto 19 da medição para cada tecnologia detetada.

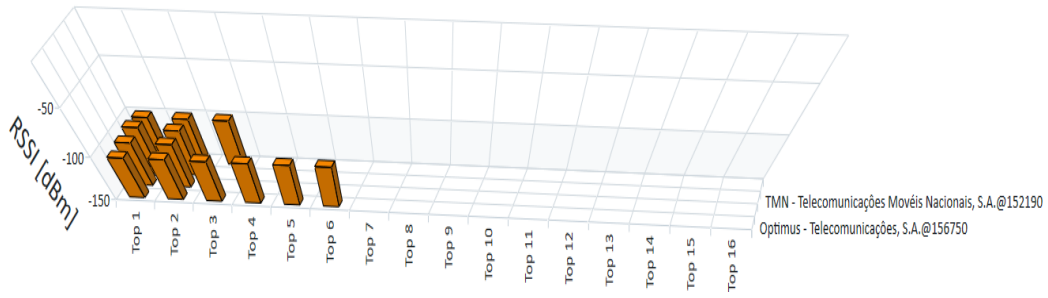


Figura 5.45 Gráfico da tecnologia 5G NR

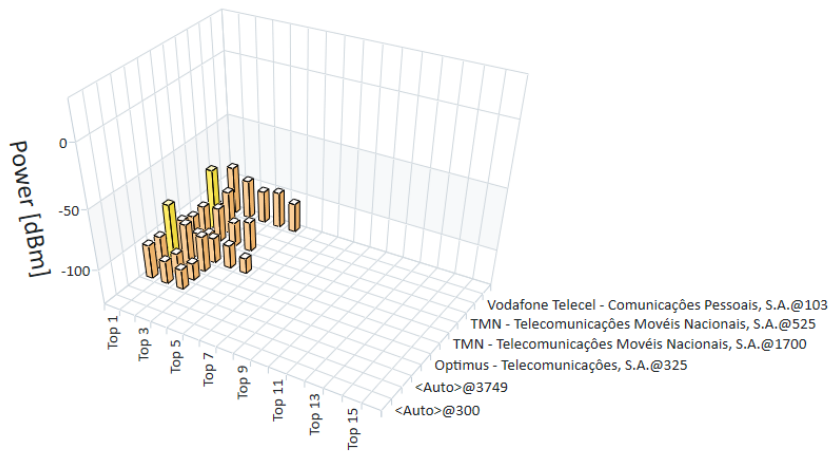


Figura 5.46 Gráfico da tecnologia LTE

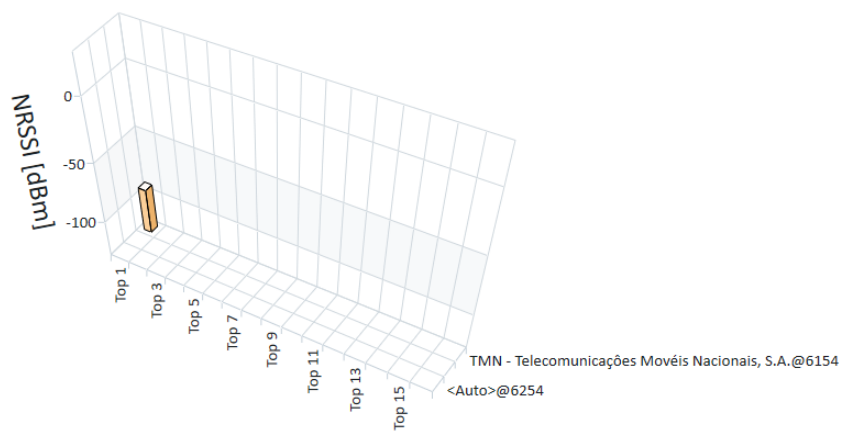


Figura 5.47 Gráfico da tecnologia NB-IoT

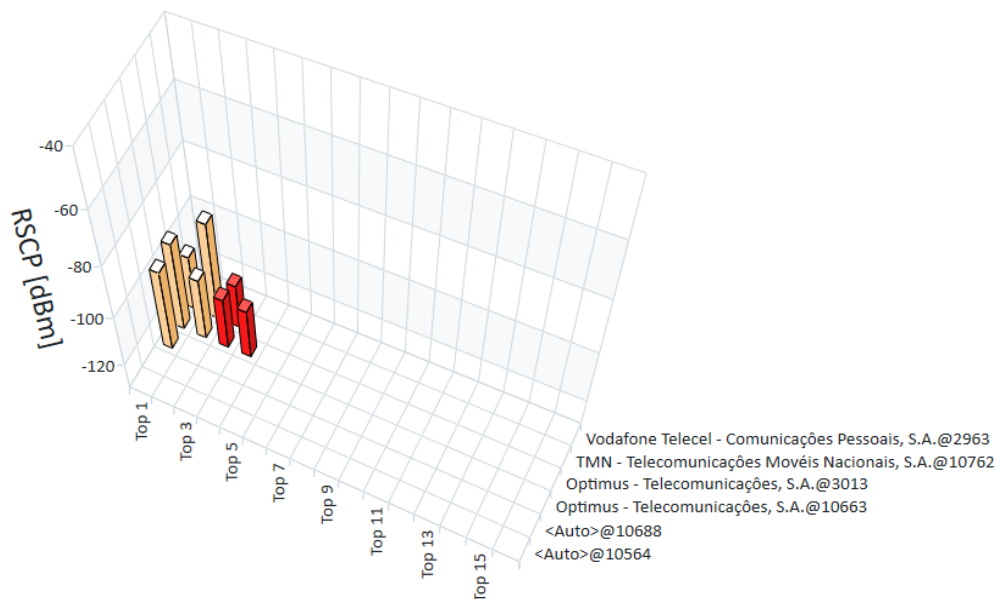


Figura 5.48 Gráfico da tecnologia UMTS

Tabela 5.12 Resumo das melhores coberturas no ponto 19 de medição para cada tecnologia detetada

Ponto	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
19	5G NR (RSSI)		-100.52	
	LTE (Power)	-78.43		
	NB-IoT (NRSSI)	-92.15		
	UMTS (RSCP)		-95.4	

No ponto 19 de medição, os resultados mostram que a operadora MEO tem a melhor cobertura nas tecnologias LTE e NB-IoT, Já a operadora por sua vez domina a cobertura nas tecnologias 5G NR e UMTS. Dentre estas tecnologias detetadas, a LTE apresenta melhor cobertura de sinal no ponto 19. Também é visível que a operadora Vodafone tem a pior cobertura neste ponto.

- Resultados da medição feita no ponto 21

As Figuras 5.50 a 5.53 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no 21 da medição.

