

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

Luís Miguel Figueiredo Duarte

Tecnologias WI-Fi de Nova Geração 802.11 AC Wave 2 e HaLow
Análise comparativa e potencial para ambientes IoT e dispositivos móveis

Tese de Mestrado

Sistemas e Tecnologias de Informação para as Organizações

Professor Rui Almeida



Fevereiro de 2020

RESUMO

Ao longo do tempo, o projeto de redes Wi-Fi tem evoluído consideravelmente. Inicialmente a preocupação era a cobertura de sinal, mas depressa passou para a melhoria dos equipamentos AP's e clientes e posteriormente pensou-se em satisfazer cada vez mais utilizadores. Hoje em dia, o paradigma é como tratar os novos tipos de clientes como sensores, automóveis, etc. bem como o Analytics, focando-se na contagem de pessoas, e tipos de informação consultada.

Segundo Andrew Raulstan [10]; os sistemas de rede sem fios foram projetados apenas tendo em vista uma cobertura total de sinal, mas com a constante evolução ao nível dos equipamentos que tem vindo a acontecer, temos também que contar com a densidade populacional de dispositivos que o *Access Point* (AP) terá de abranger, daí a densidade ser um problema que as redes Wi-Fi atuais IEEE 802.11n apresentam [10].

Com este estudo pretende-se comparar as várias normas *802.11x*, vulgo *Wi-Fi*, salientando os pontos fortes e fracos de cada uma, estando sempre mais focado na norma *802.11ac wave 2*. Inicialmente será feita uma contextualização da temática através de uma análise evolutiva das normas *802.11 a/ b/ g/ n/ ac e ax*.

Serão também abordados num capítulo, as diversas tecnologias que todas as normas acima referidas têm vindo a introduzir ao longo dos anos bem como uma breve explicação das mesmas, sempre com foco nas inovações introduzidas na norma *802.11ac* uma vez que essa tecnologia também terá destaque na presente dissertação através de outro capítulo. Esta análise reveste-se de particularidades com relevância científica uma vez a norma *802.11ac Wave2* é recente e, segundo Nolan Greene, a tecnologia *IEEE 802.11ac Wave2* já está a dominar o mercado e as redes Wi-Fi [10].

Ao longo do trabalho será feito um estudo das várias tecnologias bem como dos equipamentos que as utilizam. Para proceder à prova de conceito será simulado um cenário onde estão presentes interferências de barreiras estáticas, utilizando diversos equipamentos. Quanto aos equipamentos a utilizar na prova de conceito, para *routers*, é proposta a utilização de um router norma *802.11n*, um *router* norma *802.11ac* e um router norma *802.11ac Wave2*, da marca *Ubiquiti Unifi*. Como equipamentos de estação é proposto a utilização de um *Microsoft Surface*, e dois *Smartphones*. Quanto á prova de conceito, esta consiste em fazer um conjunto de testes de velocidade, análise de sinal Wi-Fi, cobertura de sinal, entre outros, e para isso iremos simular utilizando de forma individual e em simultâneo os diversos equipamentos. Para ser possível retirar conclusões serão utilizadas aplicações instaladas nos equipamentos de estação, mantendo sempre o foco na norma *802.11ac Wave2*. Um outro aspeto que é importante comprovar é o aumento de débito e da cobertura de sinal a nível de espaço que esta norma proporciona, bem como fazer uma análise comparativa a nível de custos dos vários equipamentos.

A título de conclusão, será importante refletir se os benefícios para os utilizadores residenciais e empresariais que a norma implementa relativamente a normas anteriores superam o valor dos custos associados dos equipamentos.

ABSTRACT

Over time, the design of Wi-Fi networks has evolved considerably. Initially the concern was signal coverage, but it quickly moved on to the improvement of AP's equipment and customers and later on it was thought to satisfy more and more users. Nowadays, the paradigm is how to treat new types of customers like sensors, automobiles, etc. as well as Analytics, focusing on counting people, and types of information consulted.

According to Andrew Raulstan [10]; wireless network systems were designed only with a view to total signal coverage, but with the constant evolution in terms of equipment that has been happening, we also have to rely on the population density of devices that the Access Point (AP) will have to cover, hence density is a problem that current IEEE 802.11n Wi-Fi networks present [10].

This study aims to compare the various 802.11x standards, commonly known as Wi-Fi, highlighting the strengths and weaknesses of each one, always focusing more on the 802.11ac wave 2 standard. Initially, the theme will be contextualized through an analysis evolutionary to 802.11 a / b / g / n / ac and ax.

In a chapter, the various technologies that all the standards referred to above have been introducing over the years, as well as a brief explanation of them, always focusing on the innovations introduced in the 802.11ac standard, as this technology will also be highlighted in present dissertation through another chapter. This analysis has particularities with scientific relevance since the 802.11ac Wave2 standard is recent and, according to Nolan Greene, IEEE 802.11ac Wave2 technology is already dominating the market and Wi-Fi networks [10].

Throughout the work, a study will be made of the various technologies as well as the equipment that uses them. To proceed with the proof of concept, a scenario will be simulated where interference from static barriers are present, using different equipment. As for the equipment to be used in the proof of concept, for routers, it is proposed to use an 802.11n standard router, an 802.11ac standard router and an 802.11ac Wave2 standard router, from the Ubiquiti Unifi brand. As station equipment it is proposed to use a Microsoft Surface, and two Smartphones. As for the proof of concept, it consists of making a set of speed tests, Wi-Fi signal analysis, signal coverage, among others, and for that we will simulate using the individual equipment simultaneously. To be able to draw conclusions, applications installed on the station equipment will be used, always keeping the focus on the 802.11ac Wave2 standard. Another aspect that is important to prove is the increase in speed and signal coverage at the level of space that this standard provides, as well as making a comparative analysis at the level of costs of the various equipment.

In conclusion, it will be important to reflect on whether the benefits for residential and business users that the standard implements over previous standards outweigh the associated costs of equipment.

PALAVRAS CHAVE

802.11ac
802.11ac Wave2
IoT
MIMO
HaLaw
Wi-Fi
WLAN

KEY WORDS

802.11ac

IoT

MIMO

HaLow

Wi-Fi

WLAN

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração da presente dissertação de mestrado contem com o contributo e apoio de diversas pessoas que sem os quais não teria sido possível a elaboração da mesma.

Devido a isso, gostaria em primeiro lugar de deixar o meu especial agradecimento á minha família e a minha mulher pelo apoio e ajuda prestada em todos o meu percurso académico, no mestrado e também na execução da presente dissertação.

Queria também agradecer a todos os meus professores na licenciatura de Engenharia Informática e Telecomunicações e do presente mestrado.

Por último, mas com uma enorme importância, um agradecimento especial ao meu orientador Rui Almeida, que sempre demonstrou um apoio e empenho incondicional, e que sempre participou no desenvolvimento desta dissertação.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
ABREVIATURAS E SIGLAS	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Metodologias de investigação.....	2
1.3 Momento atual das redes Wi-Fi.....	3
1.4 Organização do documento.....	4
2. Tecnologias.....	6
2.1 WEP.....	6
2.2 WPA.....	6
2.3 WPA – 2.....	7
2.4 SU - MIMO.....	7
2.5 MU - MIMO	8
2.6 Beamforming	9
2.7 Spatial Streams.....	10
2.8 Agregação de Canais.....	10
2.9 Wi-Fi Backscatter	10
2.10 OFDMA	11
2.11 QAM.....	11
2.12 RSSI	11
2.13 TWT	11
3. Normas 802.11 (Wi-Fi)	12
3.1 Evolução da tecnologia IEEE 802.11	12
3.1.1 IEEE 802.11 - 1997	13
3.1.2 IEEE 802.11b.....	13

3.1.3	IEEE 802.11a	14
3.1.4	IEEE 802.11g	14
3.1.5	IEEE 802.11n	14
3.1.6	IEEE 802.11ah	15
3.2	Norma 802.11ac	16
3.2.1	802.11ac Wave 1	16
3.2.2	802.11ac Wave2	17
4.	Evolução	19
4.1	IEEE 802.11ax	19
4.2	Principais diferenças entre 802.11ac e 802.11ax	20
4.3	WPA3	21
5.	Trabalho desenvolvido	22
5.1	Equipamentos	23
5.1.1	Ubiquiti UniFi AC HD	23
5.1.2	Microsoft Surface Pro4	23
5.1.3	Asus Zenfone2	24
5.1.4	Samsung Galaxy S7	24
5.2	Software utilizado	24
5.2.1	Acrylic Wi-fi Home	24
5.2.2	Homedale	25
5.2.3	Ekahau HeatMapper	25
5.2.4	Wi-Fi Estado	26
5.2.5	Android WiFi Heatmap	27
5.3	Testes	27
5.4	Teste A	28
5.4.1	Teste A 1	28
5.5	Teste B	31
5.5.1	Teste B1	32
5.5.2	Teste B 2	34
5.5.3	Teste B 3	36
6.	Conclusões	39
	Referências	41

Anexo 1 - 802.11n	44
Anexo 2 - 802.11ac 40 MHz	46
Anexo 3 - 802.11ac 80 MHz	48
Anexo 4 - 802.11ac 160 MHz	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - SU-MIMO.....	8
Figura 2 - MU-MIMO	9
Figura 3 - Simbologia Wi-Fi 6	20
Figura 4 - Acrylic Wi-Fi Home	25
Figura 5 - Software Homedale	25
Figura 6 - Software Ekahau.....	26
Figura 7 - Wi-Fi Estado.....	27
Figura 8 - Android Wi-Fi HEATMAP	27
Figura 9 - Heatmap 802.11n.....	29
Figura 10 - Heatmap 802.11ac 40 MHz	32
Figura 11 - Heatmap 802.11ac 80 MHz	34
Figura 12 - Rota 802.11ac 160 MHz.....	36
Figura 13 - Anexo 1 802.11n Heatmap	44
Figura 14 - Anexo 1 802.11n distância	44
Figura 15 - Anexo 1 802.11n Intensidade de sinal.....	45
Figura 16 - Anexo 1 - 802.11n velocidade	45
Figura 17 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz heatmap	46
Figura 18 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz distância.....	46
Figura 19 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz intensidade de sinal	47
Figura 20 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz velocidade.....	47
Figura 21 - Anexo 2 802.11ac 80 MHz heatmap	48
Figura 22 - Anexo 3 802.11ac 80 MHz distância.....	48
Figura 23 - Anexo 3 802.11ac 40 MHz intensidade de sinal	49
Figura 24 - Anexo 3 802.11ac 40 MHz velocidade.....	49
Figura 25 - Anexo 3 802.11ac 160 MHz heatmap	50
Figura 26 - Anexo 4 802.11ac 160 MHz distância.....	50
Figura 27 - Anexo 4 802.11ac 160 MHz intensidade de sinal	51
Figura 28 - Anexo 4 802.11ac 160 MHz velocidade.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução 802.11	18
Tabela 2 - Esquema de cores HearMapper	26
Tabela 3 - Testes realizados.....	28
Tabela 4 - 802.11n 20 MHz.....	30
Tabela 5 - 802.11ac 40 MHz	32
Tabela 6 - 802.11ac 80 MHz	34
Tabela 7 - 802.11ac 160 MHz	37

ABREVIATURAS E SIGLAS

AES	Advanced Encryption System
AP	Access Point
dB	Decibel
dBm	Unidade de medida de potência
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FHSS	Frequency-hopping spread spectrum
Gbps	Gigabit per second
GHz	Gigahertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of things
Km	Quilómetro
LTE	Long Term Evolution
MHz	Mega-Hertz
MIMO	Multiple Input, Multiple Output
MU-MIMO	Multiuser, Multiple Input, Multiple Output
Mbps	Megabit per second
mt	Metros
ns	Nanossegundo
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Fivision Multiple Access
PP	Ponto a Ponto
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RFID	Radio Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength Indicato
SSID	Service Set Identifier
SU-MIMO	Single-user Multiple Input, Multiple Output
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TWT	Target Wake Time
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access

1. Introdução

Desde sempre as pessoas sentiram necessidade de comunicar. Nos dias de hoje é reconhecido mundialmente a importância das redes Wi-Fi para os utilizadores e também para os dispositivos eletrónicos IoT. Daí, a performance destas redes no que diz respeito à velocidade de transmissão de dados e ao alcance atingido ser a questão fundamental, dando origem a ligações de dados mais fiáveis [41].

Nos dias de hoje, ao surgirem cada vez mais redes Wi-Fi abertas sendo muitas delas incentivadas pela União Europeia através do seu financiamento no âmbito do turismo e desenvolvimento regional o paradigma das redes Wi-Fi está a alterar-se. Surgiu assim a necessidade dos AP's suportarem grandes quantidades de utilizadores, e dispositivos eletrónicos.

A norma IEEE 802.11ac vem solucionar este problema, através da tecnologia MU-MIMO ao permitir que um AP transmita para múltiplos recetores simultaneamente, tornando-se incrivelmente útil para comunicações em tempo real [11].

Devido a isso, a tecnologia IEEE 802.11ac Wave2 poderá apresentar vantagens para os dispositivos *Internet of Things* (IoT) em relação às redes Wi-Fi existentes, pois esta tecnologia permite que o AP comunique com vários dispositivos simultaneamente devido à tecnologia MU-MIMO gerindo os sensores e processando a comunicação em simultâneo. No entanto, a Wi-Fi Alliance desenvolveu uma nova norma denominada de Wi-Fi HaLow que não teve grande aceitação por parte dos fabricantes de equipamentos e já caiu em desuso. Esta norma previa a utilização de frequências abaixo de 1GHz. Com a utilização de frequências abaixo de 1 GHz, fornecerá aos dispositivos IoT um maior alcance reduzindo também o consumo de energia [11].

Um outro aspeto relevante para estas redes é a segurança. Uma vez que não existe um elemento físico a interligar os dispositivos, apresenta mais fragilidades e está mais exposta a potenciais intrusos. Devido a isso, esta é também uma temática com elevada relevância para a IEEE, daí,

existir também uma evolução muito grande e muito rápida nas tecnologias de segurança de redes Wi-Fi para fornecer aos utilizadores a segurança e integridade dos dados transmitidos. [41].

1.1 Objetivos

Com a elaboração desta dissertação pretende-se elucidar os leitores para os benefícios da utilização de equipamentos de norma 802.11ac Wave2, bem como frisar todos os desenvolvimentos e evoluções desta norma relativamente as suas antecessoras. Relativamente à tecnologia Wi-Fi HaLow que surgiu no seio dos dispositivos IoT, pretende-se expor as capacidade e limitações, procurando sempre fazer uma análise crítica relativamente a estas tecnologias contestando factos e confirmando débitos e as novas tecnologias que estas duas novas normas apresentam.

A presente dissertação de mestrado tem também como objetivos comparar as várias normas 802.11x, vulgo Wi-Fi, salientando os pontos fortes e fracos de cada uma, estando sempre mais focado na norma 802.ac wave2.

É pretendida também uma abordagem à tecnologia MU-MIMO, uma vez que esta tecnologia surgiu com a norma 802.11ac Wave2.

Pretendo também comprovar é o aumento de débito e da cobertura de sinal a nível de espaço que esta nora norma 802.11ac Wave2 proporciona, comparando com as tecnologias legadas.

Será também feita uma abordagem ao conceito IoT (Internet of things), e à nova tecnologia que está a ser desenvolvida, o Wi-Fi HaLow.

É pretendido também fazer uma abordagem à nova norma 802.11ax ou Wi-Fi 6 e à tecnologia Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) que esta norma apresenta como novidade.

1.2 Metodologias de investigação

Como acima referido, a presente dissertação, tem como principal objetivo aprofundar os conhecimentos acerca das temáticas abordadas, nomeadamente o estudo da norma 802.11ac Wave2 e Wi-Fi HaLow.

Ao longo desta investigação foram utilizados diversos processos adequados ao tema que permitiram clarificar, consolidar e criar novos conhecimentos de uma forma clara e sustentada. Para isso, foi utilizada a metodologia investigação tendo sempre em conta os 6 pontos fulcrais sendo eles:

Propósito: esta dissertação tem como propósito clarificar, explicar e experimentar as normas *Wi-Fi 802 11ac Wave2* e *Wi-Fi HaLow*, através de diversos testes expondo as suas limitações, as suas mais-valias e a importância destas tecnologias introduzidas por estas quer no presente como no futuro bem como a necessidade de evolução para as mesmas.

Produtos: com a elaboração desta dissertação espera-se fornecer informação detalhada acerca das tecnologias Wi-Fi, focando-se na versão 802.11ac nomeadamente o seu propósito, que alterações as redes Wi-Fi esta norma poderá provocar no futuro. Pretende-se também uma abordagem à tecnologia Wi-Fi HaLow explorando os seus pontos fortes e fracos, bem como as alterações que poderá provocar nas redes *Wi-Fi* existentes e a potencialidade desta tecnologia.

Processo: a investigação associada a esta dissertação baseou-se no estudo aprofundado de documentação oficial, especificações técnicas dos fabricantes dos equipamentos, bem como artigos científicos já existentes sobre as tecnologias em questão e subjacente a elas. Inicialmente foi feito um exaustivo levantamento documental a fim de permitir investigar as tecnologias a fim de permitir realizar a prova de conceito e retirar as devidas conclusões da mesma.

Participantes: participam no processo de investigação diversas pessoas, tais como, professores, orientadores da instituição, colegas na realização dos testes, etc.

Paradigma: para a investigação associada a esta dissertação seguiu-se o paradigma de investigação experimental e objetivista, justificada pela natureza do problema apresentado.

Apresentação: os resultados obtidos durante toda a investigação estão expostos nesta dissertação através de textos, tabelas e ilustrações. Estão também expostos os resultados obtidos através dos testes feitos com diversos equipamentos que suportam as normas e tecnologias expostas nesta dissertação.

Para a realização dos testes, procurou-se utilizar o maior número possível de equipamentos de marcas distintas e características diferentes. Após um estudo e análise cuidada a vários dispositivos optou-se pela utilização de dois tipos de dispositivos distintos sendo eles, de estação como *Computadores, Tablets e Smartphones*. Quanto aos dispositivos de emissão ou *router* vai ser utilizado o AP UBIQUITI UniFi AC HD que é um dispositivo que suporta a norma 802.11ac Wave2. No que diz respeito a equipamentos de estação serão utilizados o Microsoft Surface 4 Pro e o smartphone Asus zenfone2 e o Samsung Galaxy S7 uma vez que possuem placas Wi-Fi que suportam também a norma 802.11ac.