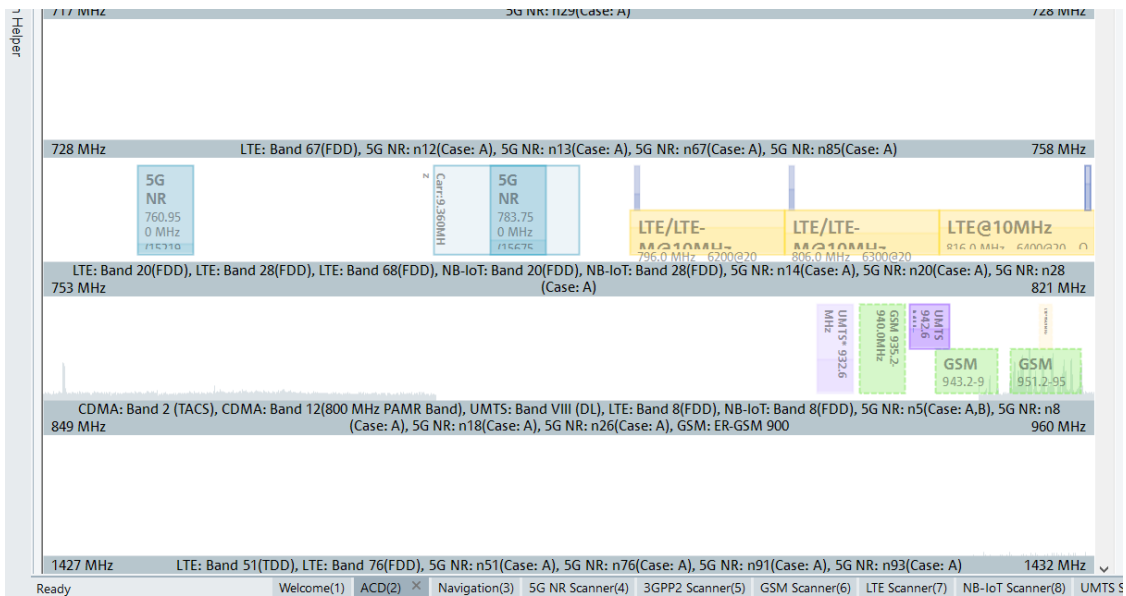


Figura 5.49 ACD da medição no ponto 21 (a)

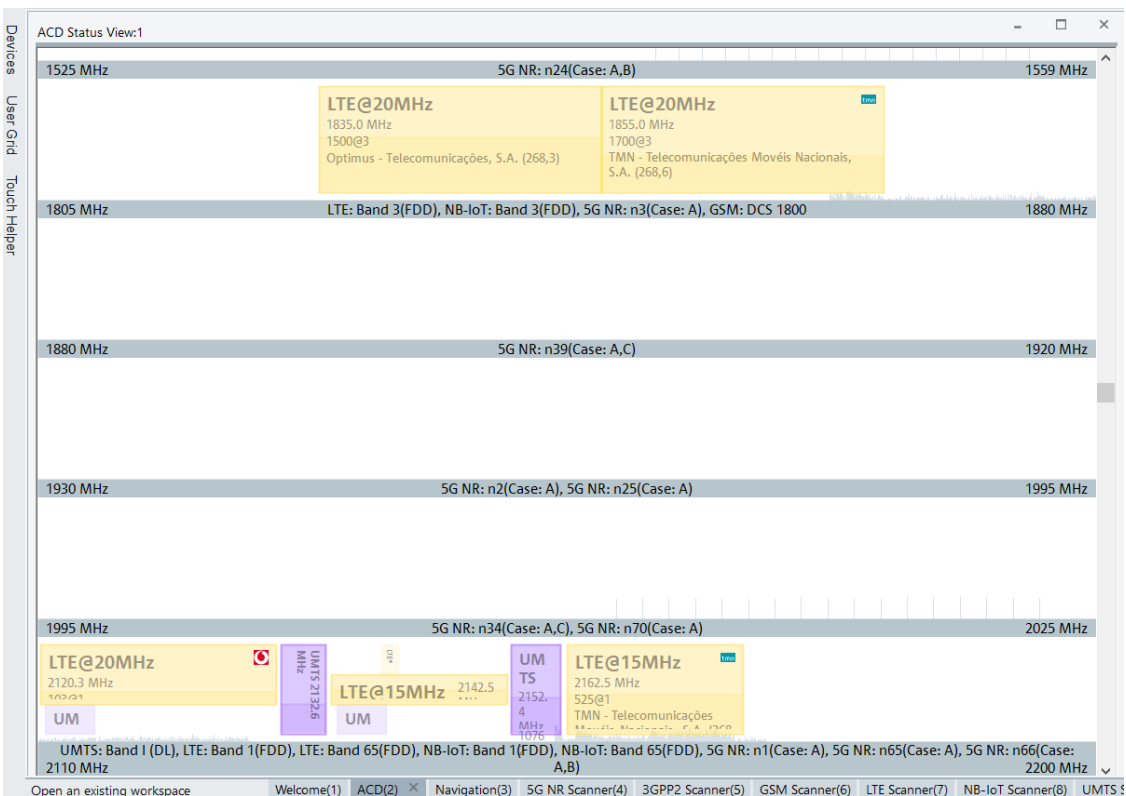


Figura 5.50 ACD da medição no ponto 21 (b)

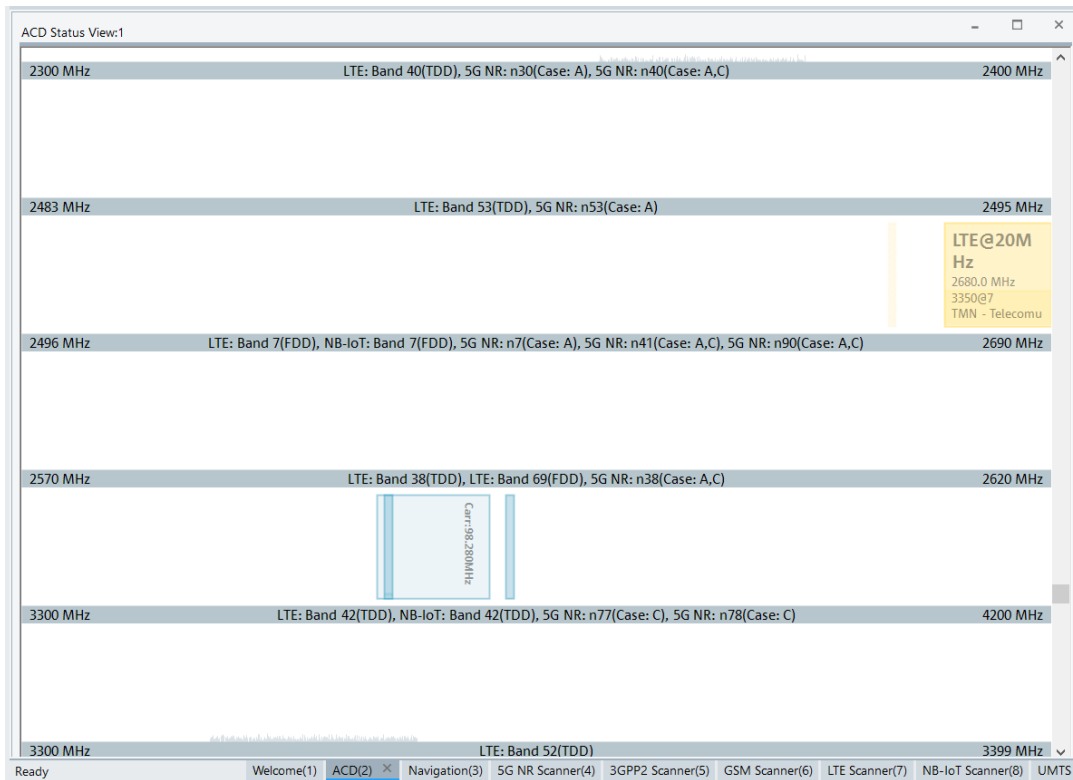


Figura 5.51 ACD da medição no ponto 21 (c)

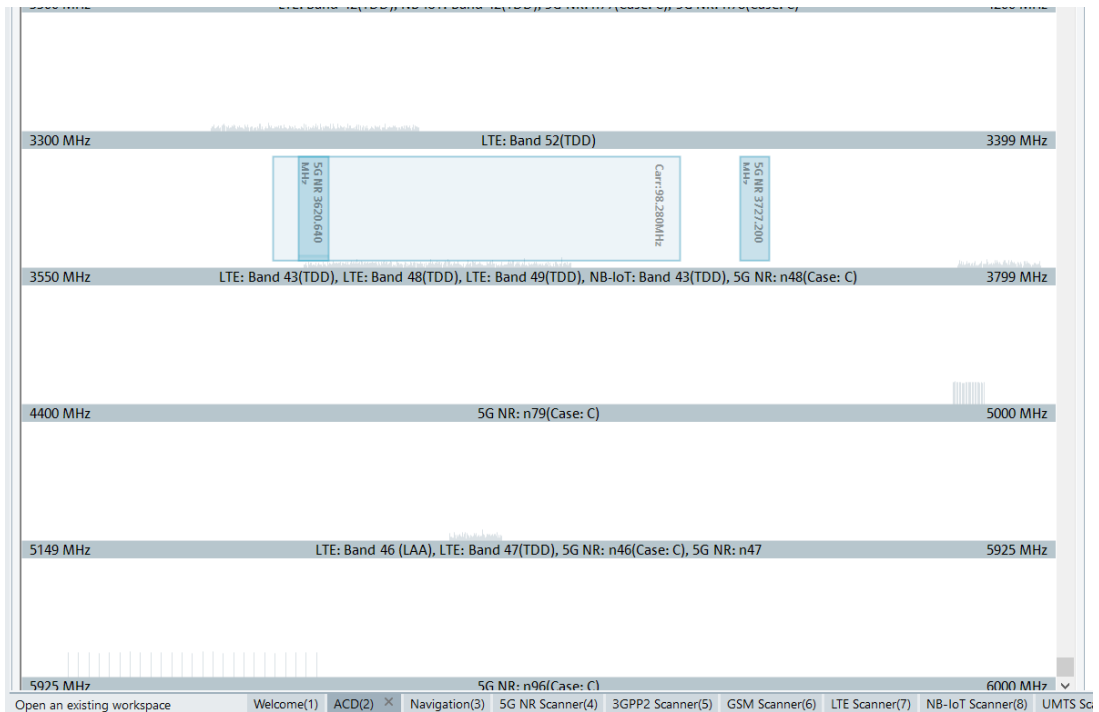


Figura 5.52 ACD de medição no ponto 21 (d)

A Tabela 5.13 apresenta operadoras, as bandas de frequência e as tecnologias identificadas no ponto 21 de medição.

Tabela 5.13 As tecnologias encontradas na medição do ponto 21

Tecnologia	Operador	Frequência central	Unidade
5G NR	MEO	760.950	MHz
5G NR	NOS	783.750	MHz
NB-IoT	MEO	291.4025	MHz
LTE	MEO	796.0	MHz
NB-IoT	-	801.4025	MHz
LTE	Vodafone	806.0	MHz
LTE	NOS	816.0	MHz
NB-IoT	-	820.5975	MHz
UMTS	Vodafone	932.6	MHz
GSM	Vodafone	935.2-940.0	MHz
UMTS	NOS	942.6	MHz
GSM	NOS	943.2-949.8	MHz
GSM	MEO	951.2-958.6	MHz
LTE	-	954.9	MHz
LTE	NOS	1835.0	MHz
LTE	MEO	1855.0	MHz
UMTS	-	2112.8	MHz
LTE	Vodafone	2120.3	MHz
UMTS	NOS	2132.6	MHz
UMTS	-	2137.6	MHz
LTE	-	2140.0	MHz
LTE	NOS	2142.5	MHz
UMTS	MEO	2152.4	MHz
LTE	MEO	2162.5	MHz
LTE	-	2660.0	MHz
LTE	MEO	2680.0	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727.200	MHz

As Figuras 5.54 a 5.47 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 21 da medição. A Tabela 5.14 apresenta a identificação da operadora com a melhor cobertura no ponto 21 da medição para cada tecnologia detetada.

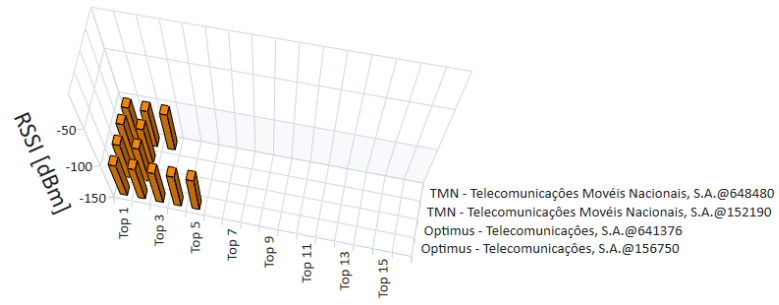


Figura 5.53 Gráfico da tecnologia 5G NR

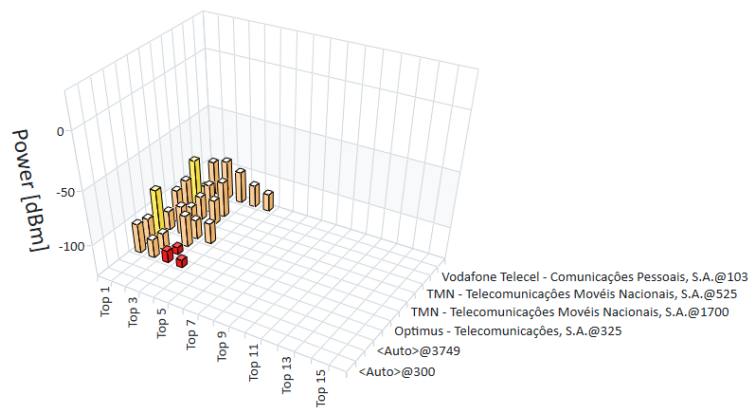


Figura 5.54 Gráfico da tecnologia LTE

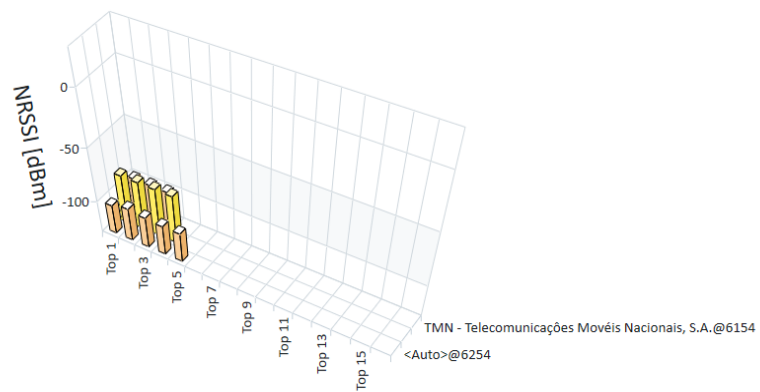


Figura 5.55 Gráfico da tecnologia NB-IoT

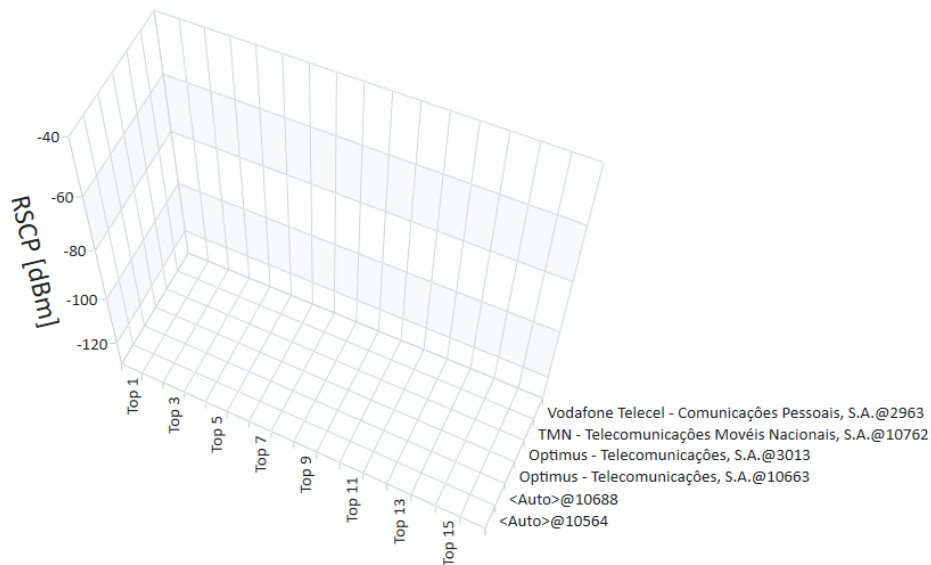


Figura 5.56 Gráfico da tecnologia UMTS

Tabela 5.14 Resumo das melhores coberturas no ponto 21 de medição para cada tecnologia detetada