Para a elaboração da prova de conceito, optou-se por colocar o equipamento de emissão num local fixo, no interior do edifício, e fez-se deslocar os equipamentos de estação até ao ponto que estes consigam identificar a rede, mas não se consigam ligar à mesma. Depois disso, pretende-se contrapor os resultados obtidos com os valores teóricos dos equipamentos bem como efetuar uma análise ao sinal e a velocidade obtido em cada estação de testes.

Assim, o objetivo final é constatar factos e confirmar o existente teórico.

1.3 Momento atual das redes Wi-Fi

Antes da realização de um estudo aprofundado à norma 802.11ac bem como as tecnologias que a suportam é necessário proceder a uma análise na perspetiva de evolução das normas antecessoras 802.11. Devido à relevância dessa análise para a presente dissertação será exposto o resultado em seguida em capítulo próprio.

Nos dias de Hoje, as normas Wi-Fi mais utilizadas são a 802.11n e a 802.11ac Wave1.

Apesar da norma 802.11ac ter chegado para ficar, a transição está já a ser demasiado rápida. Ainda existe muito legado relativamente à norma 802.11n, pois, muitos utilizadores e dispositivos ainda utilizam esta norma. A norma 802.11ac chegou ao mercado há relativamente pouco tempo, tendo sido lançada de forma faseada a fim de rentabilizar equipamentos e diminuir custos para as empresas e utilizadores em geral. De momento encontramos-nos na transição da 802.11ac Wave1 Para a 802.11ac Wave2 no que diz respeito a equipamentos de estação, e, no entanto a evolução é tão rápida que já estamos novamente a entrar na fase de transição para a norma 802.11ax o que demonstra a contante evolução das normas Wi-Fi 802.11 pois ainda não está totalmente consolidada no mercado a norma 802.11ac e já foi apresentada a sua sucessora.

Relativamente à taxa de transmissão de dados, temos vindo também a observar uma grande evolução, tendo passando de 600 Mbps que a norma 802.11n disponibilizava para 1,3 Gbps na norma 802.11ac Wave1 e 6,93 Gbps na norma 802.11ac Wave2. Por último, mas também com uma grande relevância surge já a norma 802.11ax que teoricamente apresenta uma taxa de débito de dados de 10 Gbps. Estas velocidades de débito agora alcançadas são uma grande evolução às normas Wi-Fi 802.11 anteriores.

Relativamente às tecnologias utilizadas pelas redes Wi-Fi, estamos perante a transição para a tecnologia MU-MIMO que aliada à agregação de canais, Beamforming, entre outras introduzidas pela norma 802.11ac tornam possível alcançar os débitos acima apresentados.

Um outro aspeto também relevante é a segurança, e tendo em conta que de momento já existe um estudo que detetou uma falha ao protocolo WPA2, a IEEE já apresentou a tecnologia WPA3 que já se encontra normalizada e pronta a entrar no mercado

1.4 Organização do documento

A presente dissertação está dividida em seis principais capítulos.

O capítulo 1, é a Introdução e traduz-se numa apresentação à dissertação, onde é explicado como surgiu a temática, como será realizado o estudo e quais os resultados que se pretende alcançar com a realização desta dissertação.

Seguidamente, no segundo capítulo são expostas as diversas tecnologias estudadas. Este estudo é importante pois permite-nos perceber como a norma 802.11 foi evoluindo ao longo dos tempos, e ajuda a perceber as razões de se ter conseguido atingir as distâncias e velocidades de débito que temos nos dias de hoje.

No terceiro capítulo, começa-se por fazer uma abordagem na perspetiva de evolução à norma 802.11, expondo as suas características, evolução e limitações de cada uma das normas, mantendo sempre o foco na norma 802.11ac.

Posteriormente no capítulo quatro, denominado de Evolução, é exposta a norma 802.11ax, que já é a evolução a norma 802.11ac, identificando os seus pontos fortes e fracos comparativamente à norma 802.11ac.

Capítulo 1 - Introdução

No capítulo cinco, são expostos todos os equipamentos e *software* utilizados na prova de conceito. São também apresentados e explicados todos os testes desenvolvidos como prova de conceito.

Por fim no capítulo 6, fecha-se a dissertação com a conclusão onde é feita uma análise ao trabalho desenvolvido.

2. Tecnologias

Neste capítulo pretende-se explicar as tecnologias mais relevantes que foram surgindo com o desenvolvimento da norma 802.11. Contudo, será dado mais destaque às tecnologias introduzidas com a norma 802.11ac uma vez que é a norma aprofundada na presente dissertação.

2.1 WEP

O WEP (*Wired Equivalent Privacy*) foi a primeira tecnologia de segurança introduzido nas normas 802.11. Como qualquer outro mecanismo de segurança, procura garantir a confiabilidade, a integridade e a autenticidade das mensagens transmitidas baseado em mecanismos de encriptação. A integridade é assegurada através de um mecanismo de verificação de sequência e a autenticação é feita através da partilha de chaves. Utiliza uma chave de 40 bits combinada com 24 bits adicionais formando uma chave de 64 bits. A segurança foi quebrada em 2001 tornando-se muito pouco segura a partir dessa data forçando assim os utilizadores a utilizarem outras tecnologias, e devido a isso, a Microsoft irá deixar de suportar muito em breve.

2.2 WPA

A tecnologia WPA (*Wi-Fi Protected Access*) surge devido à demora do IEEE em apresentar uma norma de segurança que solucionasse o problema do WEP. A autenticação é feita utilizando um servidor RADIUS (*Remote Authentication Dial In User Service*) ou autenticação

de chave partilhada, as chaves são geradas através de um mecanismo que gera chaves novas para cada pacote enviado. A integridade dos dados é assegurada através de um mecanismo que gera um código para cada pacote, e caso o mesmo código não corresponder no recetor significa que o pacote foi alterado.

2.3 WPA – 2

A tecnologia WPA2 ou também conhecida como IEEE802.11i foi apresentada pela Wi-Fi Alliance e fecha o processo de criação de normas baseada no WPA. Este mecanismo utiliza chaves maiores trocadas de forma dinâmica, encriptação de dados e autenticação de utilizadores. Utiliza o método de encriptação Advanced Encryption Standard (AES) e a norma Robust Security Network Association (RSNA) no processo dinâmico de autenticação. No entanto esta norma não é compatível com os mecanismos de segurança anteriormente enunciados.

Existe duas versões deste protocolo, o WPA2 Pessoal e o WPA2 Empresarial. A principal diferença entre estes dois modelos de segurança está na autenticação. O WPA2 Pessoal utiliza chaves partilhadas (PSK) enquanto que o WPA2 empresarial utiliza autenticação a nível corporativo.

Em outubro de 2017 foi divulgado um estudo que expôs uma falha ao protocolo deixando assim milhões de dispositivos vulneráveis. [36].

2.4 SU - MIMO

Esta tecnologia permite que as comunicações sejam mantidas apenas com um dispositivo de cada vez num determinado período de tempo, portanto, quanto maior for o número de equipamentos que se encontrarem conectados ao Access Point mais lenta fica a ligação de dados.

Esta tecnologia encontra-se na maioria dos *routers* existentes no mercado incluindo a norma 802.11n.



Figura 1 - SU-MIMO

2.5 MU - MIMO

Esta tecnologia permite que os AP possam comunicar com qualquer número de antenas e fluxos espaciais, mas cada cliente poderá não receber mais do que quatro fluxos espaciais em uma transmissão multiutilizador.

O potencial de transferência de dados entre o AP e uma estação dependem de vários fatores, incluindo a distância e potencias fontes de interferência.

Esta tecnologia foi adotada pela norma 802.11ac Wave2 e permite-nos comunicar com 4 clientes simultaneamente, utilizando até 8 fluxos espaciais (para todos os clientes) e até 4 fluxos espaciais (por cliente).

Os equipamentos, quer *routers* quer de estação, com tecnologia 802.11ac Wave2, são totalmente compatíveis com normas de versões anteriores, mas, para retirarmos todo o proveito desta nova tecnologia, é necessário que ambos os equipamentos (AP e de estação) implementem a norma 802.11ac Wave2 e a tecnologia MU-MIMO.

O padrão IEEE 802.11ac define somente o downlink MU-MIMO, isto é, o ponto de acesso (AP) pode enviar para vários equipamentos de estação simultaneamente.

A versão de uplink foi também considerada, mas, como seria muito difícil de abordar em tempo razoavelmente útil e como a maior parte do tráfego é gerado no sentido descendente, o DL-MU-MIMO (Downlink multi-user MIMO) ajuda já a resolver este problema.

Esta tecnóloga foi planeada pelo grupo de trabalho 892.11ax High Efficiency WLAN no IEEE que definiram como data para finalizar a norma entre meados de 2019 / 2020 [5, 10].

Assim, esta tecnologia com as melhorias que implementa permite um crescimento para o futuro, focado também para o IoT, para zonas de elevada saturação de clientes [5, 10].

A Figura 2 ilustra a e a tecnologia MU-MIMO.



Figura 2 - MU-MIMO

2.6 Beamforming

Tradicionalmente as antenas omnidirecionais radio dos *routers* emitem sinal de forma igual para todas as direções.

Os equipamentos que suportam a tecnologia beamforming detetam a localização dos equipamentos de estação e intensificam a emissão de sinal nessa direção [25]. Analisando o feedback emitido pelos equipamentos de estação, determina o melhor caminho e ajusta o feixe de sinal RF emitido pelo AP [26].

A tecnologia 802.11ac Wave2 opera na frequência de 5GHz, mas quanto maior for a frequência utilizada menor é o raio de cobertura do AP, tendo também um nível de penetração inferior em objetos e superfícies sólidas.

Assim, uma rede que opere na frequência de 2.4 GHz tem uma melhor cobertura, mas uma rede que opere na frequência de 5 GHz oferece uma maior largura de banda.

Para contornar a desvantagem relativamente à cobertura de rede na frequência dos 5 GHz a norma IEEE 802.11ac utiliza a tecnologia beamforming e outras para possibilitar uma maior penetração de sinal.

A tecnologia beamforming foi já pensada e fazia parte das especificações da norma 802.11n exigindo que ambos os dispositivos suportassem essa tecnologia.

Mas, como não existia nenhuma uniformização ao nível dos fabricantes de equipamentos não garantia assim que os equipamentos fossem compatíveis entre si. Além disso, requerer que os AP possuam antenas múltiplas e tornou-se muito difícil a sua implementação na tecnologia 802.11n.

Este aspeto foi corrigido apenas na norma 802.11ac, e devido a isso esta tecnologia é apenas visível em dispositivos que suportem a norma 802.11ac.

Para que o beamforming funcione e necessário que os *routers* suportem no mínimo a tecnologia MIMO.

2.7 Spatial Streams

As redes Wi-Fi, para comunicarem com os dispositivos, utilizam sinais rádio com frequências de 2.4 e 5 GHz. Estas frequências dividem-se em canais que na frequência de 2.4 GHz variam de 1 até 13 e na frequência dos 5GHz variam entre os canais 36 e 160.

Quando possuímos equipamentos que suportem a tecnologia MIMO, os sinais são transmitidos por várias antenas e são multiplexados usando diferentes espaços dentro do mesmo canal. Esses espaços nos canais são conhecidos por spatial streams (fluxos espaciais).

Como em ambientes MIMO são usadas várias antenas tanto nos equipamentos de receção, como nos de transmissão e para que seja possível transmitir e receber vários sinais simultaneamente os equipamentos utilizam a tecnologia denominada de multiplexagem espacial.

Esta tecnologia evita que existam colisões de pacotes pois quando os sinais são transmitidos simultaneamente a partir de antenas diferentes cada sinal é transmitido através de transmissão espacial dentro de cada canal espacial.

Com a norma 802.11ac passamos de quatro “spatial streams” do padrão n para até oito. Assim, os equipamentos quanto mais “spatial streams” utilizam maior será a velocidade de transmissão.

2.8 Agregação de Canais

Dentro da gama de frequências dos 5 GHz os canais podem ser agrupados para disponibilizar maiores taxas de transferência de dados.

A norma IEEE 802.11ac tem capacidade para agrupar os canais de 80 e 160 MHz, enquanto a sua antecessora IEEE 802.11n tem capacidade para agrupar canais de 40 MHz. [9]

2.9 Wi-Fi Backscatter

Desenvolvido na Universidade de Washington em 2014, poderá vir a revolucionar a evolução da internet das coisas (IoT), permitindo que os equipamentos não sejam alimentados via bateria passando a ser por ondas rádio presentes na atmosfera, de acordo com os investigadores da universidade de Washington.

Este novo sistema de comunicação que utiliza sinais radio como fonte de energia, torna-se capaz de utilizar sinais emitidos por televisões, telemóveis, e transmissores Wi-Fi, como fonte de energia. Através desta tecnologia o Router Wi-Fi pode fornecer energia sem comprometer o desempenho da rede.

Para isto ser possível, os equipamentos de estação utilizam antenas para captar os sinais presentes no meio para posteriormente serem convertidos em eletricidade. Já existem protótipos desenvolvidos que comunicam com portáteis habilitados, Smartphones por Wi-Fi [29].

2.10 OFDMA

OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access) é uma extensão da anterior arquitetura OFDM. Esta tecnologia divide os canais em segmentos menores permitindo que vários dispositivos comuniquem simultaneamente no seu próprio canal. Embora não interfira diretamente com a taxa de envio e recepção de dados permite que os dispositivos coordenem mais rapidamente o envio e recepção de pacotes permitindo um uso mais eficiente dos canais.

Tal como a tecnologia MU-MIMO permite a transmissão simultânea de dados entre vários dispositivos, mas enquanto que a tecnologia MU-MIMO pode ajudar em ambientes de alta taxa de transferência de dados, esta tecnologia pode ajudar em ambientes de alta densidade de equipamentos de baixa taxa de transferência de dados como os sensores IoT.

Esta tecnologia é também utilizada nas redes LTE [37].

2.11 QAM

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) é um esquema de modulação altamente desenvolvido e utilizado nas comunicações de dados sem fios. É um sinal no qual duas portadoras são moduladas e combinadas desfasadas 90° resultando o sinal de saída numa variação de amplitude e fase.

Através das variações de fase e amplitude é possível construir sinais que transportem um número cada vez maior de bits por MHz e, devido a isso esta técnica está em constante aperfeiçoamento para aumentar a taxa de dados [38].

2.12 RSSI

As medições RSSI (received signal strength indicator) representam a quantidade de sinal recebido num determinado dispositivo, indicando o nível de potência recebido após qualquer perda de sinal e quanto maior for o valor de RSSI maior é a intensidade de sinal. É representado em números negativos sendo quanto maior perto se encontrar do zero maior é a intensidade de sinal [40].

2.13 TWT

Esta é uma tecnologia para a IoT, permitindo que os equipamentos desliguem as placas radio quando não estão a trocar dados reduzindo assim de forma significativa o consumo de bateria [39].

3. Normas 802.11 (Wi-Fi)

3.1 Evolução da tecnologia IEEE 802.11

Desde sempre as empresas de telecomunicações e os utilizadores em geral se preocuparam com a necessidade da existência de redes que dispensassem a utilização de cabo. Redes que se propagassem através do ar e percorressem distâncias na ordem das centenas de metros. Esta necessidade levou à difusão e aceitação das redes Wi-Fi tornando-se assim a tecnologia de comunicação de dados mais utilizada em todo ao mundo, operando em conformidade com as exigências estabelecidas pelo governo de cada país.

Com a necessidade de responder a uma questão global, na qual se pretendia estabelecer comunicação com todos os dispositivos independentemente do fabricante, surgiu a necessidade de se estabelecerem normas de comunicação de redes sem fios, daí o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), apresenta um protocolo que estabelece normas para a criação e uso de redes sem fios implementando uma série de definições para o Controlo de Acesso ao Meio, o MAC bem como a Camada Física. O IEEE é uma associação dedicada ao avanço tecnológico proporcionando a toda a comunidade científica estar em contacto com a tecnologia mais recente.

Para que os equipamentos possam comunicar entre eles, a comunicação é feita através de sinais rádio RF, propagados através do ar, podendo atingir distâncias na ordem das centenas de metros. Esta tecnologia tem vindo a evoluir ao longo dos tempos, adicionando uma série de melhorias aos equipamentos no que diz respeito à velocidade e às frequências que utiliza, tornando-os cada vez mais eficientes e rentáveis [2].

3.1.1 IEEE 802.11 - 1997

A norma IEEE 802.11, também conhecida por redes sem fio Wi-Fi, ou Wireless, pode dizer-se que foi uma das melhores ou mesmo a melhor invenção tecnológica do final do século XX, estabelecendo normas para a criação e uso de redes sem fios.

Devido à sua rápida proliferação, foi necessário tomar medidas que permitissem uniformizar as normas que os equipamentos suportariam, surgindo assim em 1999 a Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) que a partir de 2003 até à atualidade se denomina Wi-Fi Alliance. [3]

A primeira norma 802.11 foi lançada em 1997, no entanto com o aparecimento de novas versões, a versão original ficou conhecida como 802.11-1997 ou ainda 802.11 legacy.

Como se trata de uma tecnologia que transmite os seus sinais através de radiofrequência, o IEEE determinou que esta operasse no intervalo de frequências entre 2,4 GHz e 2,4835 GHz com uma taxa de transmissão de dados na ordem de 1 MB/s ou 2 Mb/s (megabits por segundo). Existe também a possibilidade de utilizar as técnicas de transmissão Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) e Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Estas técnicas possibilitam a utilização de vários canais dentro de uma banda de frequência. A técnica DSSS cria vários segmentos da informação transmitida e envia-a simultaneamente aos canais. Por sua vez a técnica FHSS, utiliza um esquema de “salto de frequência”, em que, a informação transmitida utilize uma frequência em certo período de tempo, possibilitando assim que se obtenha uma velocidade de transmissão de dados um pouco maior [2].

3.1.2 IEEE 802.11b

Em 1999, foi feita uma atualização à norma original, surgindo assim a 802.11b, que apresenta como principal vantagem a possibilidade de estabelecer ligações com velocidades da ordem dos 11 Mb/s. Quanto à frequência que utiliza, não sofreu quaisquer alterações relativamente à norma original, a 802.11, utilizando assim a frequência dos 2,4 GHz. Esta banda de frequência não implica um grande aumento de custos pois era bastante comercializada na altura do seu lançamento [3].

Alcança distâncias até 400 m em espaço aberto e 50 m em locais fechados, teoricamente, uma vez que a transmissão pode ser influenciada por fatores extrínsecos como interferências eletromagnéticas. Foi a primeira a ser utilizada em larga escala, com suporte para 23 utilizadores por AP tendo surgido nesta norma a tecnologia de encriptação Wired Equivalent Privacy (WEP) sendo uma das maiores impulsionadoras da popularidade das redes Wi-Fi. [3,2] Utilizando a tecnologia DSSS para a modulação de sinal permitindo uma velocidade até 11 Mbps em distâncias até 50m. Embora tenha sido concebida como uma tecnologia rede local wireless (WLAN) em ambientes fechados com restrições quanto à potência de saída, esta tecnologia é também utilizada em ligações ponto a ponto (PP) e em ligações ponto multiponto (PMP).

3.1.3 IEEE 802.11a

A norma 802.11a foi lançada em 1999 depois da norma 802.11b, [20] permitindo velocidades até 54 Mbps, mas a grande inovação em relação a sua antecessora é o método de transmissão de informação Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), que efetua a modulação digital de um sinal sendo dividido em vários canais de diferentes frequências, isolando assim algumas interferências.

Uma vez que a frequência de 2.4 GHz é muito utilizada, e estava em risco de se vir a atingir a lotação da mesma, esta norma apresenta vantagens em relação a outras normas pois utiliza de frequências na zona dos 5 GHz. Uma outra vantagem desta norma é que permite 8 canais simultâneos contrapondo com apenas 3 canais na norma 802.11b, permitindo assim uma utilização dos AP's sem que haja perda de desempenho da rede [20].

Funciona bem em locais onde não exista interferências de outros dispositivos como telefones e micro-ondas.

Mas devido a gama de frequências que utiliza, apresenta desvantagens como o alcance, que é consideravelmente menor e apresenta também uma menor capacidade de atravessar obstáculos e absorção das ondas eletromagnéticas por parte das paredes sendo necessário utilizar mais AP's para cobrir uma determinada área, levando a um considerável aumento de custos [2, 19]. As placas de norma 802.11a são compatíveis com a norma antecessora a 802.11b [19].

3.1.4 IEEE 802.11g

Em 2003 surgiu a 802.11g, que se apresentou desde logo com equipamentos mais caros que a sua antecessora, mas introduziu uma velocidade de transmissão de dados de 54 Mb/s suportando também vários utilizadores.

Operando na banda de frequências de 2,4 GHz proporcionou um aumento de transmissão de dados e também um aumento do alcance pois o sinal não é tão facilmente obstruído.

Esta norma utiliza a tecnologia de OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) para a transmissão de dados, mas, quando a transmissão é feita para um equipamento de norma 802.11 b utiliza a tecnologia de modulação em DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

Contudo, não evitou interferências provocadas por aparelhos como telemóveis e micro-ondas pois operam perto da banda de frequência dos 2.4 [3].

Utiliza autenticação WEP estática e já aceita também outros tipos de autenticação como WPA, WPA-2, TKIP e AES, tornando-se difícil de configurar como home gateway devido a sua frequência de rádio e outros sinais que podem interferir na transmissão de rede sem fios [3,4,5]. Apresenta como desvantagem a incompatibilidade com placas de norma 802.11a.

Esta norma teve uma grande aceitação e êxito no seio dos utilizadores de redes sem fios.

3.1.5 IEEE 802.11n

A norma 802.11n surgiu em 2009 e pertence à quarta geração de normais, iniciada em 2002 e desenvolvida durante 7 anos, acrescentou aspetos inovadores as redes wireless sendo ela que

despontou uma crescente utilização da tecnologia Wi-Fi, levando-a a todos os dispositivos, e passando a ser utilizada por Milhões de pessoas em todo o mundo.

Com um alcance de 70 metros indoor e 250 metros outdoor, apresenta uma velocidade de transferências de dados sem fios até 600 Mbps, 11 vezes superior à norma anterior 802.11g.

Para ser possível atingir esta taxa de transmissão de dados foram introduzidas uma série de melhorias, sendo elas a diminuição do intervalo entre as transmissões, passando de 800 ns para 400 ns aliado ao aumento do número de canais para a transmissão de dados, passando de 48 para 52 resultando num aumento da taxa de transmissão de dados.

Opera nas frequências de 2,4 GHz e 5,0 GHz na largura de banda dos 20 GHz e dos 40 GHz.[42] No entanto a norma 802.11g também utiliza quase toda a largura de banda de 40 GHz o que poderá causar interferência entre as redes. Para tentar atenuar esse problema, a norma 802.11n opera também na frequência de 5,0 GHz [42].

Com esta norma surgiu também a tecnologia (MIMO) múltiplas entradas e múltiplas saídas, permitindo aos AP's utilizar dois ou quatro fluxos de transmissão de dados em simultâneo, bem como já utiliza a tecnologia de agregação de canais para possibilitar aumentar a taxa de transmissão de dados [3].

Com estas melhorias, possibilitou que os funcionários das empresas bem como os utilizadores domésticos desenvolvessem as suas atividades sem a necessidade de se ligarem via cabo ETHERNET à porta de rede do equipamento. Deste modo os utilizadores começaram a utilizar esta tecnologia como principal meio de comunicação devido à sua forma cómoda de comunicar sem existir a necessidade de fios [5].

3.1.6 IEEE 802.11ah

IoT não é nada mais que uma rede inteligente de sensores que comunicam direta ou indiretamente uns com os outros e com a internet. Existem muitos padrões e soluções proprietárias para estes dispositivos se ligam uns aos outros e a Internet, como Wi-Fi, ZigBee, Active RFID, entre outros.

De todas as tecnologias referidas o Wi-Fi foi a mais bem-sucedida e esse sucesso deve-se à sua facilidade de comunicação com a internet. No entanto, estão limitados ao número de dispositivos que se podem conectar ao AP, a distância suportada e necessitam de energia elétrica [11].

Para colmatar esse problema, a Wi-Fi Alliance anunciou uma nova tecnologia denominada HaLow, que permite duplicar o número máximo de conexões relativamente ao padrão de 2.4 GHz apresentando também melhorias no que diz respeito à penetração de paredes, pisos e outros obstáculos. Opera na faixa de 900 MHz, é mais adequada para pequenas quantidades de dados e dispositivos de baixa potência oferecendo uma maior eficiência na conexão ao AP permitindo assim um maior alcance de sinal em relação as normas 802.11ac e 802.11ax [7] estimando-se que o seu alcance poderá chegar a 1 Km devido à utilização de frequências baixas. Devido a isso esta norma ainda poderá ter mercados a explorar no âmbito da Internet das coisas

em ambientes rurais, e agrícolas, onde os equipamentos de estação se encontram a grandes distâncias e espaços abertos.

Um outro aspecto importante relativamente a esta norma é a capacidade de fornecer suporte a novas aplicações que utilizem a rede Wi-Fi proporcionando também uma maior qualidade de serviço para as aplicações IoT mais antigas.

Uma desvantagem desta tecnologia, é o rendimento, pois será bem abaixo do fornecido pela tecnologia 802.11ac Wave2 que suportará velocidades de transferência de dados da ordem de 7 Gbps, máximo que a norma 802.11ac consegue atingir, usando o número máximo de antenas do AP. Esta desvantagem acaba por não ter relevância pois os dispositivos IoT geram pequenos volumes de tráfego de dados. [18].

Apesar desta tecnologia ser ainda recente ficou já pelo caminho devido ao surgimento da norma 802.11ax ou mais conhecida como Wi-Fi 6 que prevê também a utilização de dispositivos IoT, vídeo 4K ou 8K e aplicações de colaboração de alta densidade de dados.

3.2 Norma 802.11ac

A norma IEEE 802.11ac, ou também conhecida como rede sem fio de alta velocidade, foi introduzida no mercado em 2013 e a adoção a esta tecnologia está a ser mais rápida do que foi a 802.11n.

É uma tecnologia de redes sem fio Wi-Fi, que apresenta um aumento substancial de desempenho relativamente ao seu grande antecessor 802.11 n, conseguindo assim, lidar com o novo boom dos dispositivos móveis e IoT (Internet of Things) [3].

A norma 802.11ac foi introduzida no mercado por ondas, de forma faseada devido aos recursos financeiros empregados serem numerosos e deste modo permite à indústria tirar proveito das inovações sem ter de esperar que toda a tecnologia se encontre fechada e disponível. Assim esta norma divide-se em duas subcategorias, a 802.11ac Wave1 e 802.11ac Wave2 [5].

3.2.1 802.11ac Wave 1

Ao contrário da norma antecessora 802.11 n, esta utiliza a largura de banda de 5 GHz, oferece velocidades de transferência de dados até 1.3 Gbps, mas a velocidade de desempenho está diretamente relacionada com o número de pessoas que compartilham a rede.

Os equipamentos que implementam esta norma utilizam canais de bandas de espectro de 5 GHz podendo ser também combinada com a banda 2.4 GHz que utilizava o seu antecessor. Utilizando a tecnologia SU-MIMO, (Single-user de entrada múltipla, saída múltipla) que suporta até 3 fluxos espaciais, mas esta tecnologia permite que o *router* ou AP comunique apenas com um cliente de cada vez, em um canal [4].

A par da tecnologia MIMO, esta norma, suporta também as tecnologias Beamforming, Spatial Streams e agregação de canais, anteriormente enunciadas, que lhe permite aumentar consideravelmente a taxa de transmissão de dados.

Esta tecnologia já se encontra fechada quanto ao seu desenvolvimento, existindo já no mercado diversos equipamentos quer de emissão como *routers* e AP quer de estação já a preços bastante acessíveis para os consumidores [5].

Quando realizamos um *upgrade* para equipamentos desta norma é necessário ter em conta que é necessário também proceder à alteração para switches que possuam portas de 1 Gb para ser possível tirarmos partido da tecnologia 802.11ac.

A cisco tal como outros fabricantes de equipamentos já possui equipamentos switch com portas de multigigabit com débitos acima de 1 Gb por porta mesmo utilizando cablagem de categoria 5e, mas é necessário ter atenção pois tem limitações de distância, e caso seja exceda a distância suportada poderá não chegar ao AP a velocidade pretendida ficando assim limitado á velocidade da ligação ao *router*.

3.2.2 802.11ac Wave2

A tecnologia 802.11ac Wave2 tem por base a tecnologia anterior 802.11ac Wave1, apresentado uma serie de melhorias à mesma. Os equipamentos que suportam esta tecnologia surgiram no mercado no ano de 2016.

Uma das melhorias introduzidas é a velocidade, suportando velocidades até 6.2 Gbps utilizando a banda dos 5 GHz. Permite obter velocidades mais altas com maiores larguras de banda, aumentando assim também a sua eficiência possibilitando um elevado desempenho em tráfego sensível a latência com pouca tolerância a falhas como é o caso de vídeo e voz, em zonas com grandes densidades de clientes [5].

O substancial aumento de velocidade deve-se a tecnologia QAM (Quadrature Amplitude Modulation) introduzida por esta tecnologia possibilitando que mais dados sejam transmitidos. "As organizações estão a fazer o trabalho com implementações mais densas de 802.11ac e gastaram muito dinheiro com o Wave2", segundo Craig Mathias, diretor do Farpoint Group e contribuinte da Network World.

Esta tecnologia inovadora permite a agregação de canais de 20 MHz num limite de 160 MHz para aumentar a largura de banda, mas temos de ter cuidado pois caso exista alguma interferência num dos canais agregados não há comunicação.

Os equipamentos anteriores apenas suportavam frequências até 40 MHz na norma 802.11n e até 80 MHz na tecnologia 802.11ac Wave1. Com a utilização de frequências destas grandezas proporcionará enviar e receber arquivos que contenham grandes quantidades de dados, como é pretendido também demonstrar na prova de conceito desta dissertação [13].

Uma outra inovação introduzida no mercado pela tecnologia 802.11ac Wave2 é a tecnologia MU-MIMO (multiutilizador de entrada múltipla, saída múltipla), que para funcionar é necessário que o ponto de acesso e o cliente implementem esta tecnologia. Operando no sentido

do AP para os equipamentos de estação, permite transmitir informação para vários utilizadores até quatro em simultâneo, não sendo compatível com tecnologias legadas como 802.11ac Wave1.

Os equipamentos utilizam menos bateria pois mantêm-se menos tempo ativos pois o envio de informação é mais rápido.

	Lançamento	Frequência	Débito	Caraterísticas
802.11 - 1997	1997	2.4 GHz	1/2 Mbps	
802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbps	WEP
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbps	OFDM
802.11g	2013	2.4 GHz	54 Mbps	WPA, WPA-2, AES, TKIP
802.11n	2019	2.4 e 5 GHz	600 Mbps	MIMO, Agregação de Canais

Tabela 1 - Evolução 802.11

4. Evolução

4.1 IEEE 802.11ax

O IEEE aprovou em 2007 a norma 802.11n, em 2013 a norma 802.11ac, e a versão final da norma 802.11ax ficou encerrada como padrão em 2019 já com equipamentos no mercado, mas em termos de adoção da mesma por parte dos utilizadores estima-se provavelmente o ano de 2020.

Esta tecnologia foi anunciada pela primeira vez em 2016 pela Quantenna Communications e em 2017 a Broadcom e a Marvell apresentaram a criação do seu primeiro protótipo.

Quanto ao primeiro equipamento Base (router) com suporte à tecnologia 802.11ax foi lançado em 2018, utilizando um transmissor da Broadcom possuindo uma placa Wi-Fi 4x4 MIMO atingindo uma taxa de transferência de 1.1 Gbps em 2.4 e 9.6 Gbps em 5 GHz. A Huawei anunciou a criação de um AP 802.11ax que usa 8x8MIMO [30].

Este padrão, também conhecido como Wi-Fi 6 tornou-se assim o mais recente avanço tecnológico num área onde a evolução é contínua. Esta nova norma aproveita as inovações lançadas na norma 802.11ac, e já testadas como a tecnologia MU-MIMO acrescentando eficiência, flexibilidade e redimensionamento da rede [31].

A tecnologia 802.11ax ou High-Efficiency Wireless está a substituir a atual tecnologia 802.11ac devido à sua taxa de débito de transferência mais elevada, mesmo em ambientes com elevada população apresentando um aumento de até quatro vezes da velocidade média de transferência, segundo os fabricantes dos equipamentos rádio.

Projetado essencialmente para ambientes públicos de alta densidade populacional, apresenta também inúmeras vantagens para equipamentos IoT que consomem grandes quantidades de dados. Esta norma tenta solucionar principalmente o problema da largura de banda, pois a tecnologia 802.11ac Wave2 apenas permite velocidade até 6.2 Gbps.

A tecnologia 802.11ax poderá fornecer um único fluxo de 3.5 Gbps utilizando a nova tecnologia de multiplexação das redes móveis como o LTE, ou então fornecer quatro fluxos simultâneos para um único dispositivo de estação, o que permitirá uma largura de banda teórica de 14 Gbps. Relativamente aos canais utilizados, esta norma utiliza os mesmo canais que a norma 802.11ac permitindo uma largura de banda até 160 MHz, mas, esta tecnologia cria canais mais amplos através da utilização da tecnologia OFDMA que os divide em subcanais mais estritos aumentando assim o número de canais disponíveis, facilitando o funcionamento da tecnologia de beamforming já utilizada no padrão 802.11ac.

Com suporte também à tecnologia MU-MIMO, agregada a uma tecnologia proveniente do sistema LTE denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), permitindo que cada Fluxo MU-MIMO seja dividido em quatro canais adicionais, quadruplicando assim a largura de banda do equipamento de estação [31, 32].

Relativamente à banda de frequência utilizada, esta tecnologia emite em 2.4 e 5 GHz contrariamente a norma anterior que emite apenas na banda de frequência dos 5 GHz [32].

Mathias sugere que outras tecnologias Wi-Fi menos comuns poderiam arrancar em 2018. Em particular, a tecnologia de 60 GHz chamada 802.11ad - um sistema de alcance muito curto com capacidades de throughput muito altas - poderia se tornar uma opção para implementações de demanda intensiva [33]



Figura 3 - Simbologia Wi-Fi 6

4.2 Principais diferenças entre 802.11ac e 802.11ax

Podemos analisar as diferenças entre as normas 802.11ac e a norma 802.11ax segundo a frequência utilizada.

A norma 802.11ac opera somente na frequência de 5 GHz enquanto a 802.11ax opera em frequências de 2.5 e 5 GHz, criando assim mais canais disponíveis, possibilitando um total de 12 canais, quatro em 2.4 e oito em 5GHz.

Relativamente à transmissão de dados, a norma 802.11ac, apenas permite transmissão MU-MIMO no sentido downlink enquanto a norma 802.11ax permite MU-MIMO full-duplex, isto é, downlink e uplink, permitindo que ambos os equipamentos enviem e recebam dados de vários transmissores. Permite o envio de até 8 fluxos de dados simultaneamente, contrapondo o

máximo de 4 que a tecnologia MU-MIMO permite, esta tecnologia foi lançada na versão Wave2 do 802.11ac.

A tecnologia chave do 802.11ax é a OFDMA enquanto que a tecnologia chave da 802.11ac é o MU-MIMO [11,31].

O novo padrão 802.11ax foi já implementado em 2019 com o lançamento de equipamentos por parte dos grandes fornecedores de equipamentos, no entanto existe o simples facto de a norma 802.11ac Wave2 estar ainda agora a ser implementada o que poderá fazer com que esta norma leve mais algum tempo até ser completamente adotada pelos utilizadores.

Além disso, o 802.11ax não representa uma grande atualização de capacidade em relação à geração anterior de Wi-Fi, apesar de seus inquestionáveis avanços [34].

4.3 WPA3

As redes Wi-Fi fazem parte da vida de biliões de pessoas e organizações em todo o mundo.

A tecnologia WPA3, lançada em janeiro de 2018 já se encontra fechada e pronta a entrar no mercado. Esta tecnologia tem como base a sua antecessora o WPA2 e vem solucionar os problemas de segurança já detetados nessa tecnologia.

Dividindo-se em dois grupos, o WPA3 Pessoal e WPA3 empresarial esta tecnologia adiciona novos recursos para tornar a autenticação mais robusta e fornecer maior criptografia para mercados mais sensíveis como o mercado empresarial e as forças armadas. Para isso utiliza métodos de segurança mais recentes que proíbe protocolos herdados e desatualizados.