Ponto	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
21	5G NR (RSSI)			
	LTE (Power)	-83.11		
	NB-IoT (NRSSI)	-98.22		
	UMTS (RSCP)	-97.70	M	M

Nota bem: o M significa cobertura ruim.

Com base nos resultados encontrados na medição do ponto 21, contata-se que a operadora MEO tem a melhor cobertura em todas as tecnologias encontradas na medição do ponto 21. Vale destacar que a tecnologia UMTS tem a pior cobertura de sinal neste ponto, onde todas as operadoras presentes nesta tecnologia têm uma cobertura muito ruim. A operadora Vodafone apresenta a pior coberta neste ponto de medição.

- Resultados da medição feita no ponto 23

As Figuras 5.58 a 5.61 apresenta a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 23 da medição.

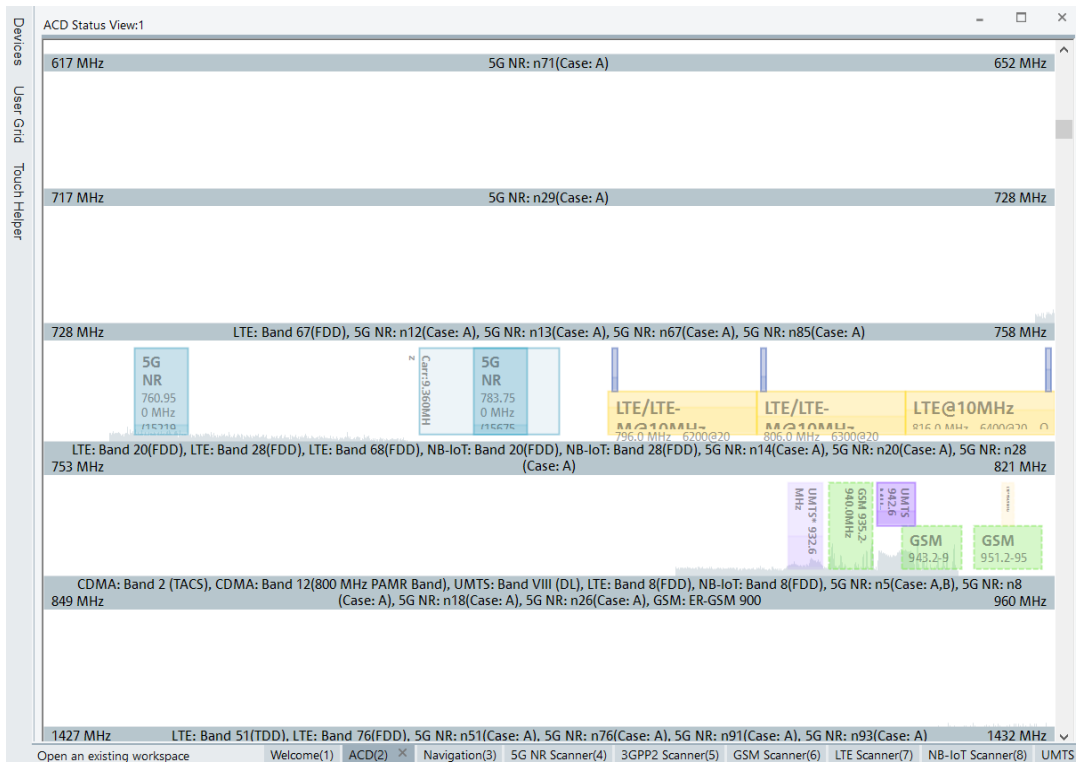


Figura 5.57 ACD de medição no ponto 23 (a)

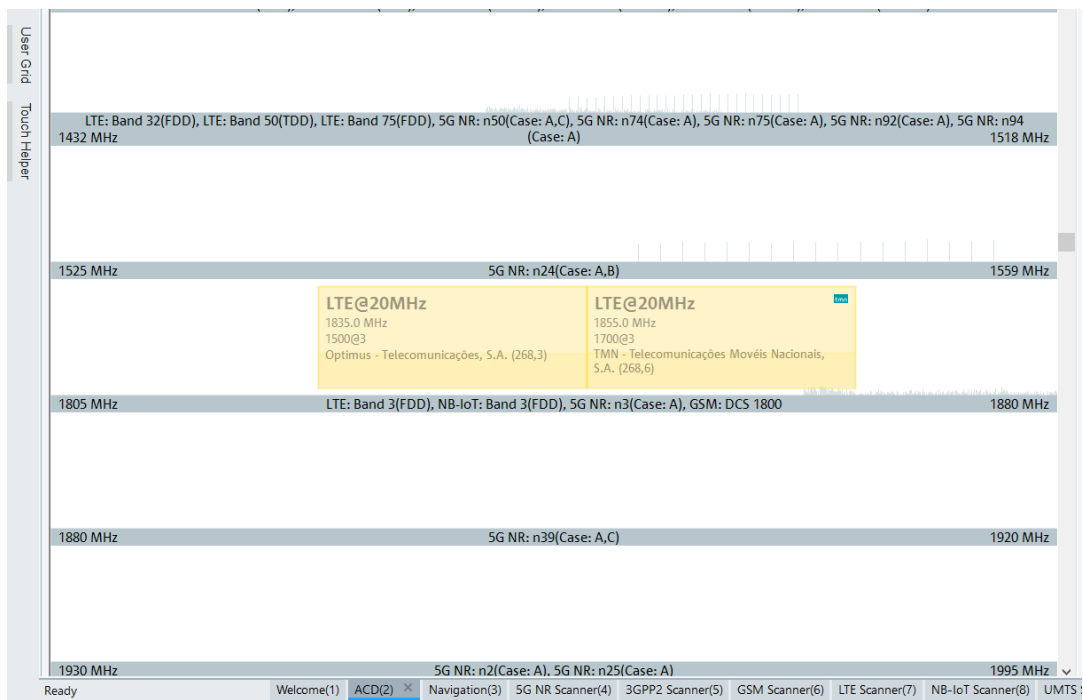


Figura 5.58 ACD de medição no ponto 23 (b)

Tabela 5.15 Tecnologias encontradas na medição do ponto 23

Tecnologia	Operador	Frequência central	Unidade
5G NR	MEO	760.950	MHz
5G NR	NOS	783.750	MHz
NB-IoT	MEO	291.4025	MHz
LTE	MEO	796.0	MHz
NB-IoT	-	801.4025	MHz
LTE	Vodafone	806.0	MHz
LTE	NOS	816.0	MHz
UMTS	Vodafone	932.6	MHz
GSM	Vodafone	935.2-940.0	MHz
UMTS	NOS	942.6	MHz
GSM	NOS	943.2-949.8	MHz
GSM	MEO	951.2-958.6	MHz
LTE	-	954.9	MHz
LTE	NOS	1835.0	MHz
LTE	MEO	1855.0	MHz
UMTS	-	2112.8	MHz
LTE	Vodafone	2120.3	MHz
UMTS	NOS	2132.6	MHz
UMTS	-	2137.6	MHz
LTE	-	2140.0	MHz
LTE	NOS	2142.5	MHz
UMTS	MEO	2152.4	MHz
LTE	MEO	2162.5	MHz
LTE	-	2660.0	MHz
LTE	MEO	2680.0	MHz
5G NR	NOS	3620.640	MHz
5G NR	MEO	3727.200	MHz

As Figuras 5.62 a 5.65 apresentam a identificação das tecnologias presentes/identificadas no ponto 23 da medição. A Tabela 5.16 apresenta a identificação da operadora com a melhor cobertura no ponto 23 da medição para cada tecnologia detetada.

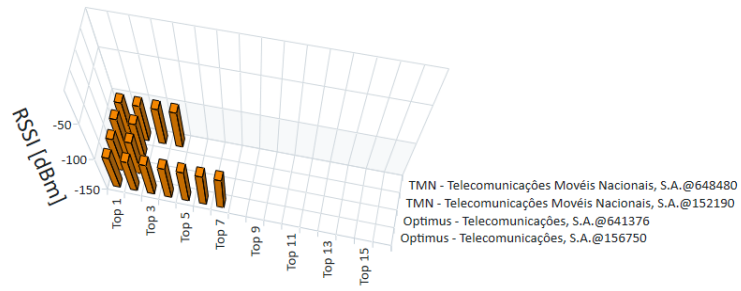


Figura 5.61 Gráfico da tecnologia 5G NR

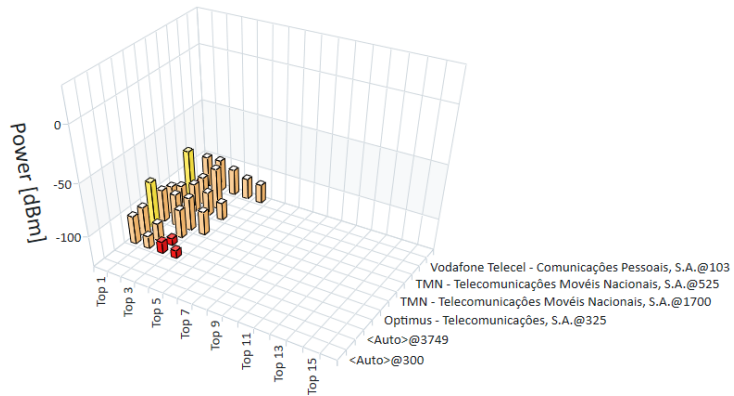


Figura 5.62 Gráfico da tecnologia LTE

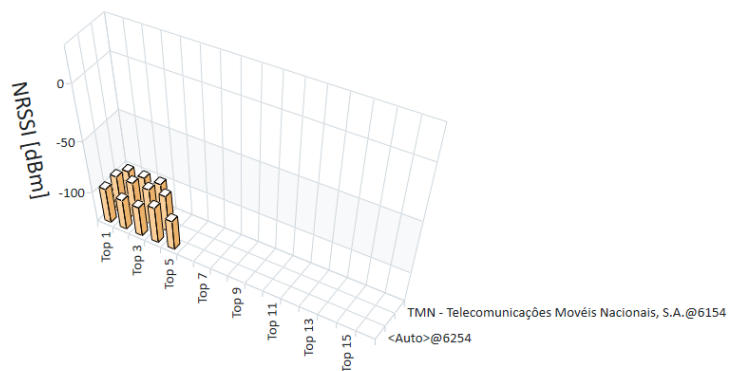


Figura 5.63 Gráfico da tecnologia NB-IoT

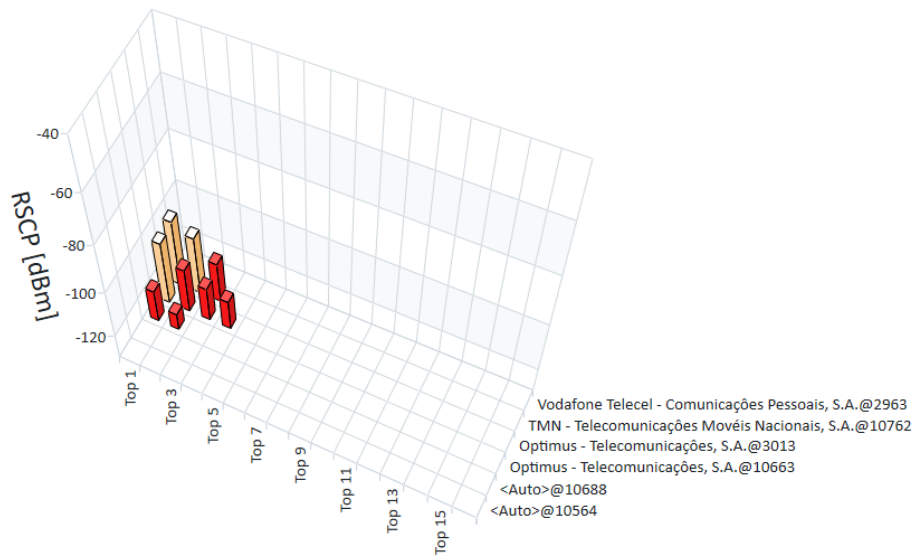


Figura 5.64 Gráfico da tecnologia UMTS

Tabela 5.16 Resumo das melhores coberturas no ponto 23 de medição para cada tecnologia detetada

Ponto	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
23	5G NR (RSSI)	-97.70		
	LTE (Power)	-80.88		
	NB-IoT (NRSSI)	-98.74		
	UMTS (RSCP)	-102.1		

Os resultados obtidos na medição do ponto 23 nos mostra claramente que a tecnologia com a melhor cobertura de sinal é LTE, e a operadora MEO tem a melhor cobertura em relação as outras operadoras. Tal igual como aconteceu nos pontos anteriores, a operadora Vodafone apresenta a pior cobertura em todas as tecnologias presentes neste ponto.

5.4 Sumário e Conclusões

Com base nos resultados obtidos através das medições realizadas com o Scanner R&S®ROMES6 em combinação com o software R&S®ROMES4, fazendo análise e algumas comparações, podemos garantir que os resultados das medições realizadas com o Scanner R&S®ROMES6 foram em relação às medições feitas utilizando Narda 3600.

Analisando os resultados obtidos foi possível identificar algumas zonas que precisam da melhoria da cobertura. Baseando nos resultados das medições, as tecnologias 5G NR, UMTS e NB-IoT, o ponto 13 da medição como a zona com melhor cobertura de sinal. Enquanto a tecnologia LTE tem a melhor cobertura de sinal no ponto 17 da medição. Para a tecnologia 5G RN, o lugar com a pior cobertura é no ponto 17 da medição, e na porta de entrada para as consultas externas. Já a tecnologia UMTS tem duas zonas de medições como piores em termos de cobertura, estes pontos são o 17 e 21. Para a tecnologia NB-IoT a pior zona em termos da cobertura é o ponto 19, enquanto para a tecnologia LTE a pior zona é na porta de entrada das consultas externas.