O WPA3 Pessoal, oferece uma melhor proteção a utilizadores individuais através de um novo mecanismo de autenticação mesmo quando os utilizadores optam pela utilização de senhas menos complexas, substituindo assim o mecanismo de chaves pré-partilhadas PSK existente no WPA2. Esta nova tecnologia é resistente a ataques do tipo “dicionário” e “força bruta”, nos quais se tenta obter a senha tentando várias senhas possíveis.

Relativamente ao WPA3 empresarial tal como no residencial baseia-se na tecnologia WPA2, mas oferece um protocolo de segurança de 192 bits e ferramentas de criptografia para uma melhor proteção de dados [43].

Esta tecnologia foi também já pensada para os dispositivos IoT tornando mais fácil a configuração destes. Pois possui um recurso inovador denominado “Wi-Fi Easy Connect” que torna conexões com os dispositivos IoT mais fácil, utilizando um mecanismo de código QR [44, 45].

5. Trabalho desenvolvido

Neste capítulo pretende-se expor os resultados obtidos na prova de conceitos.

Os testes realizados surgem no seguimento do estudo feito à norma 802.11ac Wave2, nomeadamente a análise ao comportamento dos equipamentos de emissão e de estação utilizados.

Esta prova de conceito surge como o culminar de uma pesquisa aprofundada sobre a norma 802.11ac Wave2 e pretende demonstrar como as novas tecnologias que esta norma incorpora influenciam as redes Wi-Fi quer a nível de intensidade de sinal quer a nível de velocidade de ligação.

Pretende-se também demonstrar que os equipamentos que possuem a norma 802.11ac Wave2 conseguem disponibilizar velocidades maiores que a sua norma antecessora, que, até hoje em dia é ainda utilizada pela maior parte dos utilizadores de redes Wi-Fi.

Espera-se também comprovar que os equipamentos que incorporam a norma 802.11ac emitem em velocidade de Gbps expondo as suas vantagens e desvantagens. Esta prova de conceito pretende também demonstrar as vantagens que a norma 802.22ac Wave2 traduz para as redes de utilizadores domésticos e também para as redes urbanas pois cada vez mais vivemos num mundo digital e global estando a aumentar constantemente o número de redes abertas disponíveis sendo muitas delas construídas através de fundos comunitários que necessitam de ter capacidade de fornecer informação a um grande número de utilizadores em simultâneo.

Neste capítulo pretende-se analisar o comportamento e diversos equipamentos relativamente à velocidade de ligação e intensidade de sinal com do aumento da distância. Para isso ser possível optou-se por colocar o equipamento de estação (AP) de forma estática no interior de um edifício, fazendo deslocar os equipamentos de estação. Assim é possível verificar o comportamento dos mesmos com o aumento da distância bem como na presença de barreiras estáticas.

É importante que os testes desenvolvidos se restringem apenas a um único cenário de testes, podendo os resultados obtidos alterarem caso as condições ao nível de espaço e interferências alterem.

5.1 Equipamentos

5.1.1 Ubiquiti UniFi AC HD

Como equipamento de estação, optou-se pela utilização do equipamento pelo AP UBIQUITI UniFi AC HD.

Este equipamento possui a tecnologia 802.11ac Wave2, que permite que o AP comunique com vários clientes simultaneamente através da tecnologia MU-MIMO, aumentando o débito de transmissão e a experiência do utilizador.

Com capacidade para mais de 500 conexões é ideal para as redes modernas uma vez que já vivemos na era do IoT onde todos os equipamentos se irão conectar à rede e enviar informação. Constituído por antenas rádio dedicadas e independentes de 2.4 GHz com velocidades superiores a 800 Mbps e 5 GHz com uma velocidade superior de 1.7 Gbps, atinge um alcance de 122 metros possibilitando assim alcançar um máximo rendimento e reduzindo a latência.

Possui também *hardware* dedicado para QoS, controlo de convidados e gestão de clientes. Aliado a um sistema de antenas otimizado para 802.11ac Wave2 beamforming simultaneamente dual band 4x4 Multi-Utilizador MIMO onde os dados são enviados e recebidos usando múltiplas antenas até quatro dispositivos simultaneamente, para aumentar a taxa de transferência e o alcance [17].

5.1.2 Microsoft Surface Pro4

Como computador e tablet foi utilizado o híbrido Surface Pro4.

Lançado em outubro de 2015, apresenta uma placa Wi-Fi Marvell AVASTAR Wireless AC Network Controller de norma IEEE 802.11ac.

Utilizando a tecnologia MIMO 2x2 de fluxo espacial com taxas de transferência de dados até 866,6 Mbps.

A tecnologia MIMO aumenta significativamente a velocidade de ligação dos equipamentos a agregação de canais aumenta a largura de banda Wi-Fi tornando assim possível o aumento da ligação de dados, estendendo o recurso sem fio a um novo leque de situações e produtos, como é o caso de Vídeo de alta definição (HD) backup sem fio de alta velocidade e sincronização para dispositivos móveis.

Como disponibiliza um throughput até 877 Mbps, é ideal para aplicações digitais domésticas permitindo uma experiência de vídeo HD multi-stream.

Possibilita também a sincronização de dados de alta velocidade resultando em um menor consumo de energia e maior duração de bateria [18].

5.1.3 Asus Zenfone2

Como equipamento de estação optou-se pelo smartphone Asus zenfone 2.

Lançado em meados de 2015 apresenta uma placa de Wi-Fi de 2.4 GHz e outra de 5 GHz que suporta a tecnologia 802.11ac dual-band com débitos até 433 Mbps.

É já visível que cada vez mais utilizadores operam por equipamentos que suportem a tecnologia 802.11ac [19].

5.1.4 Samsung Galaxy S7

Como equipamento de estação, foi também utilizado o Samsung Galaxy S7.

Lançado em fevereiro de 2016, possui uma placa Wi-Fi 802.11ac + MIMO de 2.4 GHz e 5 GHz.

A informação referente à placa Wi-Fi que o aparelho incorpora é escassa pois a Samsung não revela mais informação que a exposta na webpage oficial.

5.2 Software utilizado

5.2.1 Acrylic Wi-fi Home

O Acrylic Wi-Fi Home é um scanner Wi-Fi gratuito que exhibe os pontos de acesso sendo capaz de recolher informação de redes do tipo 802.11 a/ b /g /n e ac.

Faz scan de canais em 2.4 e 5 GHz apresentando-os a intensidade de sinal de cada rede em dBm.

Ao seleccionarmos a rede pretendida, indica-nos as frequências e a quantidade de canais que a ligação está a utilizar tornando possível aos utilizadores verificar se existe sobreposição de canais permitindo aos utilizadores tomar medidas para evitar conflitos de rede e perdas de pacotes.

Esta aplicação permite-nos também, visualizar a tecnologia de agregação de canais que a norma utiliza, possibilitando assim aumentar a largura de banda, como é possível visualizar na imagem seguinte.

Esta ferramenta apenas é utilizada no dispositivo Microsoft Surface Pro4.

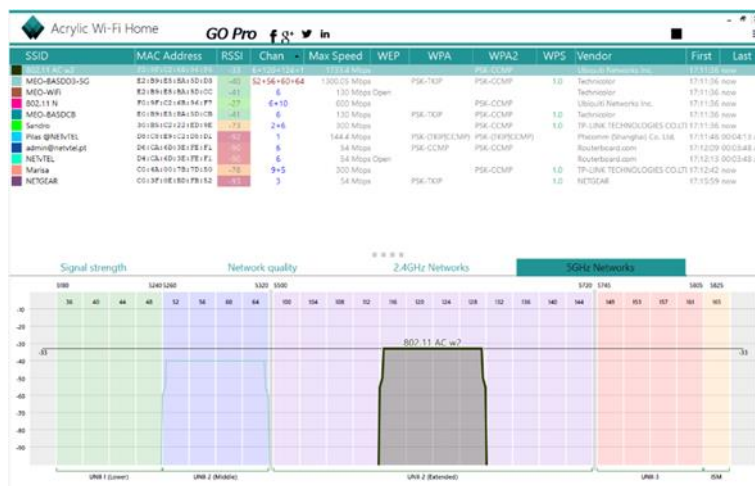


Figura 4 - Acrylic Wi-Fi Home

5.2.2 Homedale

Esta ferramenta permite monitorizar a intensidade de sinal de rádio Wi-Fi. Disponível para redes sem fios 802.11 a /b /g /n /ac de frequência de 2.4 e 5 GHz, utilizando canais de 20, 40, 80 e 160 Mhz, torna-se ideal para a prova de conceito. Com esta aplicação conseguimos monitorizar a intensidade de sinal dos pontos de acesso. Esta ferramenta apenas é utilizada no dispositivo Microsoft Surface Pro4.

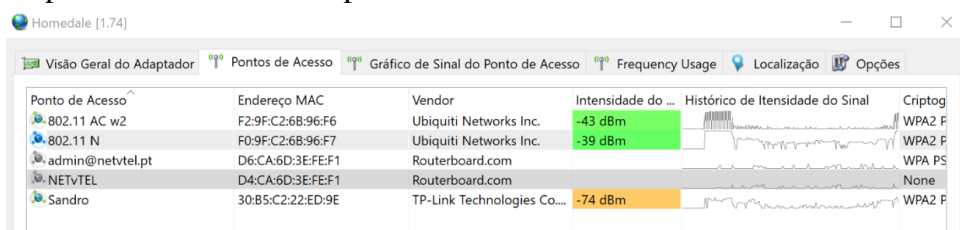


Figura 5 - Software Homedale

5.2.3 Ekahau HeatMapper

A Ekahau é líder de mercado em ferramentas de *design* de redes Wi-Fi desde o planeamento à resolução de problemas. Dispõe de uma ferramenta gratuita, denominada de Ekahau Heatmapper utilizada para mapear a cobertura Wi-Fi. O Ekahau Heatmapper é uma ferramenta utilizada para o planeamento de redes Wi-Fi corporativas e de pesquisa de redes sem fio. Encontra e localiza redes e os pontos de acesso, bem como as configurações de segurança. Permite desenhar mapas detalhados das redes Wi-Fi existentes, e deste modo é uma excelente maneira de mapear a intensidade de sinal. Esta ferramenta apenas é utilizada no dispositivo Microsoft Surface Pro4.



Figura 6 - Software Ekahau

Como podemos verificar na figura 6, detetamos a existência de 5 cores, sendo elas o verde, amarelo o laranja, o laranja mais carregado e o encarnado. Esta cor corresponde a 5 níveis de intensidade de sinal medida em dBm. Com o aumento da distância ao equipamento de estação (AP) verificamos a diminuição da intensidade de sinal.

Esta aplicação deteta também todas as redes existentes em volta do equipamento e posiciona o AP no mapa na localização onde ele verdadeiramente se encontra.

Como o nosso equipamento de estação possui antenas que emitem na frequência de 2.5 e 5 GHz podemos verificar 2 equipamentos na imagem, cada um deles ilustra cada uma das frequências emitidas.

A intensidade de sinal varia da seguinte forma:

HeatMapper		
Nível 1 (dBm)	0	-45
Nível 2 (dBm)	-46	-72
Nível 3 (dBm)	-73	-82
Nível 4 (dBm)	-83	-86
Nível 5 (dBm)	-87	-100

Tabela 2 - Esquema de cores HearMapper

5.2.4 Wi-Fi Estado

Esta ferramenta vem já previamente instalada com o *Microsoft Windows*.

Através desta ferramenta é possível visualizarmos o SSID da rede onde nos encontramos ligados bem como a velocidade de ligação do equipamento AP ao equipamento de estação.

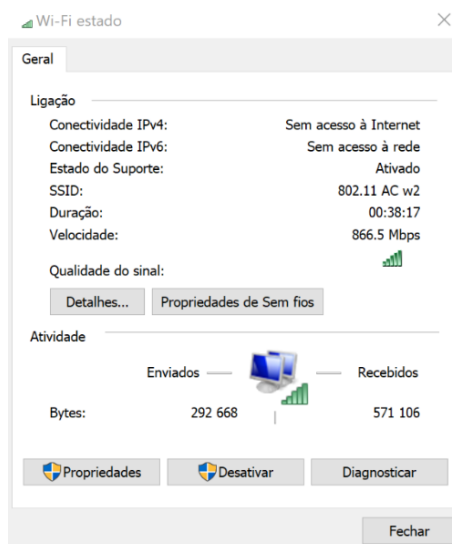


Figura 7 - Wi-Fi Estado

5.2.5 Android WiFi Heatmap

Como os dispositivos de estação Samsung e Asus não suportam as mesmas aplicações que o Microsoft Surface optou-se pela utilização da aplicação *Android Wi-Fi Heatmap* nos *Smartphones*.

Tal como a aplicação Wi-Fi estado utilizada no Microsoft Surface Pro4, esta aplicação permite-nos ver a intensidade de sinal e a velocidade de transmissão de dados em cada instante.

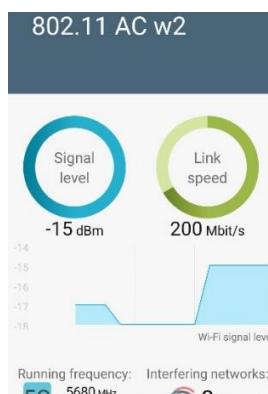


Figura 8 - Android Wi-Fi HEATMAP

5.3 Testes

Inicialmente pretendia-se utilizar a aplicação iperf 3 através do envio de pacotes entre 2 dispositivos de forma a demonstrar que a tecnologia 802.11ac Wave2 atingia velocidades de Gbps, mas com o avançar dos testes verificou-se que a aplicação não estava a devolver valores de velocidade máxima considerados relevantes. Assim, uma das maiores decisões a tomar nesta

prova de conceito, prende-se com abandono desta metodologia de teste e a escolha de novas aplicações que em seguida serão expostas na presente dissertação.

Para o desenvolvimento dos testes foi necessário tomar algumas decisões a fim de definir o que seria necessário fazer, as características técnicas dos equipamentos, entre outros.

Apesar da tomada de decisões inicial, com a evolução dos testes foram definidos novos métodos e novas aplicações.

Quanto ao método de trabalho em si, foi decidido realizar dois testes, o teste A que corresponde à norma 802.11n e o teste B que corresponde à norma 802.11ac. Os resultados obtidos serão analisados tendo em conta as frequências de sinal, as intensidades em dBm e a velocidade em Mbps.

Deste modo o proposto é a análise seguinte:

Ubiquity AC HD	
Teste A	Teste B
40 MHz	40 MHz
	80 MHz
	160 MHz

Tabela 3 - Testes realizados

5.4 Teste A

Após a definição dos testes de modo a serem cumpridos os objetivos propostos foi necessário dar início aos testes dos equipamentos que suportam o estudo feito ao logo desta dissertação. Para garantir o sucesso destes testes foi necessário configurar o aparelho de estação nas frequências pretendidas.

Neste sub-capítulo será exposta a forma como foi realizado o Teste A bem como a apresentação dos resultados obtidos no mesmo. Para ser possível uma analisar de uma forma ampla a intensidade de sinal e a velocidade de transmissão de dados foi utilizada a aplicação Acrylic Wi-Fi Home no Microsoft Surface e a aplicação Wi-Fi Hearmap nos dispositivos móveis.

5.4.1 Teste A 1

Inicialmente começou-se por fazer uma análise à norma 802.11n, para ser possível comparar com os resultados posteriormente obtidos na norma 802.11ac.

Uma vez que o AP Ubiquity tem um longo alcance foi logo descartada a possibilidade de fazer uma análise apenas no interior de edifícios pois ambas as normas apresentavam um excelente sinal não sendo possível extrair conclusões válidas. Assim, decidiu-se alargar a análise ao exterior dos edifícios mantendo o AP no interior do edifício de modo a também ser possível verificar o comportamento dos equipamentos na presença de barreiras estáticas e assim verificar

a influência das mesmas na intensidade de sinal Wi-Fi e velocidades obtidas. Após a colocação do AP no local anteriormente indicado definiu-se uma rota que permitisse identificar os pontos-chave onde seria possível proceder a uma análise comparativa do comportamento dos aparelhos com o aumento da distância.

Em primeiro lugar optou-se por utilizar o equipamento Microsoft Surface Pro4, pois de entre os equipamentos utilizados, é o único que possibilita a criação de heatmaps através da ferramenta *Ekahau HeatMapper*.

Uma vez que esta dissertação de mestrado tem como principal temática a norma 802.11ac, decidiu-se incidir mais os testes nesta temática, analisando o comportamento para as frequências de 40, 80 e 160 MHz através da agregação de canais de 20 MHz afim de analisar o comportamento dos equipamentos.

A ilustração seguinte demonstra a rota escolhida.

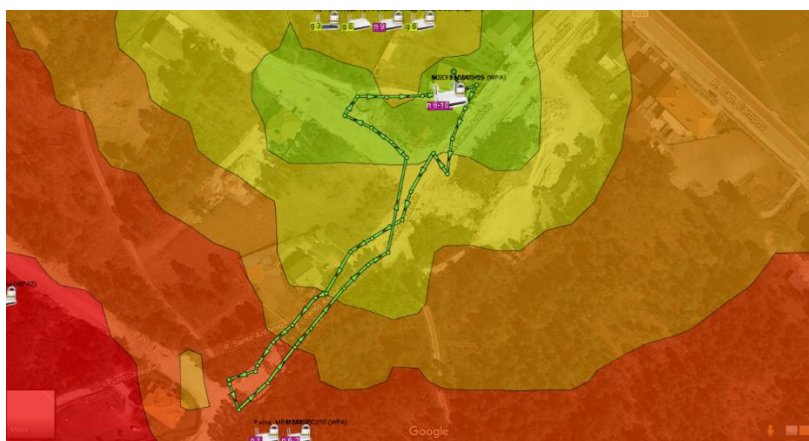


Figura 9 - Heatmap 802.11n

Como podemos verificar na figura, o Ekahau HeatMapper dá-nos a localização exata do AP no mapa, pois símbolo do AP encontra-se na habitação.

A habitação é composta por 3 pisos sendo o AP posicionado no 2º piso no centro da habitação, existe duas barreiras estáticas (paredes) entre o AP e os equipamentos de estação que se encontram no exterior da habitação.

Como podemos visualizar também na imagem, existe vegetação no exterior da habitação que poderá também influenciar os testes efetuados.

Após análise ao heatmap obtido foi possível identificar 6 pontos-chave, identificados no mapa através da variação de cores, onde poderia incidir a análise comparativa dos equipamentos.

Seguidamente começou-se por marcar a distância ao *router* no mapa obtido anteriormente. Estas distâncias são os pontos de interesse na análise comparativa sendo os mesmos também utilizadas na criação de tabelas e gráficos que serão analisados.

Para a definição do critério de máximo alcance atingido de cada equipamento foi considerado o momento em que o equipamento conseguia detetar o sinal do AP, mas não se conseguia ligar à rede. Isto acontece, pois, a placa Wi-Fi consegue detete o sinal emitido pelo AP, mas como este já se encontra demasiado fraco devido à distância, não é possível existir troca de pacotes

com sucesso entre os dois equipamentos. Assim, todos os pacotes são perdidos mesmo os que transportam as chaves de login na rede.

De seguida verificou-se a intensidade de sinal nos locais chave identificados anteriormente. Após análise aos resultados obtidos, verificou-se que com o aumento da distância vai diminuindo a intensidade de sinal. Essa diminuição não é gradual, pois apresenta uma quebra de sinal mais acentuada nos primeiros metros que nos últimos quer a nível de velocidade de ligação quer a nível de intensidade de sinal.

Após a conclusão dos testes com o equipamento Microsoft Surface, repetiram-se os mesmos procedimentos com os equipamentos Samsung Galaxy S7 e com o Asus Zenfone 2. Mas, devido a estes equipamentos não permitem a criação de heatmaps, optou-se por utilizar o *software* Android Wi-Fi Heatmap e apresentar o resultado de uma forma mais sucinta pela criação de uma tabela.

No anexo 1 encontram-se expostos todos os testes efetuados neste ponto.

Distância(m)	Microsoft Surface		Samsung Galaxy S7		Asus Zenfone 2	
	MHz	Mbps	MHz	Mbps	MHz	Mbps
0	-30	144	-25	86	-16	78
40	-68	117	-66	65	-59	58
70	-75	104	-78	57	-65	52
100	-80	26	-87	39	-78	26
150	-89	5.5	-91	14	-85	19
190	-91	1	-80	6		

Tabela 4 - 802.11n 20 MHz

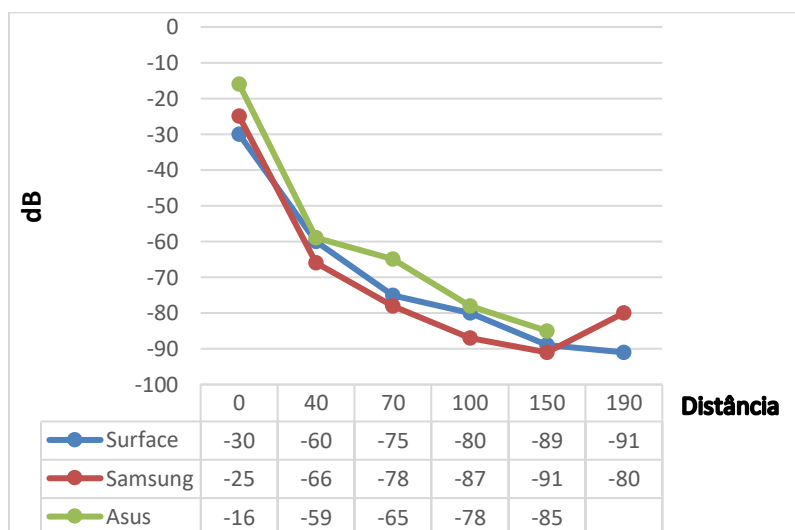


Gráfico 1 – Intensidade de Sinal 802.11n 20 MHz

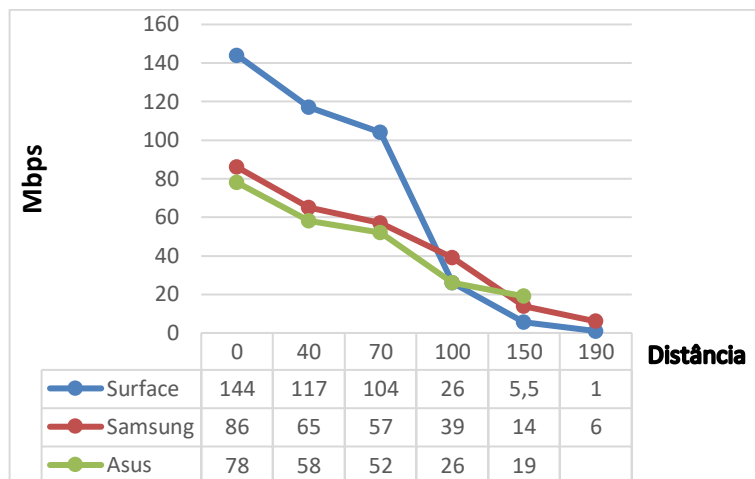


Gráfico 2 - Velocidade 802.11n 20 MHz

Após a análise dos resultados e gráficos anteriores podemos concluir que existe uma quebra mais acentuada a nível de velocidade que a nível de intensidade de sinal principalmente no equipamento Microsoft Surface Pro4. Os *smartphones* têm entre eles um comportamento idêntico, e com uma descida praticamente de forma gradual.

Como podemos verificar na tabela anterior, o equipamento Microsoft Surface Pro4 apresenta um melhor comportamento comparativamente aos equipamentos móveis.

Verificou-se também que o equipamento móvel ASUS Zenfone 2 apresenta uma melhor performance, quer a nível de intensidade de sinal, quer a nível de velocidade comparativamente ao equipamento Samsung.

Assim, podemos concluir que as discrepâncias obtidas deve-se as características das placas Wi-Fi de cada dispositivo bem como a capacidade de processamentos dos mesmos.

Em suma, é possível concluir que esta norma apresenta débitos relativamente baixos, apresentando, contudo, uma elevada resistência a interferências externas nomeadamente paredes e obstáculos permitindo atingir uma grande distância. Devido a essas características e aos reduzidos preços dos equipamentos esta norma ainda é muito utilizada quer por clientes residências e empresariais, mas cada vez mais esta norma tende em entrar em desuso porque os equipamentos de hoje em dia geram cada vez mais informação e necessitam cada vez mais de largura de banda, aliado ao facto que existirem mais equipamentos ligados ao AP em simultâneo e este poderá já não responder de forma adequada às necessidades dos utilizadores.

Todos os testes efetuados podem ser consultados no anexo1.

5.5 Teste B

Para o teste B, que se refere á norma 802.11ac, decidiu-se fazer 3 testes distintos denominados de Teste B 1, Teste B 2 e teste B 3 que corresponde às frequências de 40, 80 e 160 MHz afim de verificar como as tecnologias introduzidas nesta norma influenciam a ligação de dados quanto ao alcance dos equipamentos e ao débito

5.5.1 Teste B1

Tal como no teste anterior, começou-se por configurar o equipamento de estação Ubiquity para emitir na frequência de 40 MHz, agregando 2 canais de 20 MHz, estando assim a testar a norma 802.11ac.

De seguida identificou-se também os pontos-chave onde se focará a análise. Os pontos-chave estão identificados na imagem seguinte através da marcação da distância ao Access Point. Esses pontos correspondem também as variações de cores apresentadas no heatmap.

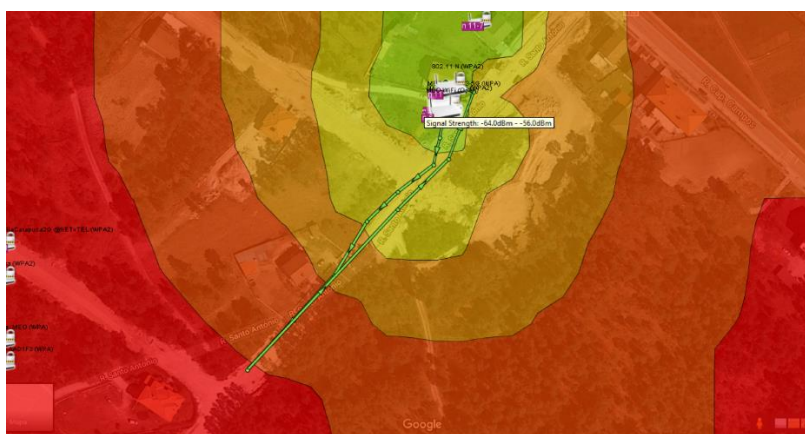


Figura 10 - Heatmap 802.11ac 40 MHz

Distância (m)	Microsoft Surface		Samsung Galaxy S7		Asus Zenfone 2	
	MHz	Mbps	MHz	Mbps	MHz	Mbps
0	-31	400	-36	200	-32	200
40	-52	360	-55	135	-56	180
70	-78	324	-65	90	-67	121
100	-80	162	-70	45	-73	40
150	-84	108	- 88	14	-81	19
190	-86	13		0		0

Tabela 5 - 802.11ac 40 MHz

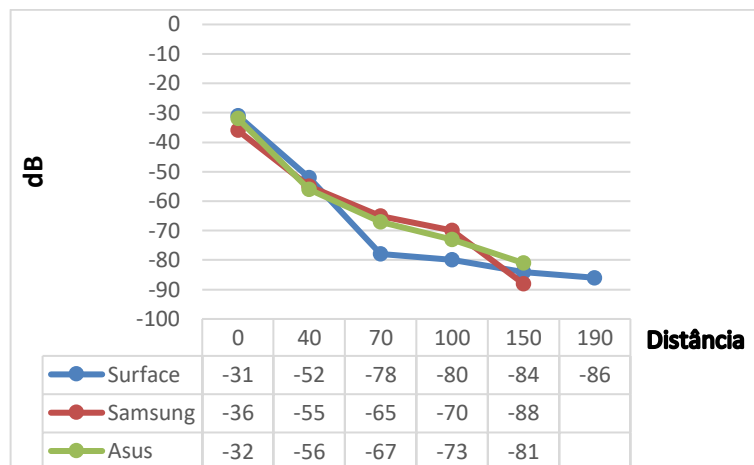


Gráfico 3 - Intensidade de Sinal 802.11ac 40 MHz

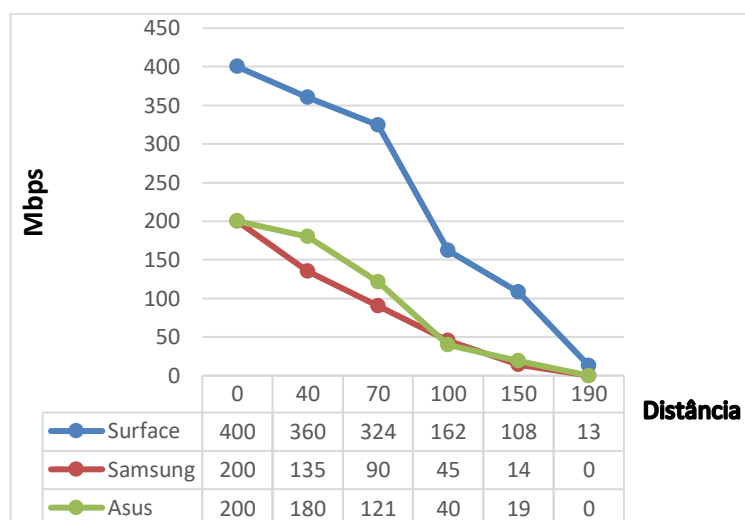


Gráfico 4 - Velocidade 802.11ac 40 MHz

Como podemos verificar nos gráficos acima expostos existe um grande aumento de velocidade máxima comparativamente a norma 802.11n tendo a velocidade triplicado pois passou de 114 Mbps para 400 Mbps.

Mas, nem todos os equipamentos atingiram essa velocidade. A velocidade máxima atingida foi de 400 Mbps através do equipamento Microsoft Surface Pro4, com uma intensidade de sinal de -31 dB.

Os equipamentos móveis ficaram-se apenas pelos 200 Mbps apresentando comportamentos muito idênticos entre eles, mas, mesmo assim é de salientar o Asus Zenfone 2, que apresentou um melhor comportamento com o aumento da distância em relação ao Samsung Galaxy S7.

Como já era esperado, com o aumento da distância diminuí a intensidade de sinal e por sua vez diminuí também a velocidade. De salientar o equipamento Microsoft Surface Pro4 que, quando atingiu distância de 70 metros apresentou uma enorme quebra de sinal e velocidade, mas, no entanto, atingiu sempre maior velocidade de ligação em comparação aos dispositivos móveis.

Apesar da placa Wi-Fi de todos os equipamentos suportar a norma 802.11ac não foi possível atingir a mesma velocidade máxima teórica de ligação de dados em todos os equipamentos sendo esse valor atingido apenas pelo equipamento Microsoft Surface.

5.5.2 Teste B 2

De seguida procedeu-se ao segundo teste na norma 802.11ac. Para isso, configurou-se o equipamento Ubiquity para agregar 4 canais de 20 MHz e emitir uma frequência de 80 MHz.

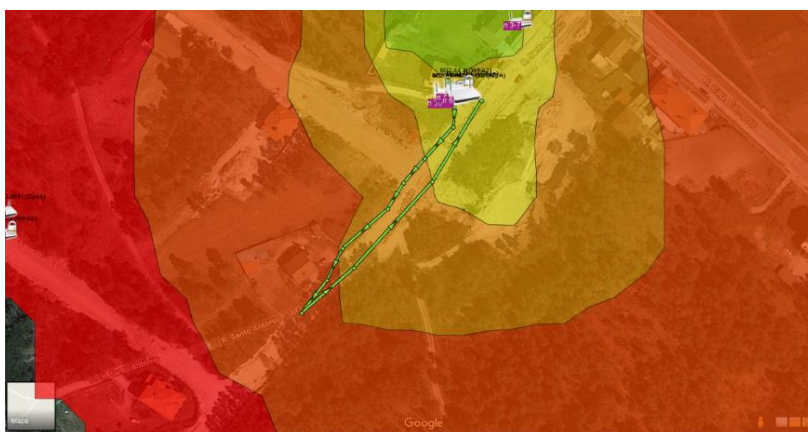


Figura 11 - Heatmap 802.11ac 80 MHz

Como nos testes anteriores, primeiramente procedeu-se à análise com o Heatmap afim de identificar as distâncias sobre as quais iria incidir a análise.

O teste em questão encontra-se exposto de forma mais detalhada no anexo 2.

Distância (m)	Microsoft Surface		Samsung Galaxy S7		Asus Zenfone 2	
	MHz	Mbps	MHz	Mbps	MHz	Mbps
0	-35	866.5	-37	390	-28	433
40	-48	585	-62	292	-42	292
70	-62	234	-72	130	-65	175
100	-69	175.5	-81	97	-72	117
150	-84	27	-89	6	-75	87
190	-87	13		0		0

Tabela 6 - 802.11ac 80 MHz

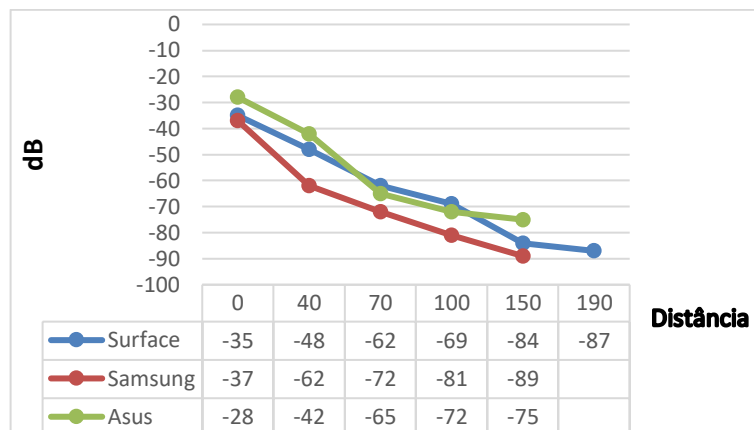


Gráfico 5 - Intensidade de Sinal 802.11ac 80 MHz

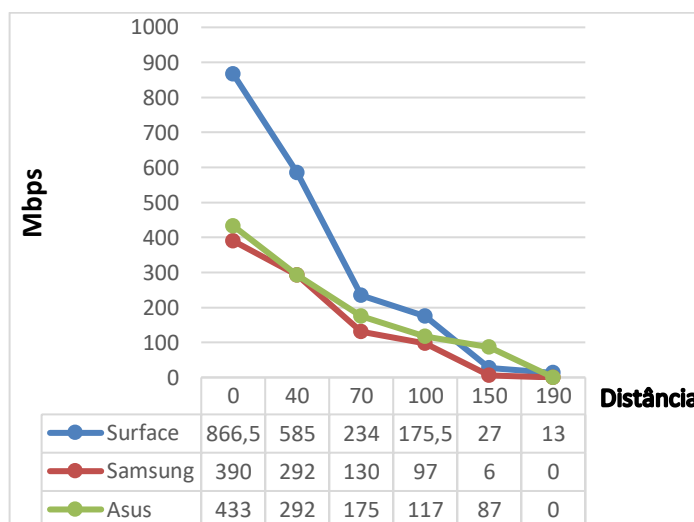


Gráfico 6 - Velocidade 802.11ac 80 MHz

Após análise dos resultados obtidos neste teste, verificou-se que, como nos testes anteriores, o equipamento Microsoft Surface apresenta uma melhor performance em relação aos equipamentos móveis, mas, no entanto existe uma melhoria de velocidade considerável em relação ao primeiro teste efetuado à norma 802.11ac.

Essa performance deve-se às características da placa Wi-Fi bem como à capacidade de processamento de pacotes que os diferentes equipamentos apresentam.

De salientar, a velocidade obtida 866,5 Mbps obtida neste teste pois no teste anterior e mesmo utilizando já a norma 802.11ac apenas obtive a velocidade de 400 Mb.

Este aumento de velocidade deve-se à tecnologia de agregação de canais que esta norma disponibiliza pois, permite agregar vários canais de modo a formar apenas um, possibilitando o envio de mais pacotes por ciclo de tempo aumentado assim a velocidade de ligação de dados. Todos os testes efetuados podem ser consultados no anexo 3.

5.5.3 Teste B 3

Apesar dos equipamentos de estação não suportarem a norma 802.11ac wave2 e suportarem apenas agregação de canais até 80 MHz optou-se por realizar na mesma o teste agregando canais de 20 Mhz passando a emitir numa frequência de 160 MHz.



Figura 12 - Rota 802.11ac 160 MHz

Tal como nos teste anteriores, começou-se por configurar o AP e criar o Heatmap de sinal utilizando a frequência de 160 MHz.

Como podemos verificar no heatmap, o alcance com esta frequência é muito menor que utilizando apenas 80 MHz, comprovando assim que esta norma é mais sensível a barreiras estáticas que a sua antecessora. Esta diminuição de distância deve-se à capacidade da norma 802.11ac tem em agregar canais de 20 MHz cada, o que lhe possibilita aumentar o débito, mas por sua vez como utiliza frequências mais elevadas estas possuem menor alcance.