Na tecnologia 5G NR, em quase todos os pontos da medição, identificou-se as operadoras MEO e NOS, sendo o ponto inicial a exceção. Já na tecnologia LTE, embora tendo MEO e NOS quase presentes em todas as zonas, a melhor qualidade de sinal pertence a operadora NOS. Também é possível identificar nas comparações que, ao longo das medições, na tecnologia LTE, as operadoras disponibilizaram a menor potência no primeiro ponto de medição (porta de entrada das consultas externas). Ao contrário da tecnologia LTE, na tecnologia NB-IoT a operadora MEO tem a melhor cobertura de sinal. Por último na tecnologia UMTS identificou também a operadora NOS como a que possui a melhor cobertura de sinal, sendo a cobertura desta tecnologia muito fraca nos pontos 17 e 21.

Com base nestes resultados, para as tecnologias analisadas LTE, UMTS, 5G NR, e NB-IoT, as zonas que precisam da melhoria de cobertura, são nos pontos 17, 19, 21 e no primeiro ponto de medição (porta de entrada das consultas externas).

Capítulo 6

Rastreo dos ativos no CHUCB

O objetivo deste capítulo é implementar um sistema de rastreo no Centro Hospitalar Universitária Cova da Beira (HUCB) no desenvolvimento do projeto (TERI). Para isso precisávamos de autorização, o que foi conseguido com sucesso, precisámos do dispositivo *aruba tag* e de uma licença para poder a plataforma *Meridian Editor*. É a partir desta plataforma que vamos programar o nosso aplicativo, que vais atender a todas nossas necessidades tais como, adicionar recurso de notificação. Com este recurso podemos receber notificação quando uma tag ou dispositivo que está sendo rastreado ultrapassar um limite definido no mapa.

6.1 Procedimento

O processo de rastreo começa sempre com revisão, edição do mapa criado pelo Meridian baseando na sua localização, de seguida definir os limites no mapa. Depois de definir os limites, é preciso analisar a cobertura do sinal dos APs, se houver algum lugar no mapa onde o sinal não chega, é preciso adicionar APs para que o sinal possa cobrir todos os lugares no mapa.

No caso do Hospital Cova da Beira, depois da análise da cobertura do sinal, descobrimos alguns pontos com fraca cobertura de rede. Para implementação do serviço de rastreamento dos ativos num mapa que incluía estas zonas, seria necessário adicionar alguns APs nos pontos onde há pouca cobertura da rede. Devido a falta de matérias estas condições não foram satisfeita, nos obrigando escolher só os lugares com boa cobertura para fazer a monitorização e o rastreo dos ativos e bens.

Para isso, precisamos habilitar o recurso BLE destes APs, para que eles possam receber o sinal dos ativos a serem rastreados, a seguir, ativamos o dispositivo móvel (tag). A partir deste momento, a tag começa a transmitir, e o sinal é recebido pelo AP que cobre a área onde encontra o dispositivo. Este sinal é enviado para nuvem da plataforma Meridian, permitindo que o aplicativo encontre o dispositivo no mapa. Para que o aplicativo encontre este sinal, é preciso adicionar o dispositivo tag no aplicativo. Existe duas formas de adicionar a tag no aplicativo aruba tag.

Primeiro é adicionar manualmente o endereço MAC que se encontra na parte de trás da etiqueta o SN.

A segunda forma é colocar o dispositivo em cima da etiqueta e deixar enquanto a verificação está a ser feita. Depois de terminar a verificação, é só clicar em concluir que a tag fica logo adicionado. Este método vem substituir o método de QR code.



Figura 6.1 Tabela 6.1 Aruba tags

Para visualizar a tag no mapa através do aplicativo, basta clicar na opção tag que se encontra na lateral esquerdo do aplicativo, depois clicar na opção visualizar tag. Se a tag estiver a transmitir, será possível visualizá-la no mapa. Para visualizar no Meridian Editor, procedimento é quase o mesmo. Clicando no menu tag, aparecerá três opção:

- ◆ Descrição da etiqueta
- ◆ Quando foi visto
- ◆ Onde foi visto pela última vez no mapa

Daí é só escolher a opção que lhe interessa.

Também pode-se adicionar as tags de controle, estas servem para melhorar a precisão na localização dos ativos. Porque pode existir o problema dos APs não conseguirem cobrir todo o território pretendido no mapa, para resolver este problema, pode-se adicionar alguns APs nos lugares com pouco sinal, ou adicionar tags de controle.

As tags de controle serve para melhorar a precisão de rastreio e localização dos ativos.

Para adicionar uma tag de controle basta seguir estes passos:

1. Adicionar a tag
2. No mapa ir no canto superior esquerdo e clicar na ferramenta analisar
3. Encontre a tag e arraste-a para o local desejado no mapa.

4. Depois de fixar a tag no local desejado, é só clicar em concluir que a tag passa a ser tag de controle.

É possível editar tags a partir do aplicativo ou plataforma Meridian Editor, algumas destas edições são:

Nome: O nome em cada tag é uma coisa obrigatório, e os nomes devem estar relacionado ao recurso que está a ser marcado.

Para adicionar um nome, primeiro clica no menu tag e depois escolher a etiqueta para nomear, depois de escolher a etiqueta, clica na opção editar e escolher o nome.

Foto: Depois de selecionar a etiqueta e a opção editar, de seguida clica na câmara e adiciona foto a partir da galeria ou tirar uma na hora. Depois de adicionar a foto, de seguida é preciso clicar na opção salvar. A partir deste momento a etiqueta passa a mostrar esta imagem no mapa.

6.2 Próximos Passos no Desenvolvimento da Solução

A empresa CLARANET já atribuiu a licença do Meridian Editor e irá disponibilizar as tags em breve. Estamos na fase de contatos com o CHUCB para clarificar se poderemos utilizar uma carta controladora e alguns pontos de acesso da sua rede, com o objetivo de desenvolver a solução de localização/rastreamento de ativos aqui proposta, com recurso ao Bluetooth Low Energy (BLE) no Hospital Universitária Cova da Beira (CHUCB).

A questão que se levanta consiste em tentar compreender se poderemos realizar o desenvolvimento da solução, e os testes associados, sem causar qualquer impacto na operação da rede WiFi do Hospital. Caso esta premissa se confirme, existe a expectativa de, em colaboração com a CLARANET, conseguir explorar uma solução inicial em breve.

Capítulo 7

Conclusões e trabalho futuro

O principal objetivo deste trabalho era explorar a aplicação das comunicações móveis celular e sem fios na e-saúde, para isso, explorou-se 6 capítulos a volta deste conceito. Começou-se por apresentar o conceito geral das comunicações móveis celulares e sem fios, de seguida falou-se da aplicação das comunicações móveis celular e sem fios, focando nas redes sem fios de área corporal (WBAN), explorando os requisitos necessário para uma comunicação em WBAN e falou-se das métricas de avaliação para WBAN. Apresentou-se duas normas que se aplicam nas WBANs para definir e especificar a camada física (PHY) e a camada de controle de acesso ao meio (MAC). Também tratou-se das principais tecnologias de comunicação sem fios para WBAN, dedicando mais a usa da tecnologia *Bluetooth Low Energy (BLE)* e sua aplicação nos serviços de localização e de rastreamento de ativos no hospital. O objetivo propor no final, o uso da tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para oferecer serviços de localização e de rastreamento de ativos utilizando *Aruba tags*. Para isso era preciso ter uma boa cobertura de rede nos locais a implementar este serviço. Foi nessa ótica de ideia, foi realizado a medição do espectro radioelétrico no CHUCB para explorar possibilidades de disponibilização de cobertura celular ubíqua no contexto hospitalar e circundante. Para realizar as medições pretendidas, primeiro foi utilizado analisador de espectro *NARDA 3600* com antena isotrópica (comandada), para monitorizar a cobertura das redes móveis celulares e sem fios de área local, num segundo momento utilizou-se o Scanner R&S®TSME6 em combinação com o software R&S®ROMES4 para analisar a cobertura das redes móveis celular.

Com base nestes resultados, para as tecnologias analisadas LTE, UMTS, 5G NR, GSM e NB-IoT, as zonas que precisam da melhoria de cobertura, são nos pontos 17, 19, 21 e no primeiro ponto de medição (porta de entrada das consultas externas). Os resultados obtidos permitiu-se identificar algumas zonas que precisam da melhoria de cobertura de rede, mas de forma geral os resultados foram bons, sendo os objetivos atingidos. Depois de todo o estudo realizado, podemos concluir que o impacto das comunicações móveis celular e sem fios, na melhoria de qualidade de serviço na área de saúde é enorme. As infraestruturas de telecomunicações com uma rede de comunicações móveis, são muito importantes para a comunicação eficiente de voz e dados num ambiente hospitalar de

comunicação "ubíquo". A evolução nas telecomunicações e o aumento da taxa de transferência de dados para redes locais (LAN) e não só, catalisou o surgimento do Sistemas de Informação Hospitalar. Estes sistemas melhoraram a comunicação nos ambientes hospitalares, ajudando no armazenamento e transferência de informações importantes dos pacientes. Um destes sistemas é o uso da tecnologia de “*terminais portáteis*”, este sistema permite que os médicos e outros profissionais de saúde com autorizados, possam acessar o Prontuário Eletrônico do Paciente e introduzir e consultar dados do paciente, em qualquer ponto do hospital usando tablets e smartphones, tudo isso é graças as tecnologias de comunicações sem fios. As infraestruturas de telecomunicações não facilita somente as comunicações dentro os Hospitais, mas também permite a realização de ações médicas à distância. O uso da telemedicina um dos exemplos, ajudando a reduzir os custos operacionais e aumenta a eficiência e rapidez dos diagnósticos, além de diminuir o fluxo nos Hospitais, reduz os custos com transportes. Explorou-se a possibilidade da implementação da tecnologia Bluetooth Low Energy para oferecer serviços de localização e de rastreamento através dos Access Point da Aruba, num projeto que está a ser desenvolvido no projeto (TERI).

Posto isso, as comunicações móveis celulares e sem fios são muito importante para a eficiência de trabalhos na e-saúde, por isso é muito importante uma boa cobertura de nos hospitais. Durante a investigação constatamos que as redes WBAN é um assunto muito promissor, indicando para trabalhos futuros uma investigação mais profunda sobre a compatibilização da comunicação por Luz Visível e redes WBANs.

Referencias

- [1] D. A. Guimar, “Introdução às comunicações móveis”.
- [2] K. S. Kwak, S. Ullah, and N. Ullah, “An overview of IEEE 802.15.6 standard,” *2010 3rd Int. Symp. Appl. Sci. Biomed. Commun. Technol. ISABEL 2010*, no. December, 2010, doi: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.
- [3] L. P. D. C. ANTUNES, “Identificação de pessoas numa portaria virtual,” pp. 1–92, 2012.
- [4] K. Raghunandan, “Introduction to Wireless Communications and Networks,” 2022, [Online]. Available: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-92188-0>
- [5] “Paulo Alexandre Serra Coucello Da Fonseca Considerações Sobre Lans E Wlans : Uma Proposta Para Um Centro Cultural,” 2001.
- [6] D. J. Love, R. W. Heath, V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao, and M. Andrews, “An Overview of Limited Feedback in Wireless Communication Systems,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 26, no. 8, pp. 1341–1365, 2008, doi: 10.1109/JSAC.2008.081002.
- [7] C. M. Celulares, M. S. Alencar, L. F. T. G. Amaral, and T. F. S. Castro, “Interferência Epidêmica no Sistema de,” vol. 10, no. 1, pp. 38–43, 2021.
- [8] T. Aplicada, “Comunicações móveis e sem fios”.
- [9] L. S. Ferreira and L. M. Correia, “Evolução e desafios das redes de comunicações móveis,” 2018, [Online]. Available: <http://www.kriativ-tech.com><http://www.kriativ-tech.pt><http://orcid.org/0000-0002-0235-2531><http://orcid.org/0000-0002-7765-9896>
- [10] V. Ferreira *et al.*, “Redes Corporais Sem Fio e Suas Aplicações em Saúde,” *Jornadas Atualização em Informática 2018*, pp. 149–198, 2018, doi: 10.5753/sbc.2308.5.4.
- [11] H. Taleb, A. Nasser, G. Andrieux, N. Charara, and E. Motta Cruz, “Wireless technologies, medical applications and future challenges in WBAN: a survey,” *Wirel. Networks*, vol. 27, no. 8, pp. 5271–5295, 2021, doi: 10.1007/s11276-021-02780-2.
- [12] N. dos Santos, “Uma Plataforma de Larga Escala Utilizando a Tecnologia WBAN para a Monitoração de Pacientes,” *Fac. Campo Limpo Paul.*, pp. 1–135, 2015.
- [13] U. Federal, D. E. M. Gerais, E. D. E. Engenharia, and E. M. E. D. E. Estruturas, “Universidade federal de minas gerais escola de engenharia programa de pós-graduação em engenharia de estruturas,” 2011.
- [14] H. D. Susanti *et al.*, “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” *J. Keperawatan. Univ. Muhammadiyah Malang*, vol. 4, no. 1, pp. 724–732, 2017, [Online]. Available: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884->

z%Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%Ahttp://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article

- [15] M. A. Panhwar, S. Jatoui, K. Ali, and S. Saddar, "Wireless Body Area Networks : Architecture , Standards , Challenges , and Applications," vol. 19, no. 12, pp. 173–178, 2019.
- [16] RI No. 43 20Permenkes19, *No Title*, no. 2. 2019.
- [17] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, and A. Jamalipour, "Wireless body area networks: A survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1658–1686, 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.121313.00064.
- [18] M. P. Gomes, "Controle de Acesso ao Meio (MAC) Baseado em Polling Flexível e Ponderado para Rede Corporal de Sensores Sem Fio," *Fac. Campo Limpo Paul. Campo Limpo Paul.*, 2015.
- [19] B. Antonescu and S. Basagni, "Wireless body area networks: Challenges, trends and emerging technologies," *BODYNETS 2013 - 8th Int. Conf. Body Area Networks*, pp. 1–7, 2013, doi: 10.4108/icst.bodynets.2013.253722.
- [20] H. S. Savci, A. Sula, Z. Wang, N. S. Dogan, and E. Arvas, "MICS transceivers: Regulatory standards and applications," *Conf. Proc. - IEEE SOUTHEASTCON*, pp. 179–182, 2005, doi: 10.1109/secon.2005.1423241.
- [21] H. Rajagopalan and Y. Rahmat-Samii, "Wireless medical telemetry characterization for ingestible capsule antenna designs," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 1679–1682, 2012, doi: 10.1109/LAWP.2013.2238502.
- [22] T. H. Friend, S. J. Jennings, M. S. Copenhaver, and W. C. Levine, "Implementation of the Vocera Communication System in a Quaternary Perioperative Environment," *J. Med. Syst.*, vol. 41, no. 1, 2017, doi: 10.1007/s10916-016-0652-9.
- [23] P. Baronti, P. Pillai, V. W. C. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards," *Comput. Commun.*, vol. 30, no. 7, pp. 1655–1695, 2007, doi: 10.1016/j.comcom.2006.12.020.
- [24] D. De Guglielmo, S. Brienza, and G. Anastasi, "IEEE 802.15.4e: A survey," *Computer Communications*, vol. 88. Elsevier B.V., pp. 1–24, 2016. doi: 10.1016/j.comcom.2016.05.004.
- [25] D. Chen, M. Nixon, S. Han, A. K. Mok, and X. Zhu, "WirelessHART and IEEE 802.15.4e," *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 760–765, 2014, doi: 10.1109/ICIT.2014.6895027.
- [26] L. P. Sachs, "Performance evaluation.," *NLN Publ.*, vol. 20, no. 17–1807, pp. 61–64, 1980.
- [27] F. Chen, R. German, and F. Dressler, "Towards IEEE 802 . 15 . 4e : A Study of Performance Aspects," *IEEEExplore Digit. Libr.* , pp. 68–73, 2010, [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&number=5470605&url=http%3A%2F%2>

Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5470605

- [28] P. Ulisses and C. Cavalca, “Introdução,” 2015.
- [29] J. H. Kurunathan, “Study and overview on wban under ieee 802.15.6,” *U.Porto J. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–21, 2015, doi: 10.24840/2183-6493_001.001_0003.
- [30] V. Ferreira, “Qualidade de Serviço em Redes Corporais Sem Fio,” 2014.
- [31] S. Ullah, M. Mohaisen, and M. A. Alnuem, “and Security Specifications,” vol. 2013, 2013.
- [32] P. Convidado, “Uma visão geral do padrão IEEE 802.15.6,” vol. 6, pp. 2–7.
- [33] S. Ullah, M. M. Hassan, M. Shamim Hossain, and A. Alelaiwi, “Performance evaluation of rts/cts scheme in beacon-enabled ieee 802.15.6 mac protocol for wireless body area networks,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 8, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3390/s20082368.
- [34] P. Ieee, U. M. A. Abordagem, E. C. Santos, and P. R. Guardieiro, “Padrão ieee 802.16j: uma abordagem geral,” pp. 1–6.
- [35] S. Ullah, M. Mohaisen, and M. A. Alnuem, “A review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and security specifications,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/950704.
- [36] M. Salgueiro and E. Ey, “ZigBee uma abordagem prática,” p. 52, 2009, [Online]. Available: https://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf
- [37] J. A. Santos, “Sistema Domótico baseado em redes Zigbee,” 2009, [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59411/1/000136077.pdf>
- [38] C. M. Ramya, M. Shanmugaraj, and R. Prabakaran, “Study on ZigBee technology,” *ICECT 2011 - 2011 3rd Int. Conf. Electron. Comput. Technol.*, vol. 6, no. April, pp. 297–301, 2011, doi: 10.1109/ICECTECH.2011.5942102.
- [39] G. Acampora, D. J. Cook, P. Rashidi, and A. V Vasilakos, “A Survey on Ambient Intelligence in Health Care NIH Public Access,” *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng*, vol. 101, no. 12, pp. 2470–2494, 2013, doi: 10.1109/JPROC.2013.2262913.A.
- [40] M. W. Version and R. Date, “The Bluetooth ® Low Energy Primer Author,” no. May, pp. 1–80, 2022.
- [41] “No Title”, [Online]. Available: <https://embarcados.com.br/tecnologias-de-comunicacao-sem-fio/#RFID>
- [42] Nordic Semiconductor, “Introduction to Bluetooth Low Energy,” 2014-04-17, no. May, pp. 1–11, 2014, [Online]. Available: <https://webinars.nordicsemi.com/introduction-to-bluetooth-low-6%0Ahttps://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy>
- [43] Cypress, “PSoC ® Creator™ Component Datasheet □ Generic Attribute Profile (GATT) Features □ GATT Client and Server General Description SIG adopted Profiles and Services Comprehensive APIs,” pp. 408–943, 2015, [Online]. Available:

<http://www.cypress.com/file/220246/download>

- [44] “Bluetooth”, [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/>
- [45] P. Hoddie and L. Prader, “Bluetooth Low Energy (BLE),” *IoT Dev. ESP32 ESP8266 with JavaScript*, pp. 185–220, 2020, doi: 10.1007/978-1-4842-5070-9_4.
- [46] Aruba, “Aruba meridian,” 2019, [Online]. Available: <https://community.arubanetworks.com/technical-product-details/location-services/meridian-apps>
- [47] F. D. E. Dados and O. M. Editor, “MERIDIAN”.
- [48] Q. S. Guide, “Aruba Instant”.
- [49] L. Eduardo *et al.*, “Comunicação por Luz Visível: Conceitos, Aplicações e Desafios,” *Livro Minicursos SBRC*, no. March, pp. 247–296, 2017.
- [50] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, and O. Gnawali, “Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3204–3237, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2913348.
- [51] J. Pierre De Vries, L. Simić, A. Achtzehn, M. Petrova, and P. Mähönen, “The Wi-Fi ‘congestion crisis’: Regulatory criteria for assessing spectrum congestion claims,” *Telecomm. Policy*, vol. 38, no. 8–9, pp. 838–850, 2014, doi: 10.1016/j.telpol.2014.06.005.
- [52] M. Conceição, “Comunicação Por Luz Visível,” p. 57, 2015, [Online]. Available: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15149/1/2015_MairaLeiteConceicao.pdf
- [53] S. Schmid, G. Corbellini, S. Mangold, and T. R. Gross, “LED-to-LED Visible Light Communication networks,” *Proc. Int. Symp. Mob. Ad Hoc Netw. Comput.*, pp. 1–9, 2013, doi: 10.1145/2491288.2491293.
- [54] J. Classen, D. Steinmetzer, and M. Hollick, “Opportunities and pitfalls in securing visible light communication on the physical layer,” *Proc. Annu. Int. Conf. Mob. Comput. Networking, MOBICOM*, vol. 03-07-Octo, pp. 19–24, 2016, doi: 10.1145/2981548.2981551.
- [55] L. U. Khan, “Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges,” *Digit. Commun. Networks*, vol. 3, no. 2, pp. 78–88, 2017, doi: 10.1016/j.dcan.2016.07.004.
- [56] O. For and O. Under, “Dc-Infornative Modulation for Visible Light Communications Under Lighting Constraints,” *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 22, no. April, pp. 54–60, 2015.
- [57] S. Schmid, J. Ziegler, G. Corbellini, T. R. Gross, and S. Mangold, “Using consumer LED light bulbs for low-cost visible light communication systems,” *VLCS 2014 - Proc. 1st ACM MobiCom Work. Visible Light Commun. Syst.*, pp. 9–14, 2014, doi: 10.1145/2643164.2643170.
- [58] P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, “Visible Light Communication,

- Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2476474.
- [59] Q. Wang, D. Giustiniano, and D. Puccinelli, “OpenVLC,” pp. 15–20, 2014, doi: 10.1145/2643164.2643167.
- [60] S. Rajagopal, R. D. Roberts, and S. K. Lim, “IEEE 802.15.7 visible light communication: Modulation schemes and dimming support,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 72–82, 2012, doi: 10.1109/MCOM.2012.6163585.
- [61] K. Cui, G. Chen, Z. Xu, and R. D. Roberts, “Line-of-sight visible light communication system design and demonstration,” *2010 7th Int. Symp. Commun. Syst. Networks Digit. Signal Process. CSNDSP 2010*, pp. 621–625, 2010, doi: 10.1109/csndsp16145.2010.5580360.
- [62] S. S. Bawazir, P. C. Sofotasios, S. Muhaidat, Y. Al-Hammadi, and G. K. Karagiannidis, “Multiple Access for Visible Light Communications: Research Challenges and Future Trends,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26167–26174, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2832088.
- [63] Q. Wang and D. Giustiniano, “Communication networks of visible light emitting diodes with intra-Frame bidirectional transmission,” *Conex. 2014 - Proc. 2014 Conf. Emerg. Netw. Exp. Technol.*, pp. 21–27, 2014, doi: 10.1145/2674005.2675000.