Por outro lado, ao utilizar mais largura de banda, ficamos sujeitos às interferências que possam existir ao longo de toda a faixa de transmissão.

Supõe-se também, que as tecnologias que estão a influenciar os resultados obtidos sejam o beamformig e a tecnologia MU-MIMO introduzidos pela norma 802.11ac, mas relativamente a este ponto não há forma de o comprovar. Estes são os motivos pela qual a norma 802.11n apresenta um maior alcance, mas por sua vez uma menor taxa de transferência de dados.

Distância (m)	Microsoft Surface		Samsung Galaxy S7		Asus Zenfone 2	
	MHz	Mbps	MHz	Mbps	MHz	Mbps
0	-33	866.5	-19	433	-15	390
40	-68	468	-60	390	-52	433
70	-75	175	-66	97	-62	263
100	-80	81	-74	87	-80	40
150	-89	27	-88	7	-71	58
190	-91	6.5	-91	6		

Tabela 7 - 802.11ac 160 MHz

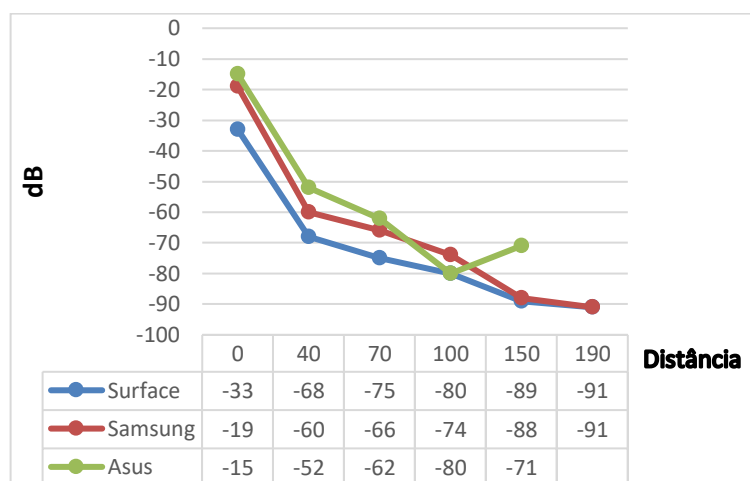


Gráfico 7 - Intensidade de Sinal 802.11ac 160 MHz

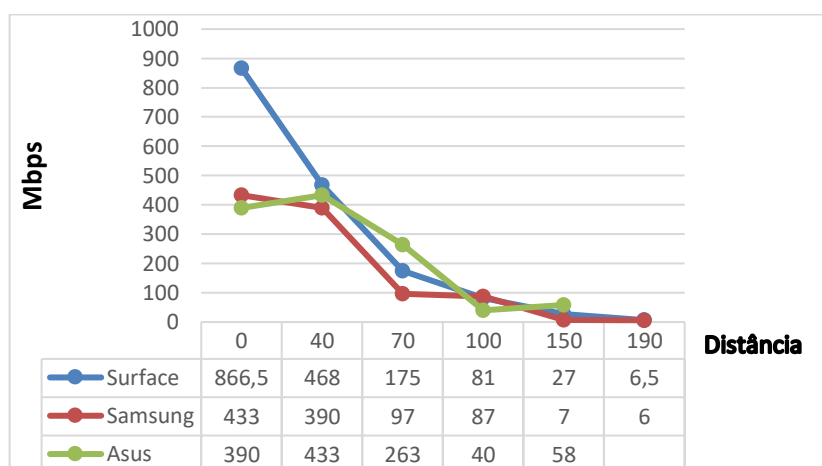


Gráfico 8 - Velocidade 802.11ac 160 MHz

Após análise à tabela e aos gráficos acima expostos, conclui-se que o equipamento Microsoft Surface Pro4 junto ao equipamento AP apresenta uma intensidade de sinal ótimo, mas, no

entanto, não foi possível obter velocidade de Gb. Não foi possível atingir esses valores de velocidade não porque a norma não o permitisse, mas sim porque as placas dos equipamentos de estação suportam apenas a norma 802.11ac e não a norma 802.11ac wave2 que no caso do Microsoft Surface Pro4 a velocidade máxima é a teórica apresentada pelo fabricante que é de 866.5 Mbps, a qual foi demonstrada no presente teste.

Podemos também concluir que a agregação de canais foi um passo muito importante no que toca ao aumento de velocidade, permitindo que sejam atingidas velocidades de Gb, mas, comprovou-se também que com o aumento das frequências e com a agregação de canais o alcance obtido diminui consideravelmente.

Todos os testes efetuados podem ser consultados no anexo 4.

6. Conclusões

Esta dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado em Sistemas e Tecnologias de Informação para as Organizações, teve como objetivo comparar as várias normas Wi-Fi expondo os pontos fortes e fracos de cada uma delas. O foco principal foi na norma 802.11ac cuja evolução em relação à norma antecessora a 802.11n é notória principalmente no que diz respeito à velocidade de transmissão de dados devido às tecnologias que esta incorpora. A velocidade de transmissão de dados torna-se importante numa altura que cada vez mais utilizadores e dispositivos se encontram ligados nas redes Wi-Fi transmitindo cada vez mais dados. Outra característica determinante para a rápida proliferação desta norma é o facto de os equipamentos permitirem um número muito maior de utilizadores e dispositivos conectados em simultâneo.

Pretendia-se então com esta dissertação conhecer e compreender todas as tecnologias que estavam subjacentes a esta norma, o seu funcionamento, bem como tudo o que estava adjacentes as melhorias implementadas pela norma 802.11ac. Para isso várias tecnologias foram estudadas em detalhe e utilizadas, tendo sido aqui expostas de forma resumida.

Como prova de concito foram efetuados testes de intensidade de sinal e velocidade de ligação de dados, que permitissem observar o comportamento dos diversos equipamentos bem como demonstrar as suas capacidades comprovando assim os débitos teóricos anunciados pelos fabricantes dos equipamentos.

Tendo tudo isto em mente, foi desenvolvido um estudo aprofundado sobre a norma 802.11ac, a tecnologia MU-MIMO, assim como todas as tecnologias que permitiram o grande aumento da velocidade de transmissão de dados, demonstrando assim as capacidades desta norma, mesmo para ambiente IoT. Houve a necessidade de entender ao pormenor o funcionamento de todas as redes Wi-Fi, a sua evolução e a quantidade de dados que é necessário transmitir bem como as perturbações introduzida pela presença de barreiras estáticas.

Após todo o estudo efetuado ficam claros os benefícios da norma 802.11ac para todos os utilizadores, mas, ainda apresenta lacunas em ambientes IoT pois, em média os equipamentos ainda não permitem que se encontrem ligados em simultâneo mais de 500 dispositivos, independentemente de gerarem ou não pouca quantidade de dados tendo este aspecto sido retificado na norma seguinte. Verificou-se também uma rápida adaptação e utilização desta norma por parte dos utilizares quer a nível residencial quer a nível empresarial e isso deve-se à rápida introdução no mercado por parte dos fabricantes de equipamentos que suportam esta norma.

Relativamente aos testes efetuados, foi necessário perceber como se poderia realizar os testes, o que levou uma análise de diversas aplicações e os resultados que elas devolviam. Esta análise foi seguida de um estudo técnico aos equipamentos utilizados, identificando as suas limitações a nível das placas de rádio que incorporam bem como a capacidade de processamento de pacotes que iria influenciar a intensidade de sinal e a velocidade de transmissão de dados.

Considerando tudo isto, conclui-se que o estudo efetuado permitiu compreender a necessidade de evolução das redes Wi-Fi, as tecnologias que cada uma delas utiliza, o funcionamento da norma 802.11ac, das tecnologias que utiliza e que tornaram possível o grande aumento de débito de dados.

Após os testes desenvolvidos conclui-se que os objetivos propostos na presente dissertação foram atingidos, pois foi possível comprovar o aumento de débito da norma 802.11ac relativamente à norma 802.11n. Comprovou-se também que como a norma 802.11ac utiliza a frequência de 5 GHz, está mais suscetível a barreiras estáticas disponibilizando assim um menor alcance. Ficou igualmente comprovado que as tecnologias que a norma 802.11ac introduz nomeadamente o MU-MIMO, a agregação de canais, Spatial Streams e Beamforming permitem aumentar de forma considerável a velocidade de transmissão de dados sendo possível atingir velocidades de Gb.

Esta norma veio revolucionar o que era existente nas redes Wi-Fi, surgindo como uma alternativa viável a utilizadores e aplicações que geram grandes quantidades de dados, que deixam de ter como obrigatoriedade a utilização de redes por cabo.

Com esta dissertação espera-se que este conhecimento seja transmitido ao leitor ficando a conhecer as tecnologias que cada vez mais têm vindo a alterar a comunicações de dados sem fios, permitindo que este possa optar pela norma que melhor satisfaça as suas necessidades.

As redes de transmissão de dados sem fios estão em constante desenvolvimento, suportando cada vez um maior número de utilizadores e disponibilizando aos mesmos uma velocidade de transmissão de dados cada vez maior.

O futuro destas redes prende-se com a adaptação das mesmas as tecnologias IoT, redes sensoriais.

REFERÊNCIAS

- [1] «802.11ac WAVE 1 AND 2 REALITY CHECK». *CommunicaONE Inc.* Acedido 20 de Dezembro de 2016. <https://communicaone.com/blog/80211ac-wave-1-wave-2-realities/2015/7/9>.
- [2] «802.11.docx - relat_1MIEEC01_3.pdf». Acedido 27 de Dezembro de 2016. http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_13_14/uploads/relat_1MIEEC01_3.pdf.
- [3] Bejarano, Oscar, Edward W. Knightly, e Minyoung Park. «IEEE 802.11 ac: from channelization to multi-user MIMO.» *IEEE Communications Magazine* 51, n. 10 (2013): 84–90.
- [4] Ciarlone, John. «802.11ac Wave 2 vs. Wave 1: What’s the Difference?» Acedido 20 de Dezembro de 2016. <http://info.hummingbirdnetworks.com/blog/80211ac-wave-2-vs-wave-1-difference>.
- [5] «Cisco 802.11ac Wave 2 FAQ». *Cisco*. Acedido 20 de Dezembro de 2016. <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise-networks/802-11ac-solution/q-and-a-c67-734152.html>.
- [6] Gear, Author: Brian Barrett Brian Barrett. «Next-Gen Wi-Fi Will Actually Connect the Internet of Things». *WIRED*. Acedido 30 de Dezembro de 2016. <https://www.wired.com/2016/01/wifi-halow-internet-of-things/>.
- [7] Hamblen, Matt. «Wi-Fi for the Internet of Things gets a name: ‘Wi-Fi HaLow’». *Computerworld*, 4 de Janeiro de 2016. <http://www.computerworld.com/article/3018510/mobile-wireless/wi-fi-for-the-internet-of-things-gets-a-name-wi-fi-halow.html>.
- [8] «Here comes Wave 2: 802.11ac reaches new heights». Acedido 30 de Dezembro de 2016. <http://searchnetworking.techtarget.com/ezone/Network-Evolution/Here-comes-Wave-2-80211ac-reaches-new-heights>.
- [9] «High-speed wireless access: Fact or fiction?» *SearchNetworking*. Acedido 30 de Dezembro de 2016. <http://searchnetworking.techtarget.com/opinion/High-speed-wireless-access-Fact-or-fiction>.
- [10] «In Wave 2, 802.11ac tackles density with multi-user MIMO». *SearchNetworking*. Acedido 30 de Dezembro de 2016. <http://searchnetworking.techtarget.com/feature/In-Wave-2-80211ac-tackles-density-with-multi-user-MIMO>.
- [11] Malik, Ajay. «Why Wi-Fi will be the technology of choice for the Internet of Things». *Network World*, 11 de Maio de 2015. <http://www.networkworld.com/article/2917793/internet-of-things/is-wi-fi-going-to-be-the-technology-of-choice-for-iot.html>.
- [12] Nee, R. V. «Breaking the Gigabit-per-second barrier with 802.11AC». *IEEE Wireless Communications* 18, n. 2 (Abril de 2011): 4–4. doi:10.1109/MWC.2011.5751287.

[13] Perahia, Eldad, e Michelle X. Gong. «Gigabit wireless LANs: an overview of IEEE 802.11 ac and 802.11 ad». *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 15, n. 3 (2011): 23–33.

[14] Perahia, Eldad, e Robert Stacey. *Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac*. Cambridge University Press, 2013.

[15] «Redes Wi-fi». Acedido 27 de Dezembro de 2016. <http://www.webartigos.com/artigos/redes-wi-fi/5669/>.

[16] «Ruckus launches 802.11ac Wave 2 access point». *Total Telecom Magazine*, 2015.

[17] Watterson, William. «WiFi and the coming IoT invasion». *The Next Web*, 30 de Novembro de 2016. <http://thenextweb.com/insider/2016/11/30/wifi-coming-iot-invasion/>.

[18] «Wi-Fi® and the Internet of Things: (Much) more than you think | Wi-Fi Alliance». Acedido 30 de Dezembro de 2016. <http://www.wi-fi.org/beacon/craig-mathias/wi-fi-and-the-internet-of-things-much-more-than-you-think>.

[19] «802.11a - Definição de 802.11a». [Em linha]. Disponível em: <http://www.hardware.com.br/termos/802.11a>. [Acedido: 22-Mai-2017].

[20] «IEEE 802.11», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 11-Nov-2016.

[21] O. Bejarano, E. W. Knightly, e M. Park, «IEEE 802.11 ac: from channelization to multi-user MIMO.», *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, n. 10, pp. 84–90, 2013.

[22] «IEEE 802.11 – Wikipédia, a enciclopédia livre». [Em linha]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#802.11a. [Acedido: 22-Mai-2017].

[23] «O que é o 802.11ax? Wi-Fi da próxima geração? - Cisco». [Em linha]. Disponível em: https://www.cisco.com/c/pt_pt/products/wireless/what-is-802-11ax.html. [Acedido: 17-Out-2019].

[24] «Wi-Fi HaLow for IoT – 802.11ah chips | Morse Micro». [Em linha]. Disponível em: <https://www.morsemicro.com/>. [Acedido: 29-Out-2019].

[25] «Smarthome Articles - How-To Geek». [Em linha]. Disponível em: <https://www.howtogeek.com/t/smarthome/>. [Acedido: 29-Out-2019].

[26] «Beamforming, RF management key to 802.11n wireless LAN success». [Em linha]. Disponível em: <https://searchnetworking.techtarget.com/news/1350530/Beamforming-RF-management-key-to-80211n-wireless-LAN-success>. [Acedido: 29-Out-2019].

[27] «Qual o melhor canal wireless nos 5Ghz para o meu router?» [Em linha]. Disponível em: <https://pplware.sapo.pt/tutoriais/networking/melhor-canal-wireless-5ghz-router/>. [Acedido: 29-Out-2019].

[28] «Wi-Fi 2018: What does the future look like? | Network World». [Em linha]. Disponível em: <https://www.networkworld.com/article/3237146/wi-fi-2018-what-does-the-future-look-like.html>. [Acedido: 29-Out-2019].

[29] V. Talla, B. Kellogg, B. Ransford, S. Naderiparizi, J. R. Smith, e S. Gollakota, «Powering the next Billion devices with wi-fi», *Commun. ACM*, vol. 60, n. 3, pp. 83–91, Fev. 2017.

- [30] «Wi-Fi 6 (802.11 ax): Conheça o novo padrão que pode revolucionar as redes sem fio». [Em linha]. Disponível em: <https://redestecnologia.com.br/wi-fi-6-80211ax-conheca-o-novo-padrão-que-pode-revolucionar-as-redes-sem-fio/>. [Acedido: 29-Out-2019].
- [31] W. Training, «CWNA - Certified Wireless Network Associate Training», *WiFiTraining.com*. .
- [32] «white-paper-c11-740788.pdf». .
- [33] «Ubiquiti - Democratizing Professional Network Technology». [Em linha]. Disponível em: <https://www.ui.com/>. [Acedido: 29-Out-2019].
- [34] «Wireless - Avastar 88W8897- Beamforming - Products - Marvell». [Em linha]. Disponível em: <https://www.marvell.com/wireless/88w8897/beamforming.jsp>. [Acedido: 29-Out-2019].
- [35] «ASUS Portugal», *ASUS Portugal*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.asus.com/pt/>. [Acedido: 29-Out-2019].
- [36] «WPA2 (AES)», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 24-Abr-2019
- [37] E. Geier, «10 things you need to know about MU-MIMO Wi-Fi», *Network World*, 17-Set-2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.networkworld.com/article/3256905/13-things-you-need-to-know-about-mu-mimo-wi-fi.html>. [Acedido: 16-Nov-2019].
- [38] «Wi-Fi 6 fundamentals: What is 1024-QAM?», *The Ruckus Room*, 23-Out-2018.
- [39] ««802.11ax fundamentals: Target Wake Time (TWT)», *The Ruckus Room*, 25-Set-2018.
- [40] «Como verificar o valor RSSI com o NetSpot», *NetSpot*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.netspotapp.com/pt/what-is-rssi-level.html>. [Acedido: 16-Nov-2019].
- [41] J. P. de Carvalho, H. Veiga, C. R. Pacheco, e A. Reis, «Investigações de desempenho de ligações laboratoriais IEEE 802.11 AC», *6º Ciclo de Conferências da Faculdade de Ciências-Escola e Universidade*, pp. 30–30, 2019.
- [42] «Redes Wireless: Entendendo o 802.11n», *Hardware.com.br*. .
- [43] «Security | Wi-Fi Alliance». [Em linha]. Disponível em: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/security>. [Acedido: 30-Nov-2019].
- [44] «What is WPA3, and why is it so important for Wi-Fi security?», *Android Central*, 23-Nov-2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.androidcentral.com/what-wpa3>. [Acedido: 30-Nov-2019].
- [45] «O que é WPA3?» [Em linha]. Disponível em: <https://www.speedcheck.org/pt/wiki/wpa3/>. [Acedido: 30-Nov-2019].

Anexo 1 - 802.11n

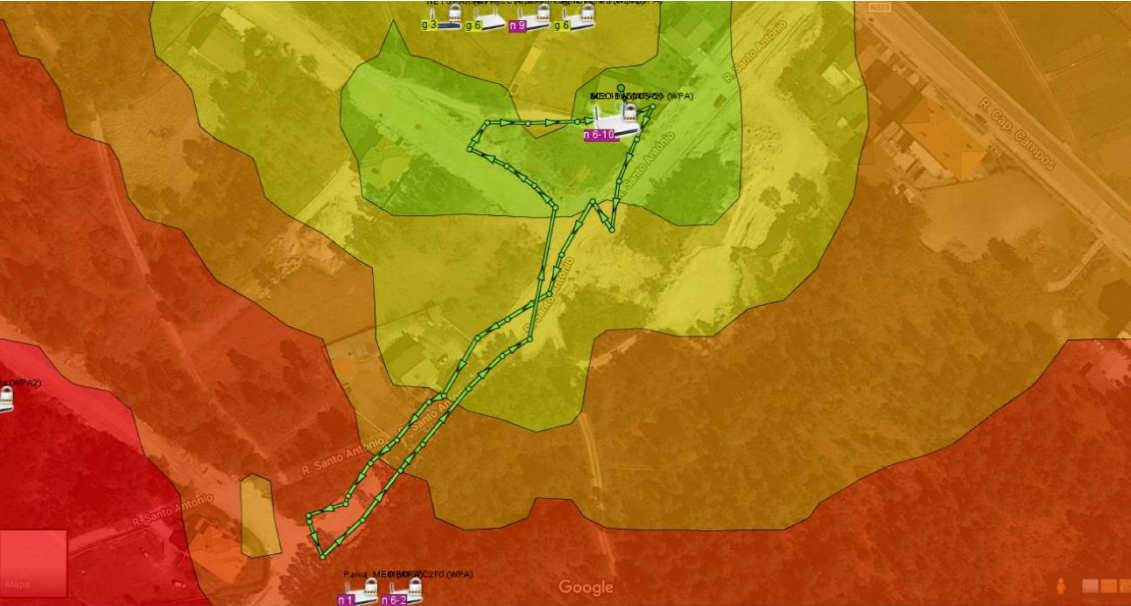


Figura 13 - Anexo 1 802.11n Heatmap

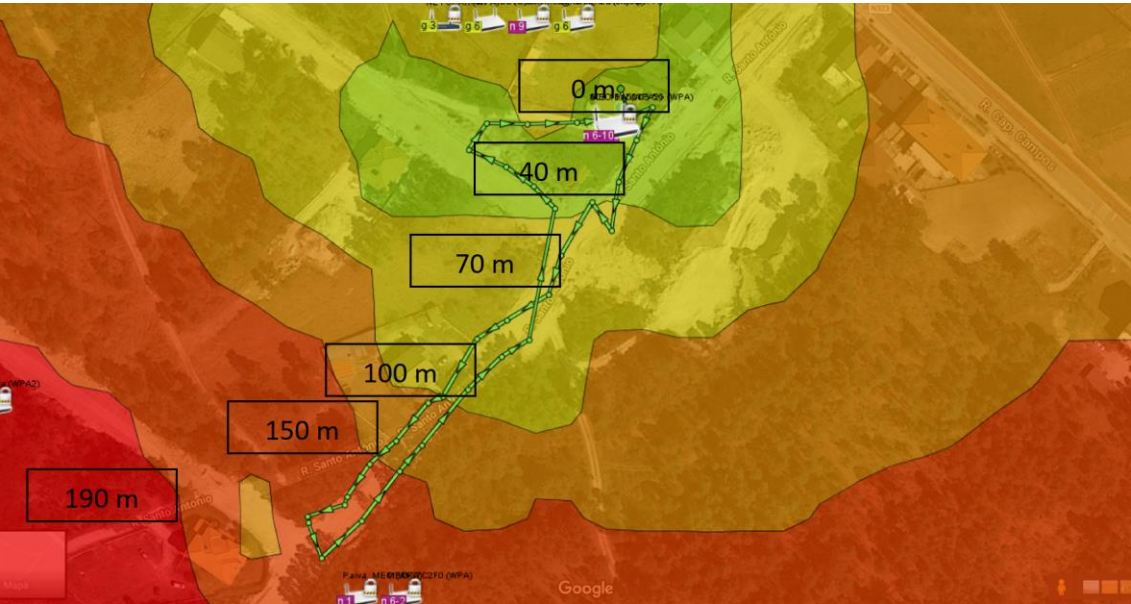


Figura 14 - Anexo 1 802.11n distância

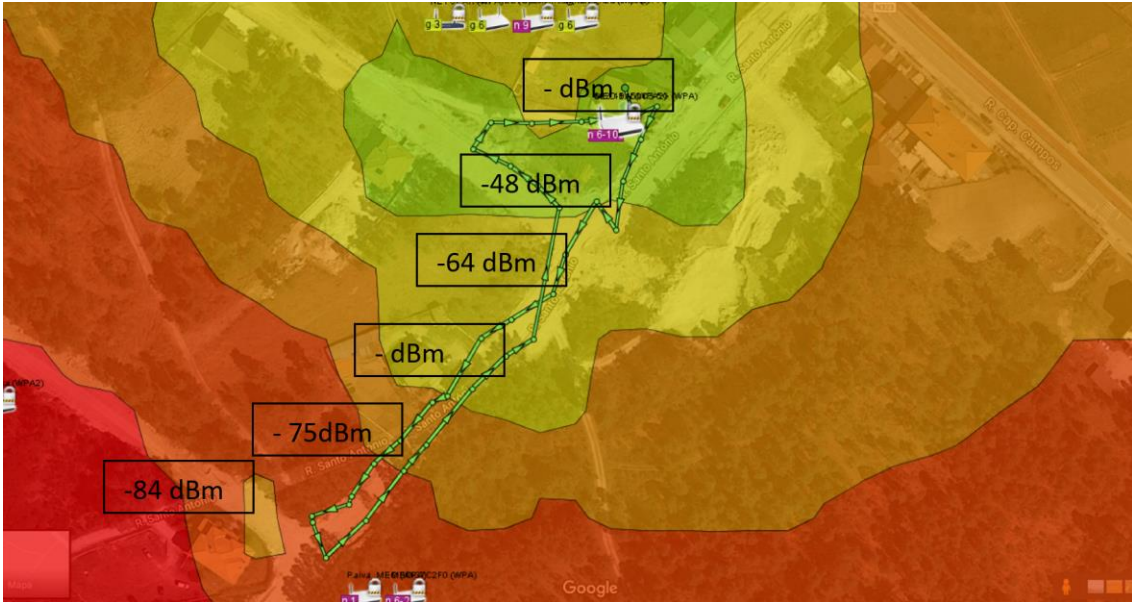


Figura 15 - Anexo 1 802.11n Intensidade de sinal

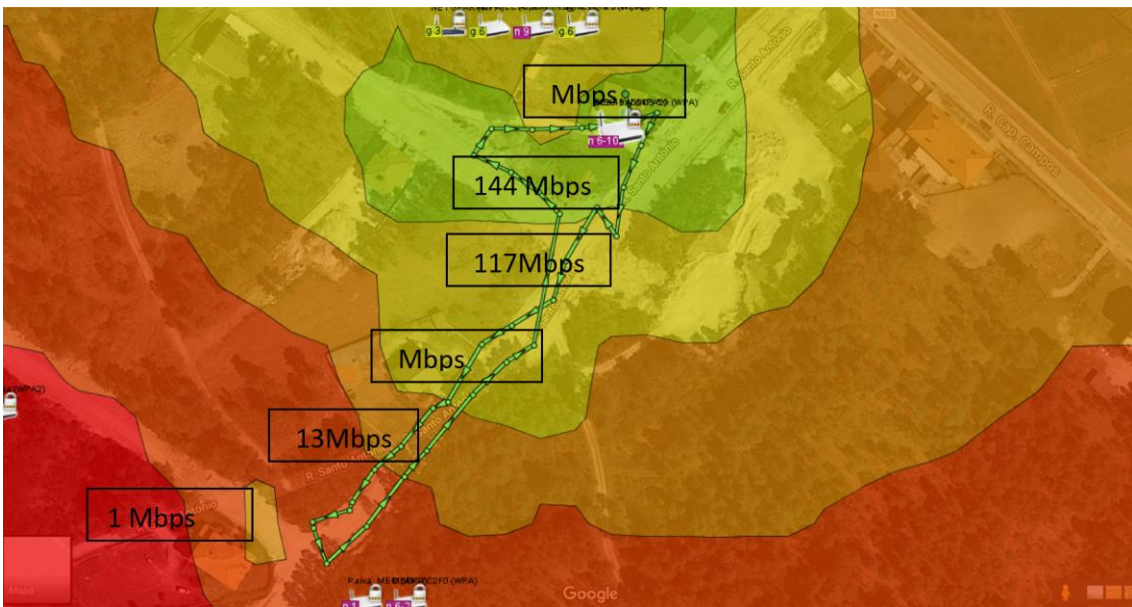


Figura 16 - Anexo 1 - 802.11n velocidade

Anexo 2 - 802.11ac 40 MHz

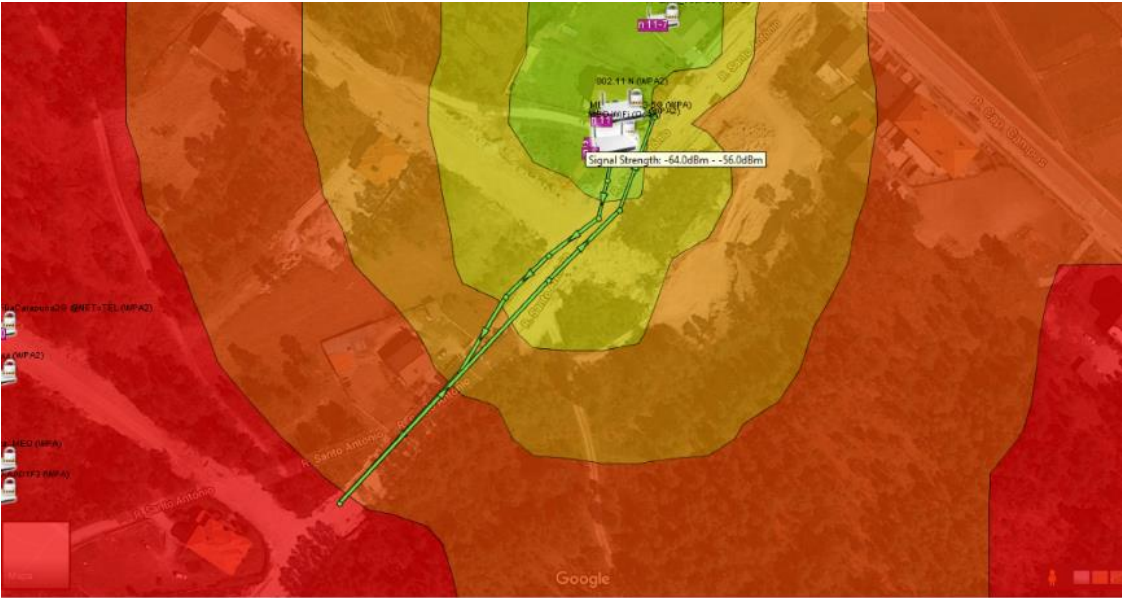


Figura 17 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz heatmap

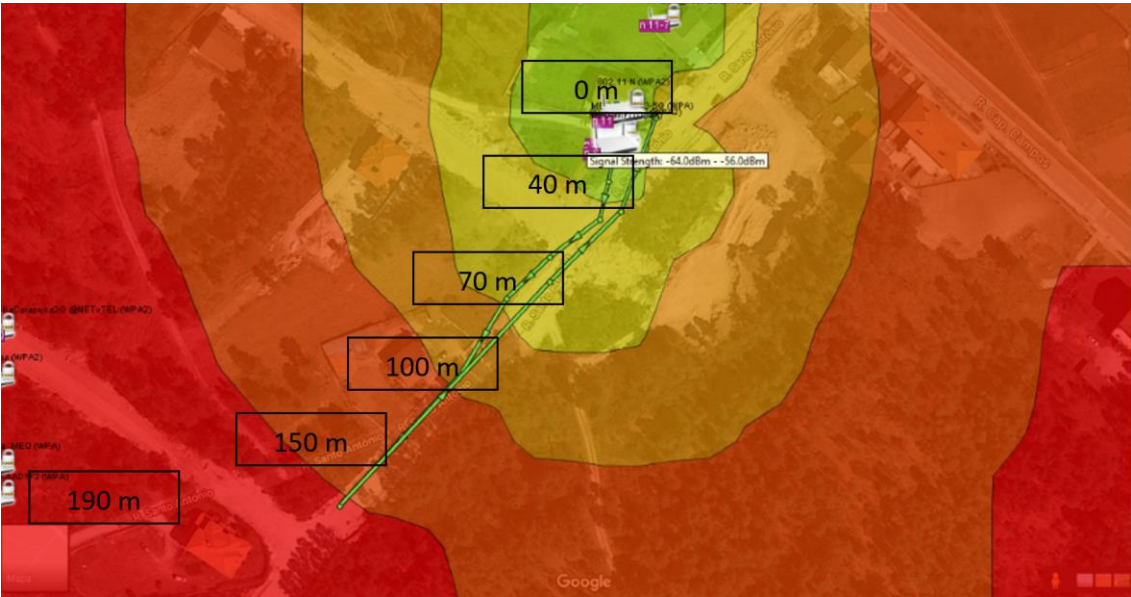


Figura 18 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz distância

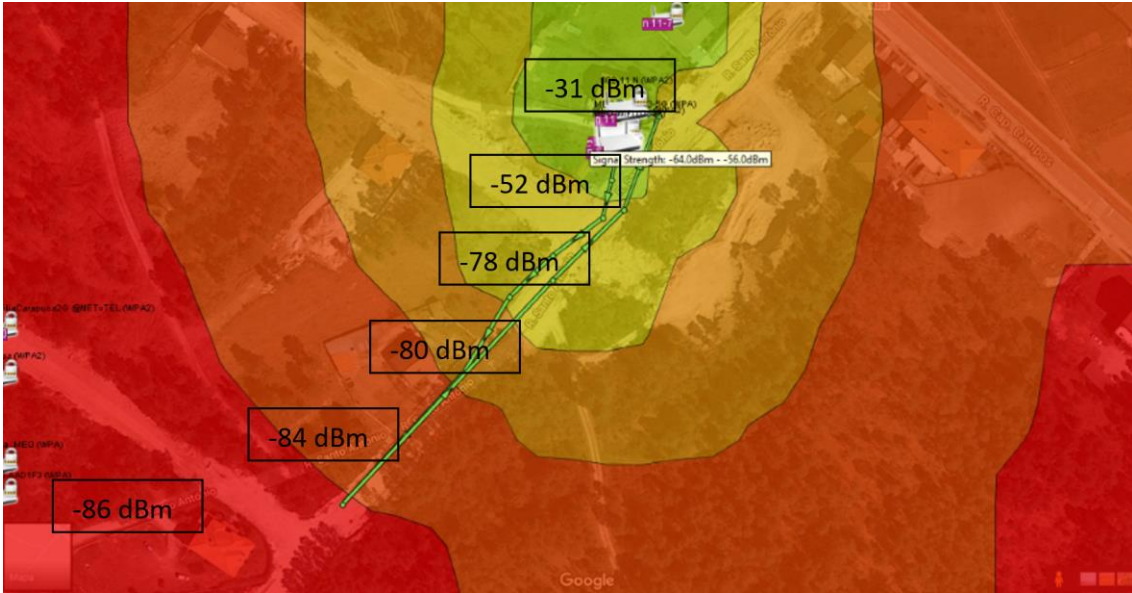


Figura 19 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz intensidade de sinal

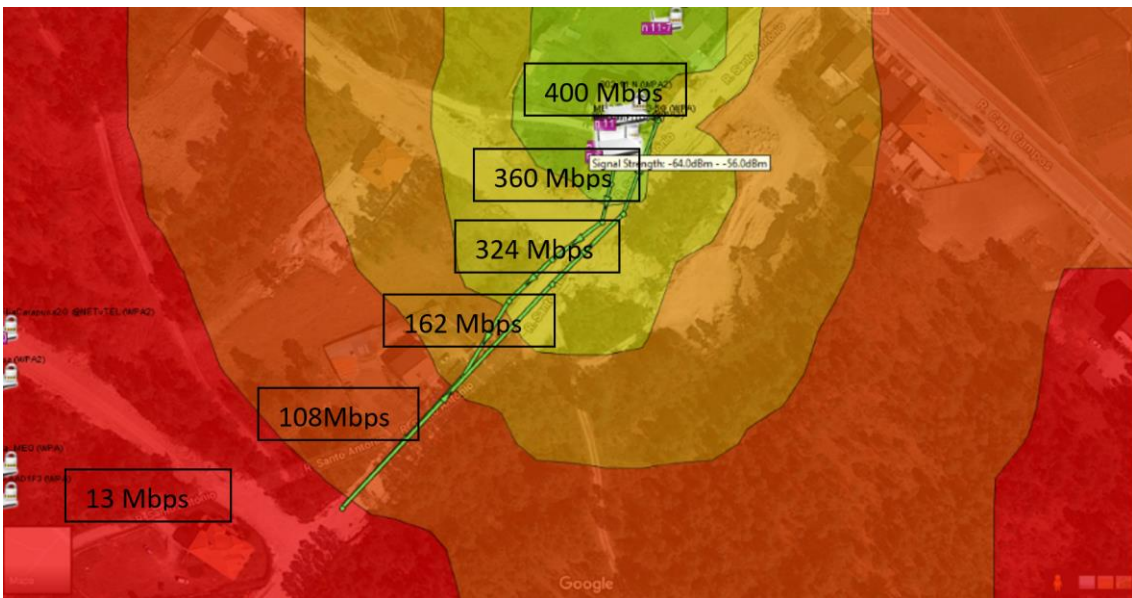


Figura 20 - Anexo 2 802.11ac 40 MHz velocidade

Anexo 3 - 802.11ac 80 MHz

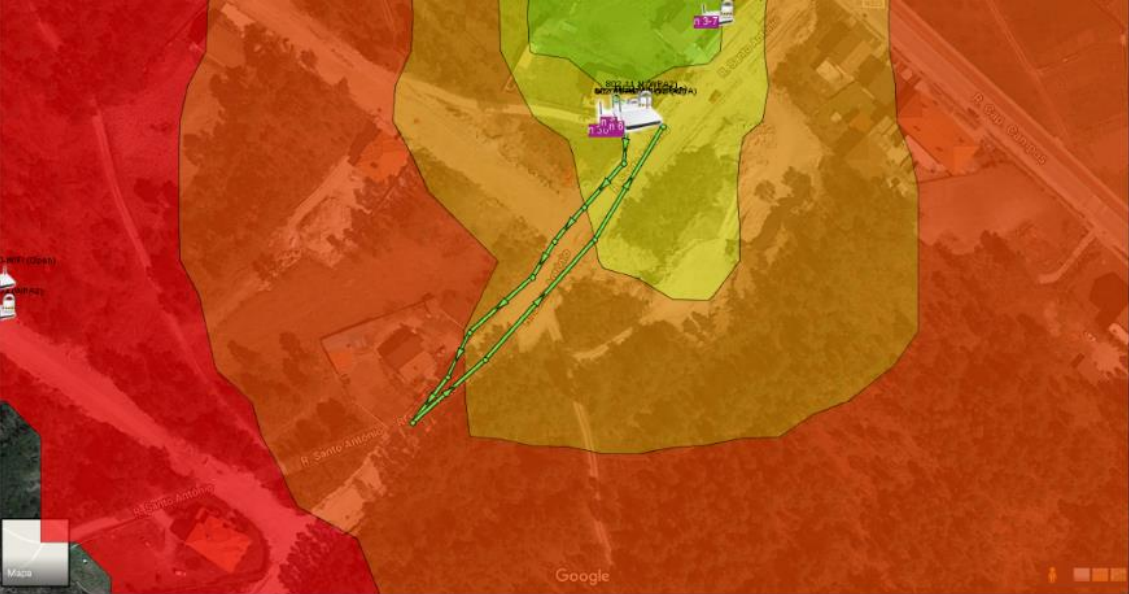


Figura 21 - Anexo 2 802.11ac 80 MHz heatmap

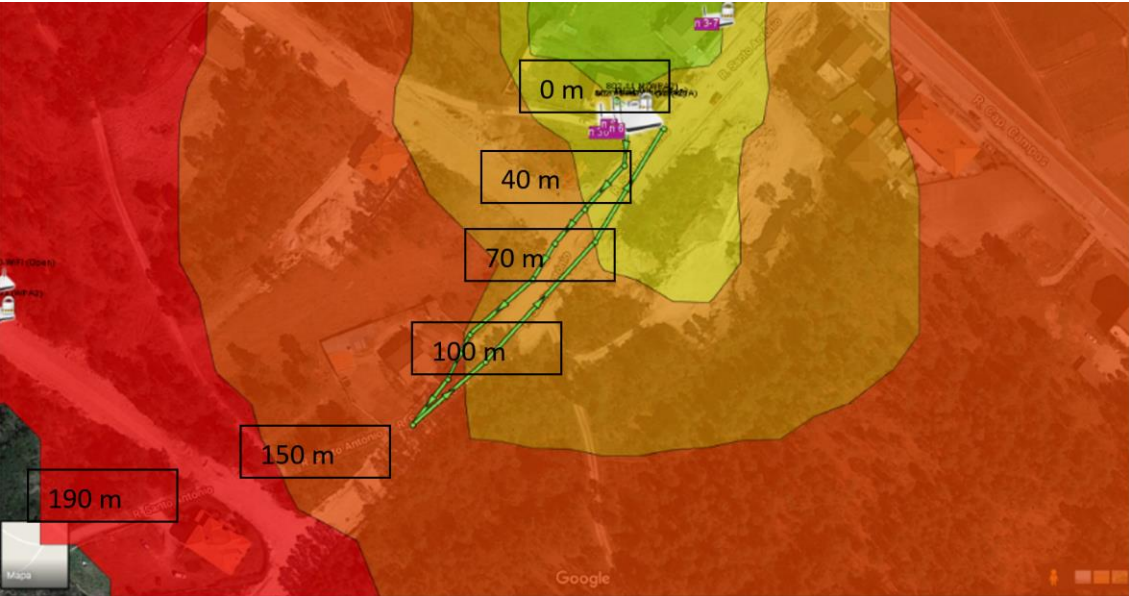


Figura 22 - Anexo 3 802.11ac 80 MHz distância

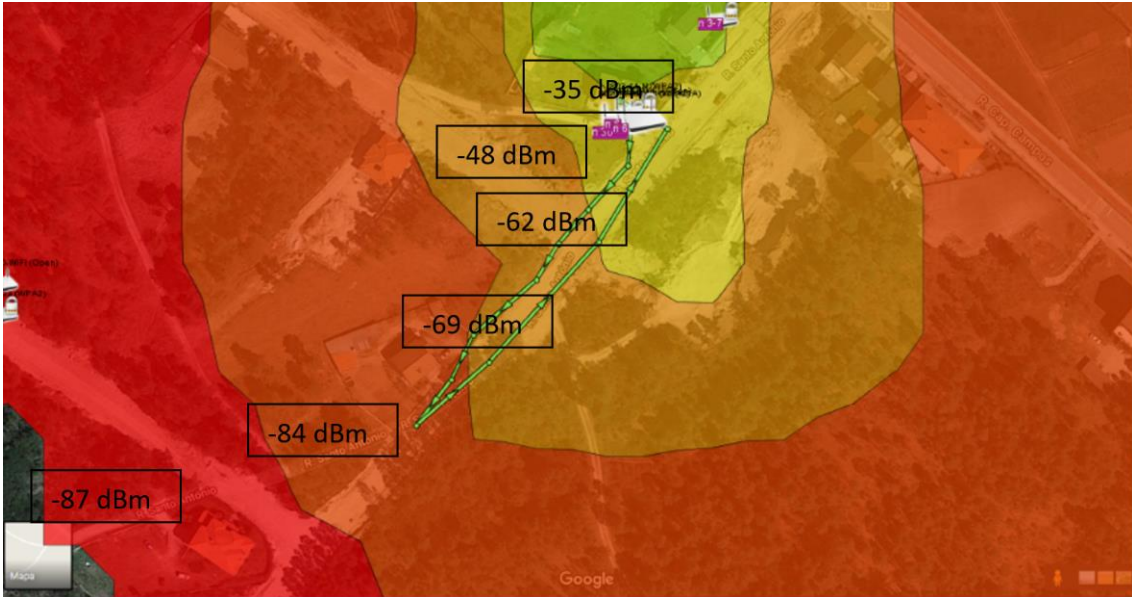


Figura 23 - Anexo 3 802.11ac 40 MHz intensidade de sinal

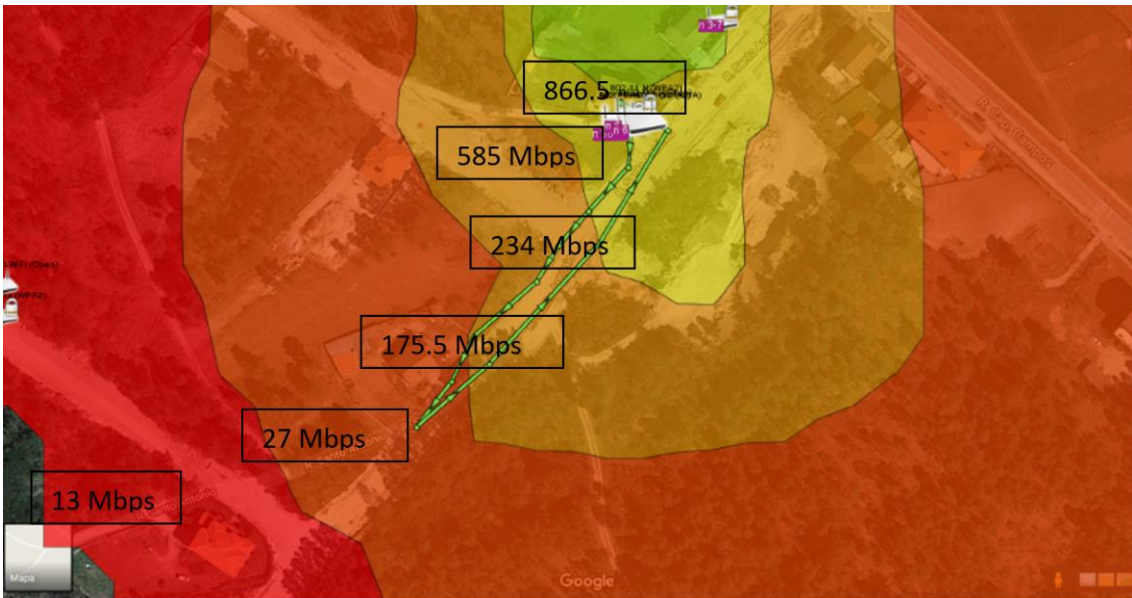


Figura 24 - Anexo 3 802.11ac 40 MHz velocidade

Anexo 4 - 802.11ac 160 MHz

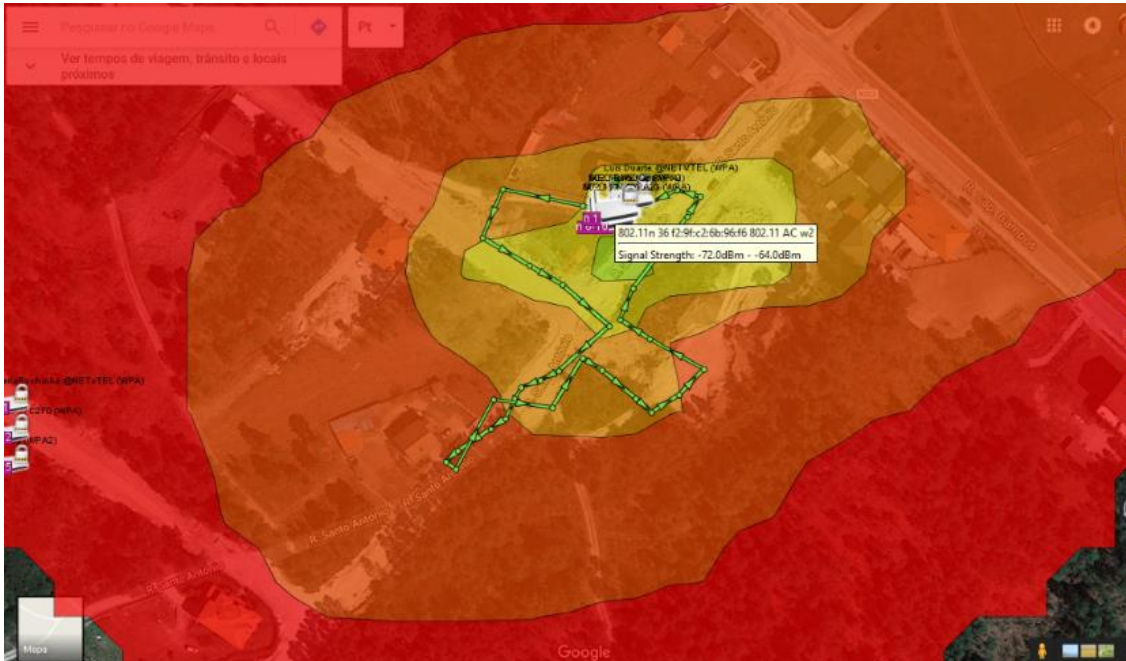


Figura 25 - Anexo 3 802.11ac 160 MHz heatmap

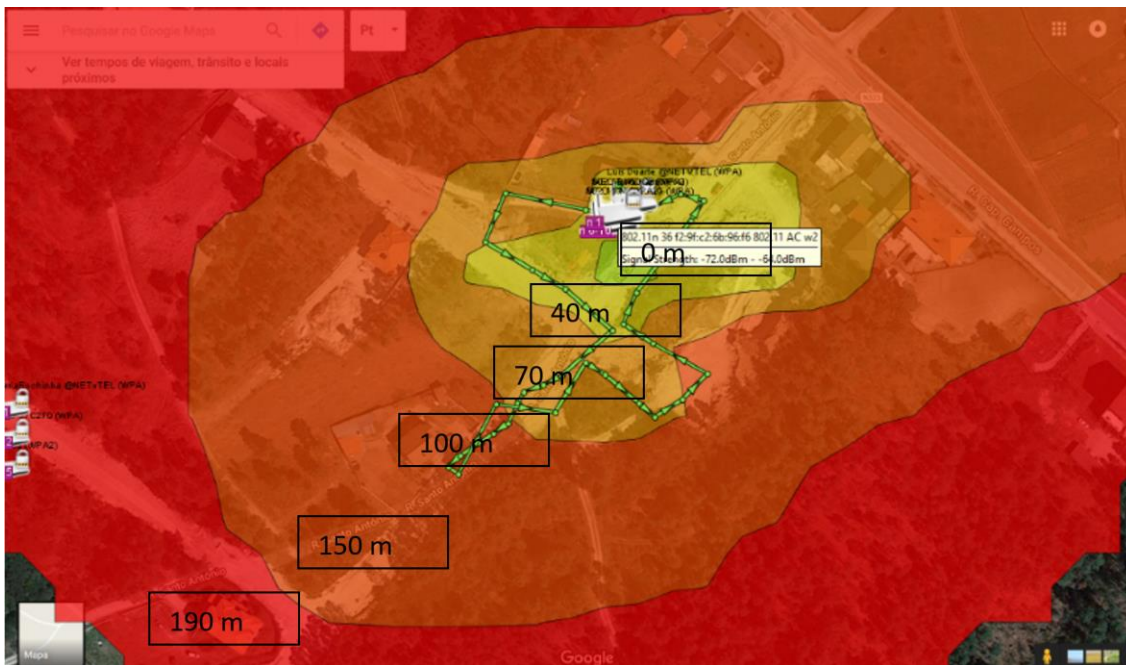


Figura 26 - Anexo 4 802.11ac 160 MHz distância

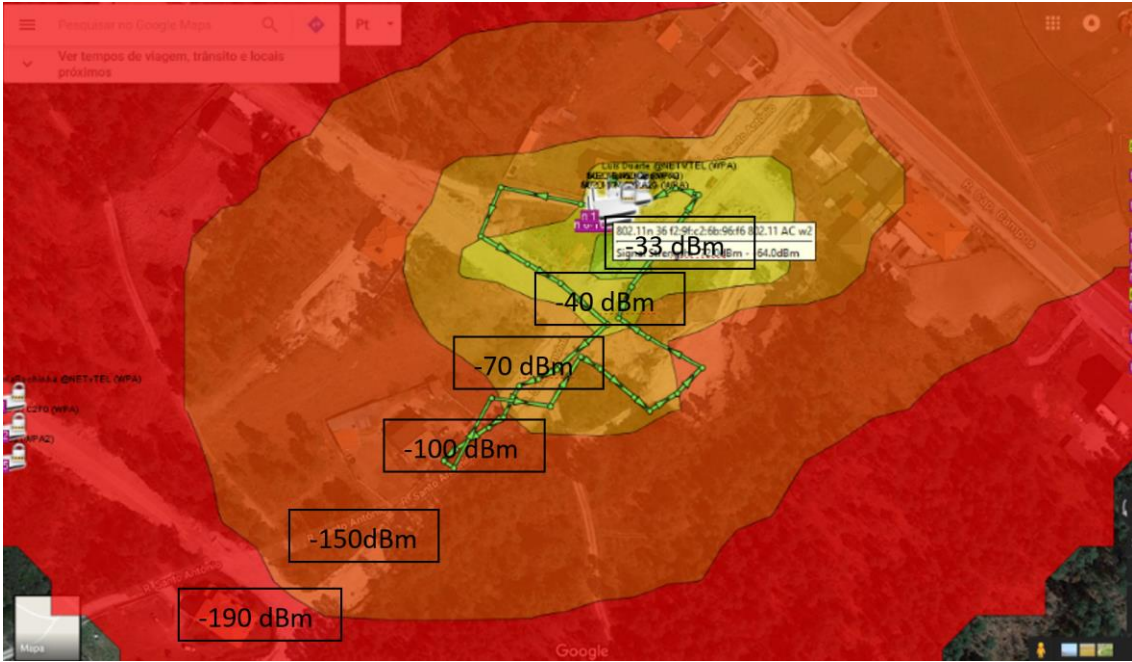


Figura 27 - Anexo 4 802.11ac 160 MHz intensidade de sinal

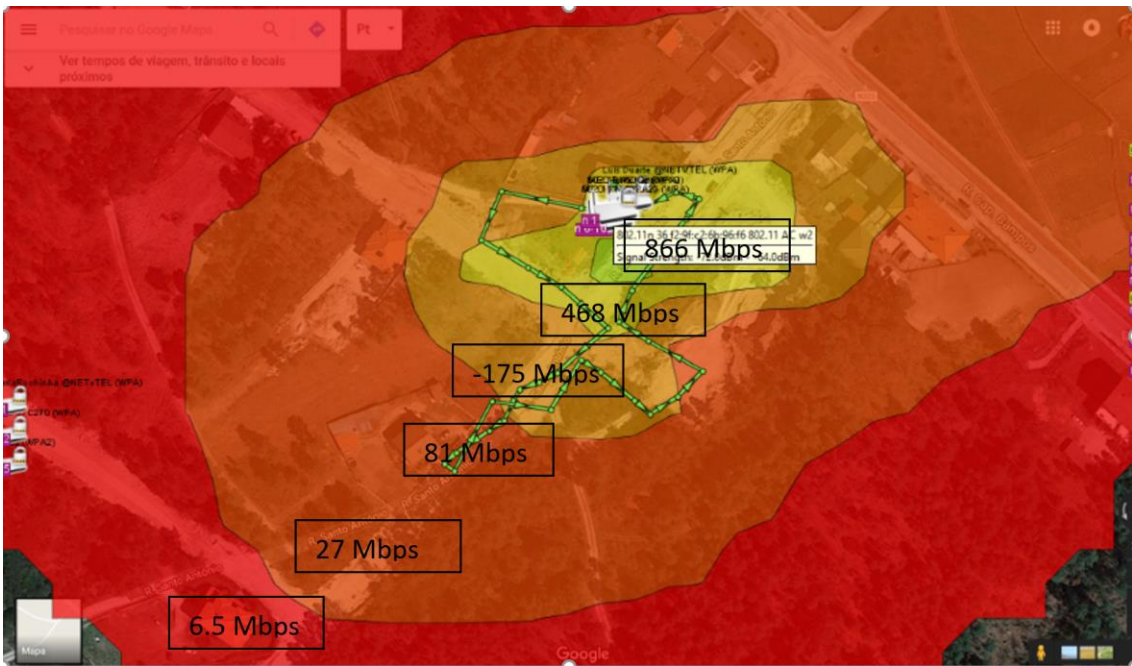


Figura 28 - Anexo 4 802.11ac 160 MHz velocidade